

# La producción científica sobre playas levantadas en las Islas Shetland del Sur (Antártida Marítima)

Scientific production on raised beaches  
in the South Shetland Islands (Maritime Antarctica)

**Lidia Ferri-Hidalgo** 

[ferrilidia@uniovi.es](mailto:ferrilidia@uniovi.es)

**Cristina García-Hernández** 

[garciahcristina@uniovi.es](mailto:garciahcristina@uniovi.es)

**Jesús Ruiz-Fernández** 

[ruizjesus@uniovi.es](mailto:ruizjesus@uniovi.es)

*Departamento de Geografía  
Universidad de Oviedo (España)*

## Resumen

Las playas levantadas constituyen una de las mejores evidencias geomorfológicas que atestiguan el cambio relativo del nivel del mar ligado al retroceso de los glaciares desde la última glaciación. En las Islas Shetland del Sur (Antártida marítima), tales morfologías resultan especialmente abundantes, habiendo sido estudiadas en diferentes épocas, usando distintos métodos y a través de distintas perspectivas. El objetivo general de este trabajo es buscar y clasificar la producción científica sobre las playas levantadas en las Islas Shetland del Sur. Para ello, se exploraron los principales repositorios de publicaciones científicas obteniendo una lista definitiva de 65 trabajos

que integran el conocimiento general adquirido desde la década de 1960 hasta la actualidad. Durante este período, los estudios geomorfológicos son los más frecuentes, alcanzando un máximo en la década de 2010, seguidos por investigaciones que emplean métodos geocronológicos para datar las playas levantadas. En la década de 2000 aumentó la cantidad de datos y registros, reflejado en la publicación de artículos de revisión. En la última década (2010-2019), los trabajos muestran un enfoque más multidisciplinario, integrando diversas técnicas de datación, incluyendo el ambiente periglacial y la teledetección. Se concluye que se ha recopilado una cantidad significativa de conocimiento y datos científicos sobre las playas levantadas en las Islas Shetland del Sur, utilizando diversos enfoques, métodos y análisis.

**Palabras clave:** estudio bibliométrico; ciencia antártica; deglaciación; cambio nivel del mar; geomorfología.

## **Abstract**

Raised beach ridges in polar environments are one of the best evidence of relative sea-level (RSL) change. In the South Shetland Islands (Maritime Antarctica), such landforms are particularly abundant, having been studied at different periods, using different methods and through different perspectives. This study aims to compile and categorize the scientific research on raised beaches in the South Shetland Islands. For this purpose, the main repositories of scientific publications were explored, obtaining a definitive list of 65 papers that integrate the general knowledge acquired from the 1960s to the present. During this period, geomorphological studies are the most frequent, reaching a peak in the 2010s, followed by research employing geochronological methods to date uplifted beaches. In the 2000s the amount of data and records increased, reflected in the publication of review articles. In the last decade (2010-2019), papers show a more multidisciplinary approach, integrating various dating techniques, including the periglacial environment and remote sensing. A significant amount of scientific knowledge and data has been collected on raised beaches on the South Shetland Islands, using various approaches, methods and analyses.

**Key words:** bibliographic study; Antarctic science; deglaciation; sea level change; geomorphology.

## **1 Introducción**

Las playas levantadas constituyen una de las principales evidencias de los cambios relativos del nivel del mar (Hong et al., 2021; Pedoja et al., 2014; Rovere et al., 2023). Se denominan así por

encontrarse elevadas sobre la franja litoral actual, y se formaron como consecuencia de un descenso del nivel del mar causado bien por un ajuste glacioisostático, o por alzamiento debido a procesos tectónicos (Scheffers et al., 2012). Tanto en la Península Antártica como en las ISS, estas playas son fruto del levantamiento glacioisostático (John & Sugden, 1971). El levantamiento glacioisostático es un fenómeno geológico donde una gran masa de hielo ejerce presión sobre la corteza terrestre durante un periodo prolongado. Esto hace que la corteza se hunda cerca del glaciar debido al peso del hielo, mientras que en áreas distantes del glaciar, la corteza se eleva debido a la redistribución de la masa (Hooke, 2005). Como consecuencia de la deglaciación desde el Último Máximo Glaciar Local (25 000 y 20 000 años AP), se formaron estas playas durante el Holoceno (Bentley et al., 2005; Curl, 1980; Everett, 1971; John & Sugden, 1971). Como resultado de la deglaciación en esta región, el rebote isostático ha representado un mínimo de 20 m de descenso relativo del nivel del mar en los últimos 4000-6000 años (Barsch, 1996; Bentley et al., 2005; Hall & Perry, 2004), siendo las playas levantadas presentes en las zonas libres de hielo de las ISS la mejor evidencia de este descenso (Curl, 1980; Hall, 2003; John & Sugden, 1971; Watcham et al., 2011). Adicionalmente, sucesivas investigaciones han mostrado que el nivel relativo del mar ha continuado descendiendo desde los últimos 6000 cal AP hasta la actualidad (Fretwell et al., 2010; Watcham et al., 2011).

El principal interés por estudiar las playas levantadas de las Islas Shetland del Sur, es porque a partir de ellas se pueden inferir los cambios relativos del nivel del mar y nos permiten entender los procesos de ajuste glacioisostático. Además, en ellas se encuentra gran parte de la fuente de material disponible para dataciones, como por ejemplo restos fósiles de algas, restos óseos de pingüinos, focas o ballenas, cenizas volcánicas y sedimentos, a partir de los cuales se ha podido reconstruir parte de la historia glaciar del archipiélago (Barsch & Mäusbacher, 1986; Curl, 1980; Del Valle et al., 2002; Hall & Perry, 2004; Sugden & John, 1973).

Algunas de las primeras observaciones sobre las playas levantadas de las Islas Shetland del Sur (en adelante ISS) fueron realizadas por Araya & Hervé (1964) y por John & Sugden (1971), que identificaron estas formas de relieve a lo largo de las principales islas del archipiélago, realizando descripciones geológicas y geomorfológicas. Estas playas suelen ser paralelas a la línea de costa actual, y su morfología y altitud es variable tanto a nivel local como entre las diferentes islas. En algunos lugares llegan a dominar el paisaje con amplios tramos de playa, alcanzando una extensión lateral de hasta ocho kilómetros y presentan un rango altitudinal que puede variar desde 2,5-3 metros hasta 20 metros (Curl, 1980; Fretwell et al., 2010).

A partir de las playas levantadas se puede determinar el levantamiento glacioisostático Holoceno de las ISS (Fretwell et al., 2010). Para ello es importante realizar dataciones de los diferentes niveles de playa encontrados para establecer una secuencia cronológica del rango altitudinal en el que se distribuyen (Hall, 2010). Se pueden obtener edades mínimas para las playas levantadas a partir de dataciones radiocarbónicas (Curl, 1980; Del Valle et al., 2002; Hall, 2010; Hall & Perry, 2004; Hansom, 1979; John & Sugden, 1971; Mäusbacher et al., 1989) y edades absolutas a partir de las dataciones de sedimentos y rocas con técnicas de Luminiscencia Ópticamente Estimulada (más conocido por sus siglas en inglés OSL) (Simkins et al., 2013; Simms et al., 2011, 2012) y dataciones cosmogénicas (Oliva et al., 2019; Palacios et al., 2020). En la actualidad, el principal interés de estudio de las playas levantadas es obtener edades cada vez más exactas que ayuden a entender los procesos de ajuste glacioisostático, y construir curvas precisas de variación relativa del nivel del mar (Johnson et al., 2022).

El último informe del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (más conocido por sus siglas IPCC) revela que, el nivel del mar, aumenta como consecuencia del calentamiento de los océanos, así como por la aportación de agua procedente del deshielo (IPCC, 2021; Masson-Delmotte et al., 2021). La Antártida, y en particular la Península Antártica, es una de las regiones del planeta más sensibles al cambio climático actual y está experimentando una tendencia al calentamiento (Jones et al., 2019; Noble et al., 2020). Esta tendencia se observa en diferentes episodios de colapso de las plataformas de hielo y también en una pérdida generalizada de masa glaciar (Rignot et al., 2019). Esta pérdida de masa glaciar se traduce en una contribución actual y futura a la subida del nivel del mar (Velicogna et al., 2020). Dado este contexto de cambio climático en el que nos encontramos, que afecta en gran medida a las zonas polares (Constable et al., 2022) muchas de las investigaciones actuales se centran en las zonas libres de hielo de la Antártida, las cuales son un excelente laboratorio natural para estudiar los procesos e interacciones que ocurrirán como consecuencia de la aceleración del proceso de deglaciación asociado al cambio climático (IPCC, 2021; Masson-Delmotte et al., 2021)

Actualmente los estudios bibliométricos se han convertido en un método fundamental para la evaluación de la información y de la productividad científica (Tomás-Górriz & Tomás-Casterá, 2018). El objetivo general de este trabajo consiste en buscar y clasificar la producción científica existente sobre las playas levantadas en las ISS, aportación esencial que facilitará en una etapa posterior de trabajo, un análisis crítico del conocimiento acumulado sobre este tema hasta la actualidad.

Los objetivos específicos son: 1) Realizar la exploración en diferentes repositorios de publicaciones científicas a partir de criterios de búsqueda determinados; 2) Identificar los estudios relevantes sobre playas levantadas en las ISS y clasificarlos en función de sus objetivos, enfoque y metodología; 3) Analizar la evolución temporal de estos estudios; y 4) Evaluar los principales aportes hasta la fecha e identificar aspectos a mejorar para futuros trabajos.

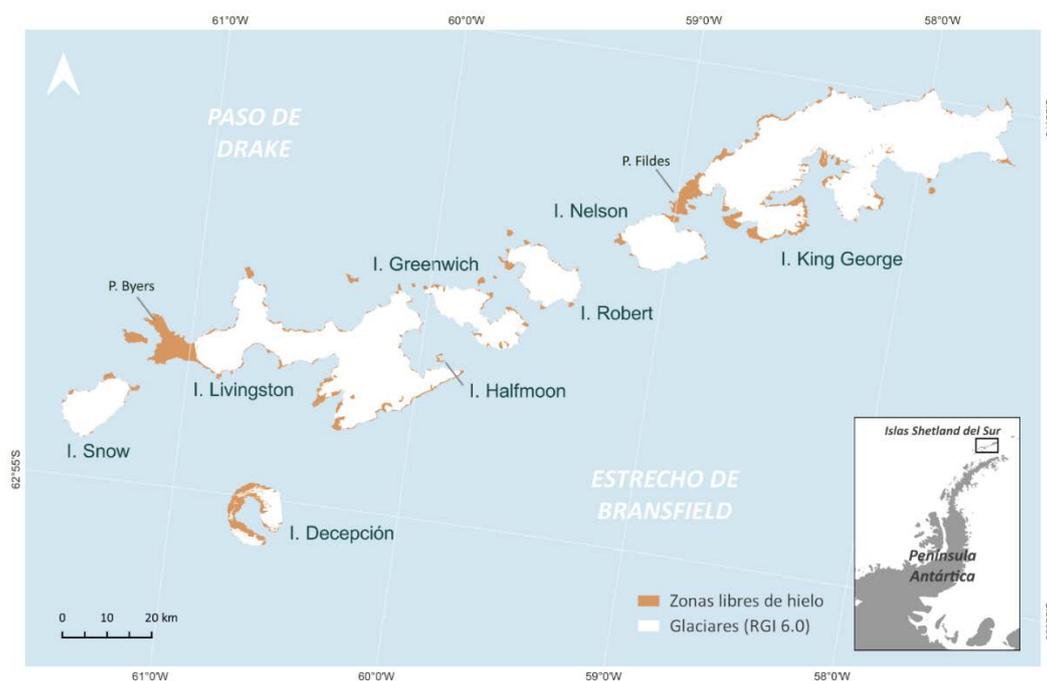
## **2 Área de estudio**

El archipiélago de las ISS se sitúa 160 km al norte de la Península Antártica y está delimitado por el Paso de Drake hacia el noroeste y el estrecho de Bransfield hacia el sureste (Figura 1). Este grupo de islas se alinean en dirección suroeste-noreste a lo largo de aproximadamente 500 km de longitud. Están rodeadas por una plataforma submarina poco profunda que se extiende entre 40 y 60 km al norte del archipiélago (Fretwell et al., 2010). La historia geológica de la Península Antártica y las ISS está marcada por un margen activo debido a la subducción de la Placa Phoenix bajo la Península, a lo largo del margen suroeste de Gondwana, durante el Paleozoico tardío, el Mesozoico y el Cenozoico (Bastias et al., 2019; Bastías et al., 2023). El archipiélago de las Shetland del Sur está formado por rocas volcánicas y volcanoclásticas de edades mesozoicas y cenozoicas (Bastías et al., 2023). En la Figura 1 se pueden ver las principales islas donde se ha focalizado este trabajo. Nuestra área de estudio está restringida a las principales islas del archipiélago en las que se hayan hecho estudios sobre playas levantadas, es por eso que no están incluidas islas como Low, Smith o Elefante.

Desde el punto de vista geológico y climático, las ISS forman un importante vínculo entre el continente de la Antártida Occidental (comprende la parte occidental de la Península Antártica y las áreas adyacentes de la capa de hielo antártica que se extienden hacia el oeste desde la Cordillera Transantártica) y América del Sur. En el archipiélago, las temperaturas presentan una gran variabilidad interanual e interdiaria en todas las estaciones, y una amplitud térmica de entre 8 y 10° (Serrano, 2003). Las medias anuales están comprendidas entre -1 y -2°C a nivel de mar, y la precipitación media anual es de 500 a 800 mm (Bañón et al., 2013). Las ISS, de carácter marítimo, se ven afectadas a menudo por el paso de tormentas generadas en el Pacífico, lo que da lugar a tasas de precipitaciones más altas que las que se dan en el continente antártico (Simms et al., 2011). Estas condiciones climáticas de las ISS, las sitúan en un sistema morfoclimático frío y húmedo, de ambiente glacial por encima de los 200-300 m s.n.m., y de ambiente periglacial a menores cotas (Serrano, 2003).

En la década de 1990 se detectó una tendencia al enfriamiento en la Península Antártica e ISS, donde se registraron balances de masa positivos en algunos glaciares, mayor duración de la cobertura nival y reducción del espesor de la capa activa de permafrost (Oliva et al., 2017; Turner et al., 2016). No obstante, según (Carrasco et al., 2021), esta tendencia terminó a mediados de la década de 2010, sucediendo a un nuevo período de calentamiento general.

Figura 1. Mapa de ubicación de parte del archipiélago de las Islas Shetland del Sur, con los nombres de las principales islas estudiadas en este trabajo, mayores áreas libres de hielo como son las penínsulas de Byers y Fildes, y la superficie actualmente cubierta por glaciares según el inventario global de glaciares *Randolph Glacier Inventory* (RGI Consortium, 2017)



Fuente: elaboración propia

Las ISS están cubiertas por glaciares casi en su totalidad como se puede observar en la Figura 1 según el Inventario de Glaciares obtenido del *Randolph Glacier Inventory* (RGI Consortium, 2017). Predominan los glaciares de tipo domo o casquete de hielo, con suave pendiente que se extienden en la mayor parte de los casos hasta la costa en forma de glaciares de descarga con potentes acantilados de hielo. En las áreas de montaña predominan los glaciares de valle y de circo que pueden terminar también en el mar o cerca de él (Curl, 1980). Las áreas libres de hielo representan el 16 % de la extensión de las ISS (Oliva & Ruiz-Fernández, 2017), siendo las más destacables la Península Byers (60 km<sup>2</sup>) en la Isla Livingston, y la Península de Fildes (29 km<sup>2</sup>) en la Isla King George (Michel, 2014; Ruiz-Fernández et al., 2016).

Estas áreas libres de hielo se han convertido en un importante objeto de estudio debido a su posición geográfica privilegiada y accesibilidad. Además, en ellas se encuentran abundantes evidencias de glaciaciones pasadas y presentes. Si bien estas zonas se caracterizan por la presencia de procesos y formas de origen glaciar, periglacial, fluvial y litoral, los procesos y formas periglaciares, junto con la presencia de permafrost, se encuentran entre los elementos geomorfológicos más relevantes en las zonas libres de hielo de las ISS (López-Martínez et al., 1996, 2012; Serrano & López-Martínez, 2000). Otra de las formas de relieve más frecuentes en estas áreas libres de hielo son las playas levantadas de edad holocena (Figura 2), las cuales son el objetivo de estudio principal de este trabajo.

Figura 2. Sucesión de playas levantadas en Punta Elefante, isla Livingston (ISS)



Fuente: elaboración propia (Foto: J. Ruiz Fernández)

### 3 Metodología

#### 3.1 Criterios de búsqueda

Se ha examinado la literatura científica disponible sobre playas levantadas en las ISS, incluyendo artículos publicados en revistas científicas internacionales y nacionales, libros, capítulos de libro, actas de congresos, informes técnicos, así como tesis de grado, máster y doctorado. A esta documentación se accedió a través de la consulta de los siguientes repositorios científicos: Google Académico, Research Gate, Cold Regions Bibliography Project (<http://www.coldregions.org>), Web of Science, Scopus y Dialnet. La búsqueda estuvo guiada por la utilización de una serie de

palabras clave, cuya elección fue condicionada por una serie de criterios geográficos, lingüísticos y temporales. A continuación, se describe cada uno de estos criterios:

- Criterio de cobertura geográfica: este criterio acota desde un principio el área de estudio seleccionada, en este caso al archipiélago de las Shetland del Sur. Algunos trabajos sobre las ISS están englobados junto con la Península Antártica; estos trabajos fueron tenidos en cuenta siempre y cuando contuviesen información relevante y detallada sobre las ISS.
- Criterio del idioma: todas las palabras clave empleadas incluían los idiomas español e inglés, de modo que la revisión incluye la producción científica en estos dos idiomas.
- Criterio temporal: las primeras publicaciones datan de la década de 1960, por lo que el marco temporal seleccionado es el periodo 1960-2021.

### **3.2 Niveles de búsqueda implementados y representación cartográfica**

Nivel 1: este nivel de búsqueda se realizó empleando exclusivamente un criterio geográfico, utilizando las palabras “*South Shetland Islands*”. Se eligieron estas palabras clave con el objetivo de obtener información general sobre los trabajos publicados para esta área geográfica en particular, sin importar el área temática de investigación. En segundo lugar, se amplió la búsqueda incluyendo el término “*raised beaches*”, para acotar la producción científica en base a la temática que es objeto de estudio de este trabajo.

Nivel 2: en este segundo nivel, se realizó una búsqueda más filtrada y precisa. Se tomaron las principales referencias identificadas en el nivel 1 sobre playas levantadas y deglaciación en las ISS (Fretwell et al., 2010; Hall, 2009, 2010; Ruiz-Fernández et al., 2019; Watcham et al., 2011) y se revisaron para detectar otros estudios que no habían sido encontrados en la primera búsqueda. Los trabajos obtenidos en este nivel 2 de búsqueda, se clasificaron (ver Anexo I) según las clases siguientes:

- Año: año de publicación.
- Autoría: apellido del autor/a (es) principal del trabajo.
- Área de Estudio General: puede ser la Antártida y/o Península Antártica (siempre que en el trabajo se incluya información relativa a las ISS) o todo el archipiélago o la isla/islas que son objeto de estudio.
- Área de Estudio Específica: se indica el lugar específico donde se realizó la investigación (punto conocido popularmente según la nomenclatura que figura en la cartografía disponible).

- Objetivo: objetivo principal del trabajo, en general coincidente con el título del trabajo.
- Métodos: método o métodos a partir de los cuales se enfoca el estudio de las playas levantadas.
- Palabras clave: suelen estar incluidas en los artículos publicados en revistas científicas. Describen las características principales de un artículo y sirven para seleccionar los trabajos que más nos interesan entre todas las publicaciones científicas existentes. Además, permiten clasificar los trabajos por corrientes investigadoras y diferentes aspectos de interés.
- Fuente: editorial principal, universidad o institución científica que avala el trabajo.
- Nombre de la fuente: nombre de la revista, del libro, del congreso o de la tesis.
- Tipo de documento: se clasifica en función de si es un artículo, acta de un congreso, parte de un libro, informe técnico o tesis principalmente.
- Idioma: lengua en la que está escrito y publicado el trabajo.
- Categoría: clasifica los trabajos en función del método principal empleado en el estudio (Tabla 1).

**Tabla 1. Descripción de las categorías temáticas en las que fue clasificada la bibliografía seleccionada**

NOMBRE DE LA CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN GENERAL DE CADA CATEGORÍA
Geomorfología	Obtienen cartografía de detalle a partir de observaciones y mediciones <i>in situ</i>
Geocronología	Se datan las playas levantadas a partir de muestras obtenidas en el terreno o en sedimentos de lago o mar, a partir de diversos métodos como radiocarbono, OSL, o isótopos cosmogénicos
Teledetección aplicada	Se utilizan diferentes satélites y/o fotografías aéreas para realizar cartografía de mayor detalle
Mixto	Se utilizan varios métodos conjuntamente, por ejemplo geocronología y teledetección.
Permafrost	Se estudian el ambiente periglacial y el permafrost, y sus procesos vinculados con las playas levantadas
Revisión	Se realizan revisiones bibliográficas recopilando antecedentes e integrando diversos métodos aplicados

Fuente: elaboración propia

Como última etapa y a modo de representar los resultados obtenidos de manera espacial, se representaron en varios mapas los trabajos seleccionados sobre playas levantadas para todo el

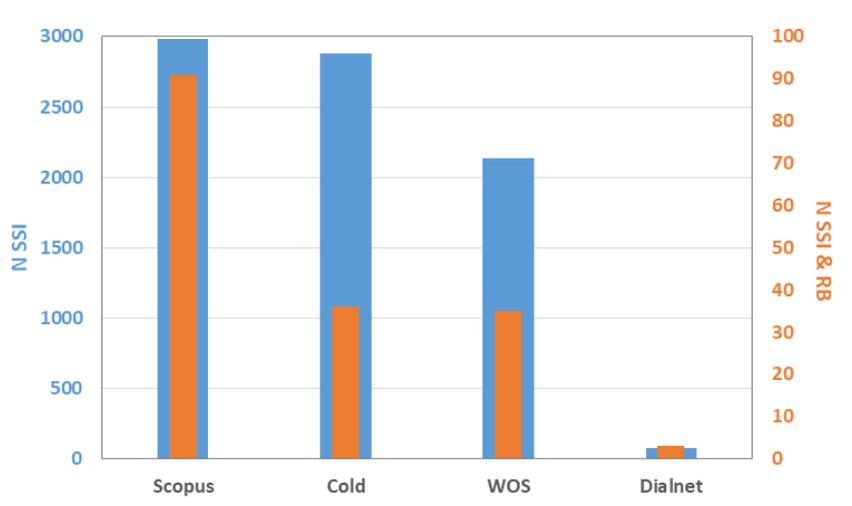
archipiélago. Para la elaboración de los mapas se utilizó el software libre QGis. Se partió de la lista de referencias final seleccionada, y a cada autor le fue asignado un número el cual fue representado posteriormente de manera espacial en el mapa. También se representaron los sitios con los nombres donde se realizaron cada una de las investigaciones. De esta forma se puede ver de una forma rápida e interactiva para todo el archipiélago qué sitios han sido estudiados, y quienes han sido los autores en cada caso.

## 4 Resultados

### 4.1 Nivel 1: estudio bibliométrico

En el primer nivel de búsqueda, los repositorios consultados fueron Scopus, *Web Of Science* (WOS), *Cold Regions Bibliography Project* (COLD) y Dialnet. A partir de estas fuentes se puede obtener de manera sencilla datos generales para realizar análisis estadísticos sobre el año de publicación, instituciones, autoría, tipo de publicación, país e idioma de publicación, fuente de financiación o área de conocimiento. Hay un alto número de trabajos publicados que incluyen el término exclusivamente geográfico “*South Shetland Islands*”. Concretamente, en el caso de Scopus, COLD y WOS se alcanzan 2987, 2878 y 2133 publicaciones, respectivamente, mientras Dialnet sólo arroja un total de 77 (Figura 3). En cambio, cuando se amplía la búsqueda empleado los términos “*South Shetland Islands*”/“*raised beaches*”, vemos que los resultados cambian considerablemente, disminuyendo el número de publicaciones en todos los casos. Se encontraron 91 trabajos en Scopus, 36 en COLD, 35 en WOS y tres en Dialnet.

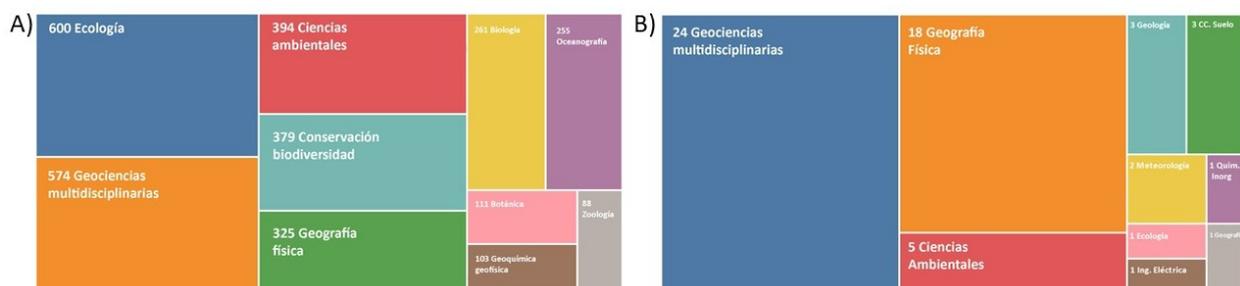
Figura 3. Resultados obtenidos (N) al utilizar los dos términos de búsqueda principales “*South Shetland Islands*” (SSI) y “*South Shetland Islands*” / “*raised beaches*” (SSI & RB)



Fuente: elaboración propia

Las áreas temáticas que surgen de la búsqueda incluyendo los términos “*South Shetland Islands*” y “*South Shetland Islands*”/“*raised beaches*”, también muestran diferencias significativas. Cuando empleamos sólo el término “*South Shetland Islands*”, los trabajos encontrados corresponden a las áreas temáticas de ecología (20 %) y geociencias multidisciplinares (18 %) (Figura 4). Le siguen ciencias ambientales (12 %), conservación de la biodiversidad (12 %) y geografía física (10 %). El 28 % restante, se corresponde con disciplinas que están más alejadas del estudio de playas levantadas, como son la biología, zoología o botánica. La gran variedad de áreas temáticas encontrado en las publicaciones se debe a que, al emplear el término más general de búsqueda (el criterio geográfico) quedan incluidas todas las áreas temáticas del conocimiento que han realizado investigaciones en esta área de estudio en particular. En cambio, según cabe esperar, al incorporar el término “*raised beaches*” a la búsqueda, las áreas temáticas de los trabajos encontrados son específicos del estudio de playas levantadas (Figura 5). Las principales áreas temáticas encontradas cuando se buscan los términos “*South Shetland Islands*”/“*raised beaches*” son geociencias multidisciplinares (40 %), geografía física (30 %) y ciencias ambientales (8 %). El 20 % restante corresponden a geología, edafología, meteorología, química inorgánica, ecología, ingeniería eléctrica y geografía general.

Figura 4. Diagrama que muestra el número de trabajos publicados por área temática en Web of Science (WOS) cuando se busca el término “*South Shetland Islands*” (A) y cuando se incluye también “*raised beaches*” (B)



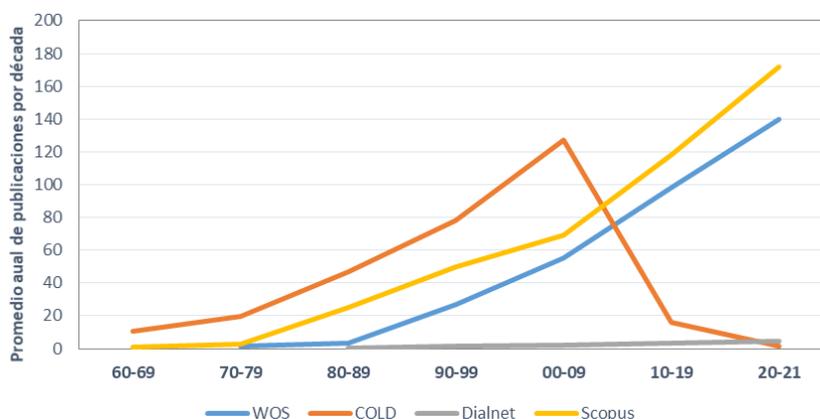
Fuente: Web of Science

Si analizamos el número de publicaciones para los diferentes términos de búsqueda en función del marco temporal seleccionado, observamos que el número anual de publicaciones ha variado considerablemente a lo largo de cada década (Figura 5). Empleando el término de búsqueda “*South Shetland Islands*”, en todos los repositorios, excepto en COLD, la tendencia es positiva con un claro aumento, década a década. Se observa que la mayor producción bibliográfica tiene lugar a partir de 2020 para Scopus y WOS, con un promedio anual de 172 y 140 publicaciones

respectivamente para dicho periodo. En el caso de COLD, este pico se observa en la década del 2000, con un promedio de 127 publicaciones. Esta diferencia se debe a que, dos de los principales proveedores de este repositorio, sólo tienen actualizados los trabajos hasta el año 2011. Aunque el número de publicaciones de Dialnet es inferior, también llega a su máximo de producción para el último periodo, con cinco trabajos publicados por año. Si incluimos ambos términos, “*South Shetland Islands*”/“*raised beaches*”, Scopus muestra una tendencia marcadamente escalonada, alcanzando de nuevo la mayor producción a partir de 2020 (Figura 6). Se acentúa la diferencia entre Scopus y WOS, que disminuye en número de publicaciones respecto a Scopus, manteniéndose el descenso de publicaciones de COLD a partir de 2011, y el inferior número de trabajos en Dialnet (algo que podemos relacionar con el hecho de que, en general, contiene exclusivamente publicaciones en español).

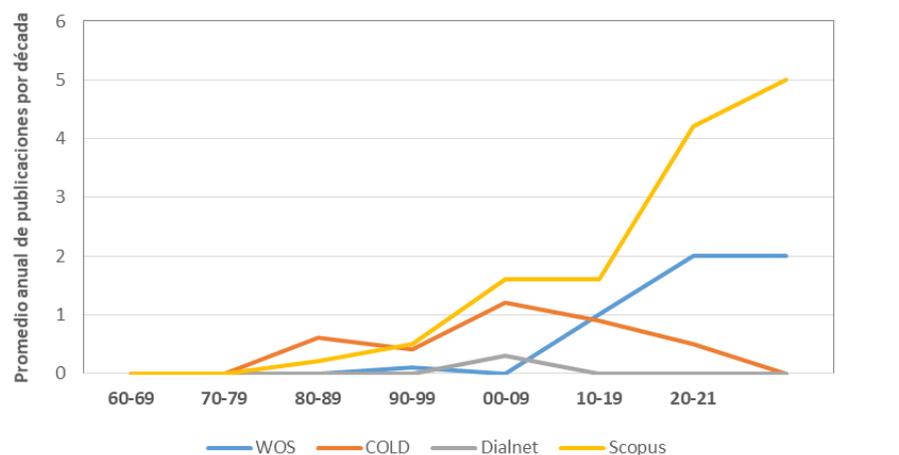
Con respecto al idioma en el que están publicados los trabajos, cuando buscamos el término “*South Shetland Islands*”, observamos que el 87 % de las publicaciones están escritas en inglés, y como segundo idioma figura el español con el 6 % (Tabla 3). Dialnet tiene muy pocos trabajos en inglés puesto que prioriza la divulgación en español, siendo COLD el segundo repositorio que tiene más trabajos en dicha lengua. Cuando se restringe la búsqueda incluyendo los términos “*South Shetland Islands*”/“*raised beaches*”, es menor la variedad de idiomas, pero se mantiene el inglés como principal lengua de comunicación científica respecto a esta cuestión (89 % de los trabajos), seguido del español (9 % de las publicaciones). Los tres idiomas siguientes más frecuentes son coincidentes en ambas búsquedas, y por orden prioritario son ruso, alemán y portugués.

Figura 5. Promedio anual de publicaciones, por década, empleando el término de búsqueda “*South Shetland Islands*”



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Promedio anual de publicaciones por década empleando el término de búsqueda “South Shetland Islands” / “raised beaches”



Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Idiomas de publicación para los trabajos que contienen el término de búsqueda “South Shetland Islands” (valor 1) y los que contienen ambos términos “South Shetland Islands” / “raised beaches” (valor 2)

Idioma	WOS_1	WOS_2	COLD_1	COLD_2	Dialnet_1	Dialnet_2	Scopus_1	Scopus_2
Inglés	2105	35	2270	32	35	1	2842	82
Español	14	0	406	7	38	2	61	7
Ruso	–	–	80	1	–	–	7	–
Alemán	3	–	56	–	2	–	17	1
Portugués	3	–	31	–	–	–	13	1
Chino	1	–	106	–	–	–	33	–
Polaco	–	–	53	–	–	–	7	–
Coreano	1	–	20	–	–	–	18	–
Francés	5	–	–	–	1	–	6	–
Otros	–	–	23	–	1	–	34	–

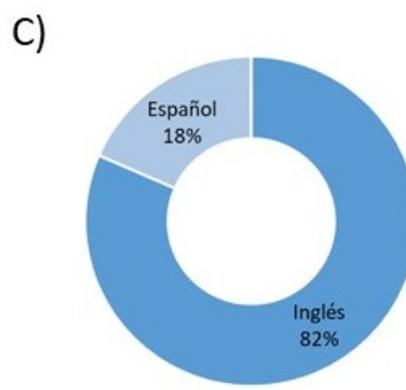
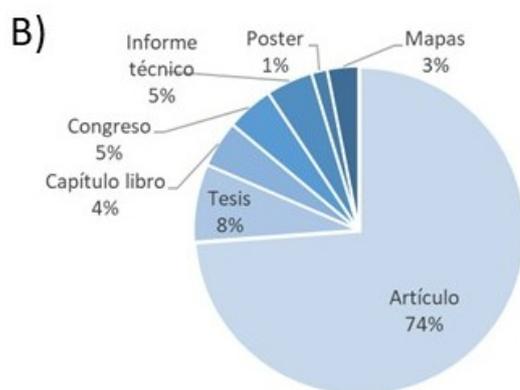
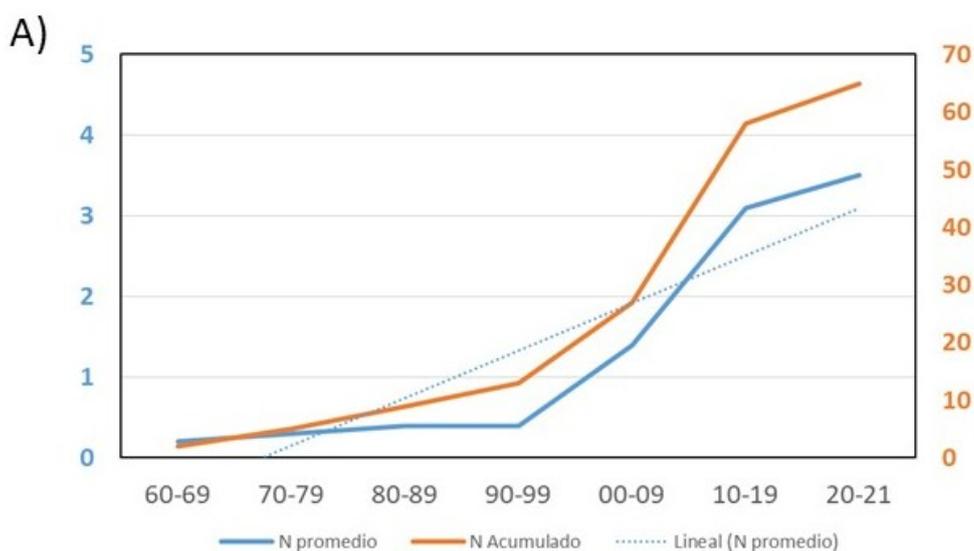
#### 4.2 Nivel 2: Selección y clasificación de las principales referencias

Para el segundo nivel de búsqueda se efectuaron exploraciones más detalladas, siendo el objetivo obtener las publicaciones directamente relacionadas con el estudio de playas levantadas. La consulta de Google Académico y *ResearchGate* permitió acceder a los trabajos en formato digital para su lectura, análisis y clasificación. Los trabajos sobre playas levantadas obtenidos en el primer nivel de búsqueda, así como los obtenidos a partir de esta investigación más detallada, se revisaron, ordenaron y clasificaron, obteniendo una lista definitiva de 65 estudios (ver tabla completa en el Anexo I). La Figura 7.A muestra el total de publicaciones seleccionadas. El

promedio anual máximo de publicaciones se alcanza a partir de 2020, coincidiendo con los resultados que vimos para las búsquedas generales. También se presenta en el gráfico el número acumulado de publicaciones para todos los periodos y la tendencia, que como se puede observar es lineal positiva. A partir de estos datos se puede deducir que las investigaciones en las ISS experimentan un importante impulso a comienzos de la presente década, siendo probable la continuidad de esta tendencia en los próximos años.

Figura 7. A) Promedio anual de las publicaciones seleccionadas por década, número total acumulado y tendencia para todo el periodo.

B) Clasificación de los trabajos en función del tipo de fuente. C) Idioma de publicación

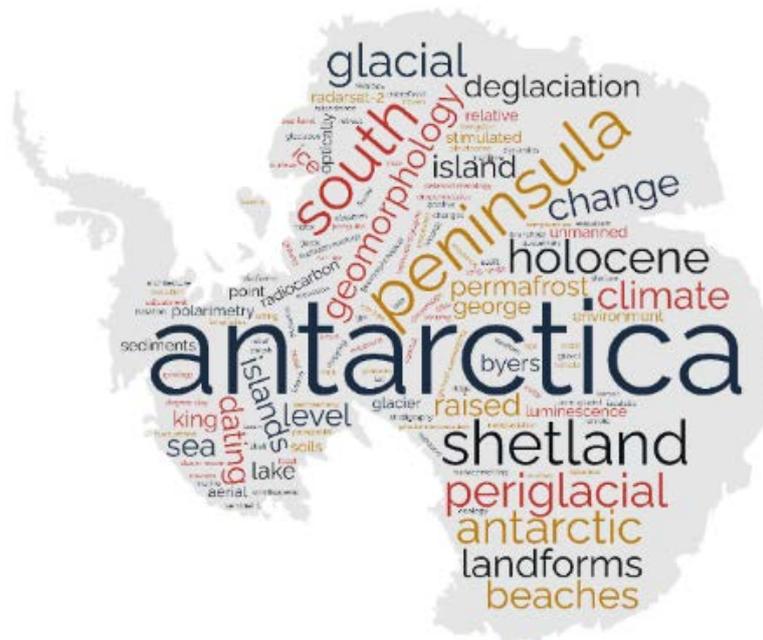


Fuente: elaboración propia

El 74% de los trabajos analizados corresponden con artículos publicados en revistas científicas. El siguiente tipo de documento más abundante, con un 8 % del total, se corresponde con las tesis (se encontraron dos tesis de grado, una tesis de máster y dos de doctorado). El resto de

publicaciones se distribuye más o menos equitativamente entre capítulos de libro, actas de congresos, informes técnicos, posters y mapas (Figura 7.B). Con respecto al idioma de las publicaciones, la mayor parte de los trabajos seleccionados (el 82 %) está escrito en inglés y el resto en español (Figura 7.C). Tomando este grueso de publicaciones en inglés, a partir de las palabras clave extraídas de cada publicación (un total de 137), se elaboró una nube de palabras. Este tipo de representación visual permite detectar los términos que aparecen con mayor frecuencia, que serán los que aparezcan con mayor tamaño. En este caso podemos ver que la palabra más frecuente es *Antarctica*, que aparece un total de 17 veces (Figura 8). Las siguientes palabras más frecuentes, que están incluidas al menos 5 o más veces, son *geomorphology* (9), *peninsula* (9), *islands* (8), *shetland* (8), *south* (8), *permafrost* (7), *antartic* (6), *glacial* (6), *holocene* (6), *periglacial* (6), *beaches* (5), *change* (5), *climate* (5) y *landforms* (5).

Figura 8. Nube de palabras con las palabras clave de la bibliografía seleccionada para el estudio de playas levantadas en las ISS



Fuente: elaboración propia a partir de los datos introducidos en

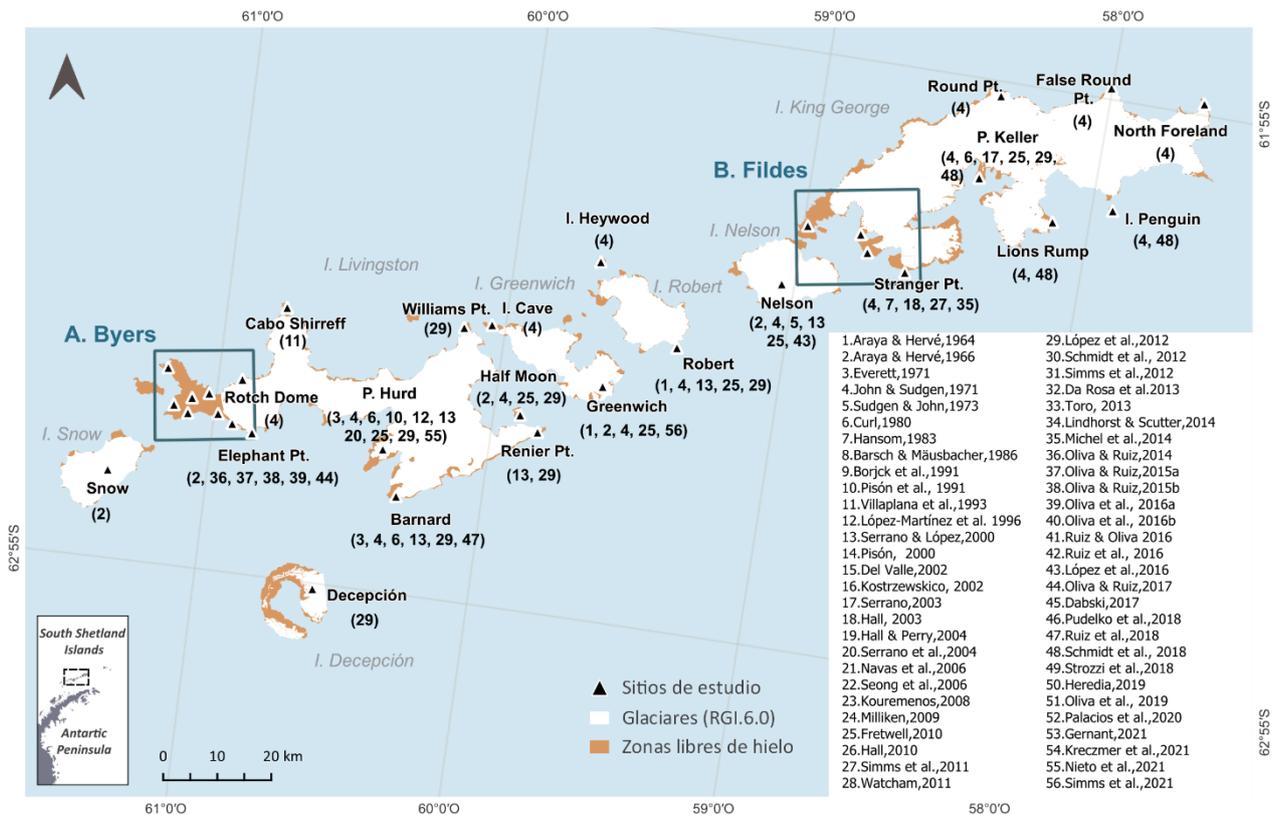
<https://www.nubedepalabras.es/>

#### 4.3 Representación cartográfica

En la Figura 9 se presenta la localización geográfica en nuestra área de estudio de las publicaciones que forman parte de esa selección de estudios relevantes para el conocimiento de las playas levantadas en las ISS. La mayoría de los trabajos se concentran en las zonas de mayor superficie libre de hielo, como por ejemplo en las penínsulas de Byers y Fildes. Estas dos áreas

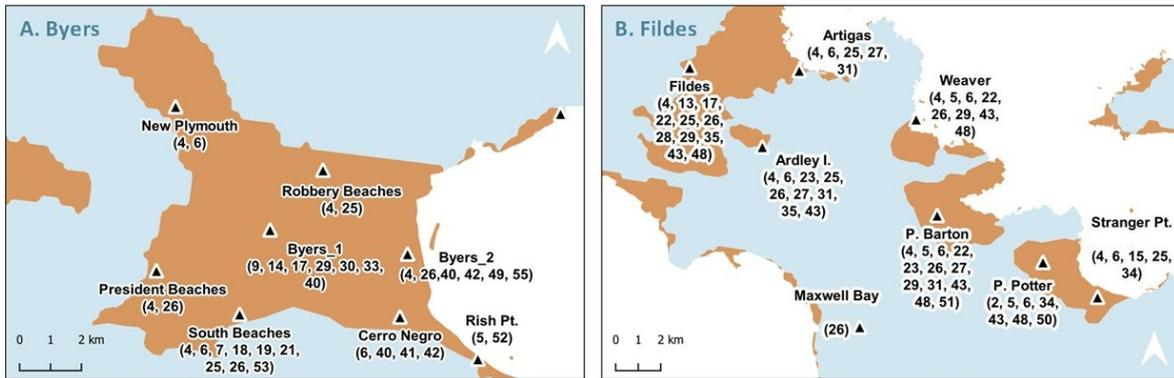
se muestran en mayor detalle en las Figuras 10 A y B. Los números que aparecen en los mapas corresponden con el listado de autores principales que se detalla en la Figura 10, con un total de 56 referencias. No fueron incluidos en esta figura los trabajos clasificados como revisiones u otro tipo de trabajos que no realizasen un estudio in situ en particular, si no que su principal objetivo era compilar y organizar datos de trabajos previos. Los nombres de los sitios de estudio son los que se encontraron en cada publicación, por lo que se mantiene el idioma original en el que fueron nombrados.

Figura 9. Mapa de los artículos de referencia sobre playas levantadas en las ISS



Fuente: elaboración propia

Figura 10. Mapas de detalle que incluyen los principales trabajos desarrollados en la Península Byers (A) y en la Península de Fildes (B)

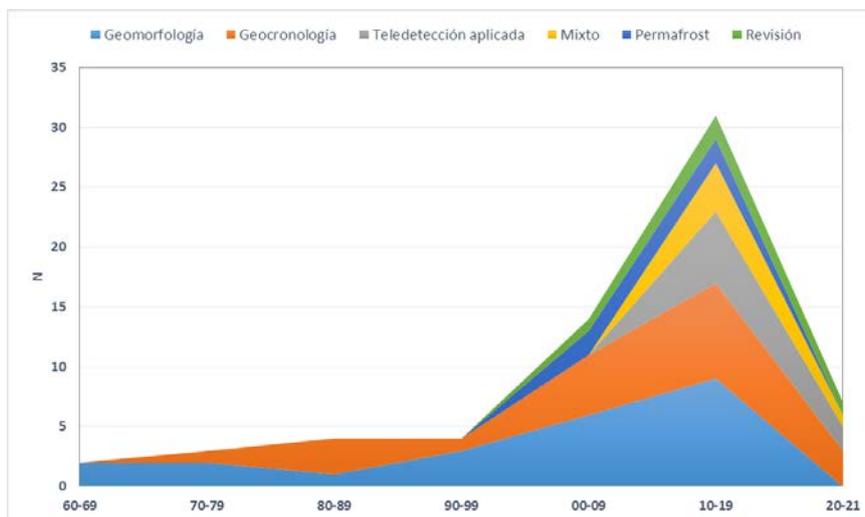


Fuente: elaboración propia

#### 4.4 Categorías y evolución del conocimiento sobre las playas levantadas en las ISS a escala decadal

Los 65 trabajos fueron clasificados en diferentes categorías que tienen en cuenta el principal método de estudio que aplican los autores en la investigación sobre playas levantadas. En la Figura 11 vemos un gráfico de áreas apilado, donde se distribuyen las publicaciones por categoría para cada década teniendo en cuenta el número de trabajos publicados. Este tipo de gráfico nos permite observar la relación entre cada una de las partes, en este caso las categorías, con respecto al total de trabajos. Los trabajos sobre geomorfología son los más abundantes y frecuentes a lo largo de todo el período abarcado, teniendo su máxima concentración en la década de 2010.

Figura 11. Principales áreas de abordaje temático del estudio de las playas levantadas en las ISS. En este caso se está considerando el número total de artículos publicados por década



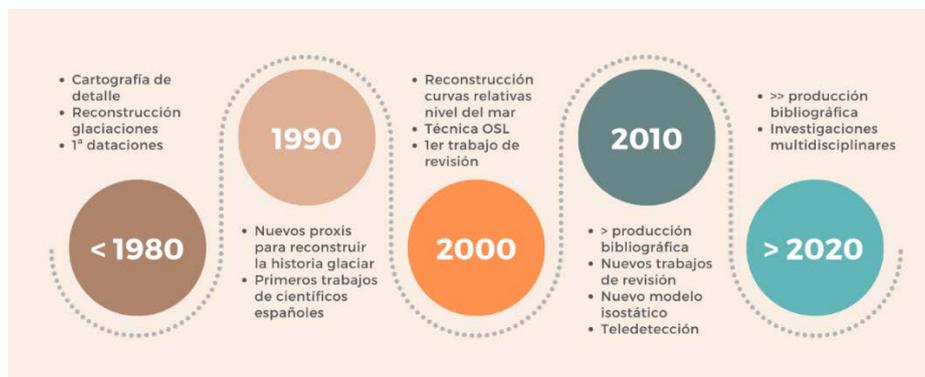
Fuente: elaboración propia

La segunda categoría más representada para todo el periodo estudiado es la referida a trabajos que aplican métodos geocronológicos para datar las playas levantadas, cuyo objetivo principal es definir las diferentes fases glaciares que ocurrieron en el archipiélago, así como su respuesta a nivel glacioisostático, generando sucesivos niveles escalonados de playas levantadas. Tanto los trabajos de geomorfología como de geocronología, representan la base del conocimiento principal existente sobre playas levantadas. Vemos que en el resto de categorías se concentran las publicaciones a lo largo de las dos últimas décadas. Es visible cómo se acumula el conocimiento para los años 2010-2019 en todas las categorías, representando un periodo de abordaje de estudio de las playas levantadas más multidisciplinar. Cabe aclarar que el descenso de publicaciones que se observa a partir de 2020 se debe a que, en este gráfico, se ha considerado el número total de publicaciones por década y no el promedio anual.

El enfoque de estudio de las playas levantadas ha cambiado a lo largo de las décadas con el aporte de nuevas técnicas y tecnologías (Figura 12). Se observó que la principal base de los trabajos científicos sobre playas levantadas a lo largo de las primeras décadas, fueron los estudios geomorfológicos y los geocronológicos. La obtención de mapas y cartografías detalladas del terreno fue uno de los objetivos principales a conseguir. Estos trabajos se desarrollaron principalmente a partir de observaciones directas en el campo, y obteniendo cartografías tradicionales de diferentes resoluciones y detalle. A partir de estas observaciones se pudo empezar a descifrar algunos de los eventos glaciares que tuvieron lugar en las ISS, y se pudo hacer una primera reconstrucción del campo de hielo que cubría a las ISS durante la última glaciación. Posteriormente, durante las expediciones a las diferentes islas, se empezaron a tomar muestras para datar materia orgánica a partir de métodos radiocarbónicos, y década a década se fueron incorporando nuevas técnicas, como el OSL y las dataciones cosmogénicas ya en el último periodo. A medida que se iba incrementando el número de dataciones y de registros, se pudo reconstruir las curvas relativas del nivel del mar y se iba estableciendo de manera cada vez más precisa la cronología sobre la historial glaciación en las ISS y sobre el rebote glacioisostático. Todos los resultados se fueron integrando a lo largo de los años, y esto se vio reflejado en los diversos trabajos clasificados como “Review” o revisiones. Este tipo de publicaciones visibiliza el gran volumen de información existente sobre el tema, que cada cierto tiempo necesita ser organizada, revisada e integrada para ver cómo se continúa avanzando en el conocimiento en función de las deficiencias o faltas encontradas. Los trabajos de teledetección aplicada son también muy importantes y empezaron a predominar en la década de 2010-2019, pero actualmente son una

de las herramientas principales y son la base fundamental para apoyar cualquier otro tipo de estudio.

Figura 12. Evolución del conocimiento sobre las playas levantadas en las ISS



Fuente: elaboración propia

## 5 Discusión

### 5.1 Consideraciones sobre el uso de repositorios y motores de búsqueda para el análisis de la producción científica sobre playas levantadas en las ISS

La búsqueda de información sobre playas levantadas en las ISS, arroja diferentes resultados en función de los buscadores seleccionados, así como los criterios o términos empleados para la búsqueda. De entre los repositorios bibliográficos internacionales utilizados para este trabajo, los resultados evidencian que aquellos que cuentan con mayor contenido sobre el estudio de playas levantadas en las ISS son Scopus y WOS. También son los que permiten realizar búsquedas avanzadas más específicas y complejas, si bien, en el caso de Scopus, al realizar la búsqueda con los dos términos *“South Shetland Island” / “raised beaches”*, los resultados incluían trabajos de playas levantadas en otras áreas geográficas (por ejemplo, en Japón). Es por ello que, aun utilizando términos de búsqueda bastante específicos, es necesario revisar y filtrar los resultados arrojados por estos grandes repositorios científicos para evitar errores. La búsqueda en el repositorio COLD, en cambio, tiene como característica principal que solamente recopila estudios realizados en zonas polares, por lo que la búsqueda está más direccionada y los resultados son más específicos desde el principio. La mayor limitación en su uso radica en que sólo está actualizada hasta el año 2011, dejando fuera gran parte de los trabajos que se publicaron a partir de la década de 2010.

La accesibilidad de la producción científica ha aumentado en los últimos años debido a la existencia de revistas de acceso abierto, motores de búsqueda conectados a repositorios

institucionales y, como algo más novedoso, las redes sociales académicas. Estos factores han permitido disponer de forma inmediata y gratuita de los textos completos que han sido objeto de interés. Para búsquedas específicas y sobre todo para poder consultar el contenido completo de los trabajos, el motor de búsqueda de Google Académico y la red social académica ResearchGate han resultado especialmente útiles. Por ejemplo, el trabajo de Fretwell et al. (2010), una de las referencias más relevantes para este trabajo, no pudo ser localizado ni consultado a través de repositorios como Scopus o WOS, sino a través de Google Académico, que provee acceso directo y abierto a la revista correspondiente.

Con respecto a los idiomas en los que se publican los principales trabajos, es evidente el predominio del inglés, ya que es el principal idioma utilizado por la comunidad científica internacional en este y otros temas de investigación (Lillis et al., 2010). Sin embargo, uno de los repositorios consultados, Dialnet, cuenta con una cantidad nada desdeñable de publicaciones sobre esta cuestión, a lo largo de las últimas décadas (más de 60 desde el año 2000), todos ellos publicados en español. Si bien para el compendio final de publicaciones se seleccionaron solo aquellos trabajos publicados en inglés y español, los repositorios bibliográficos internacionales consultados (Scopus, WOS y COLD), arrojan estadísticas de todos los trabajos encontrados y en todos los idiomas publicados; lo que permitió comprobar que, globalmente, y al margen de esta selección, el español es el segundo idioma más frecuente.

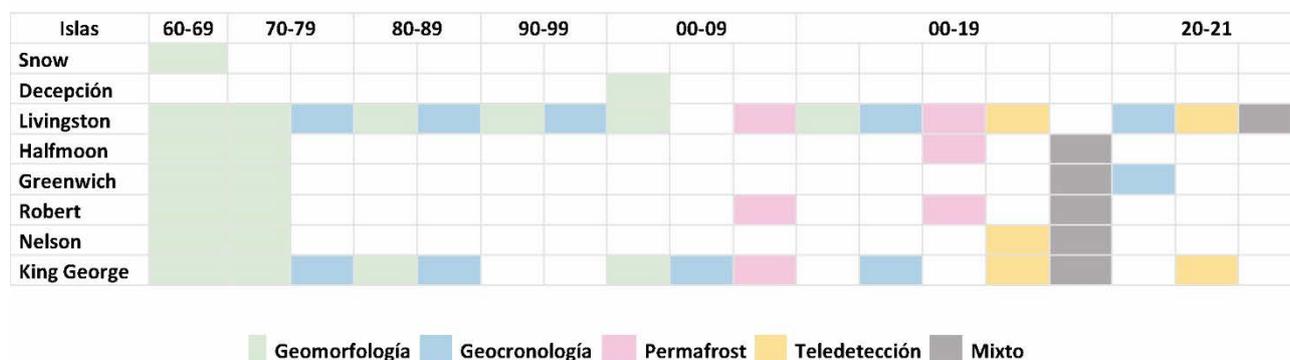
Una causa de que existan abundantes publicaciones sobre las ISS en español, se debe a la destacada presencia científica en el área de equipos de investigación procedentes de diversos países de América Latina y España, destacando Chile (4 bases), Argentina (3 bases), España (2 bases) así como Uruguay, Perú y Ecuador (una base cada uno de ellos). Debido a razones geopolíticas y territoriales, Chile y Argentina fueron, los dos primeros países sudamericanos en reclamar este territorio (Villamizar Lamus, 2013). Ya desde 1947 Chile cuenta con su primera base antártica en la Isla Greenwich y Argentina en 1948 toma asiento en la Isla Decepción (Serrano, 2000). En 1957 el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU) declara a la Antártida objetivo para la investigación y se inicia un proceso que culminará con la creación del Comité Científico para la Investigación Antártica (SCAR) y con la firma del Tratado Antártico en 1959. En la década de 1980 se comenzaron a instalar la mayor parte de las bases en las ISS, entre ellas la base española. España se adhirió al Tratado Antártico en 1982, y pasó a formar parte del Comité Científico de Investigaciones Antárticas (SCAR) en 1990 (Serrano, 2000). La presencia de estas bases facilita la investigación al brindar la logística necesaria para realizar sus expediciones, lo

cual se ve reflejado en la abundancia de trabajos publicados por parte de equipos científicos hispanoparlantes.

## 5.2 Principales disciplinas involucradas en el estudio de playas levantadas: aportes y aspectos a mejorar

En ocasiones los estudios sobre playas levantadas se incluyen en trabajos de carácter general o que abordan el tema de forma transversal. Por ejemplo, en estudios de geomorfología marina, en trabajos centrados en determinados periodos geológicos, o en trabajos de revisión de técnicas geocronológicas, siendo expresiva en este sentido la nube de palabras (Figura 8), que revela la predominancia de algunos de estos términos. La Figura 13 muestra las diferentes categorías científicas (entendiendo como tal la disciplina en la que se enmarca el estudio, o la perspectiva empleada en la investigación), en las que fueron clasificados los 65 trabajos finalmente seleccionados para el estudio de playas levantadas, distribuidos por década y para cada una de las principales islas del archipiélago.

Figura 13. Clasificación de los trabajos seleccionados para el estudio de playas levantadas, en función de la disciplina científica, para cada una de las principales islas del archipiélago, por década



Fuente: elaboración propia

Con respecto a la categoría de geomorfología, es la disciplina que más trabajos ha aglutinado a lo largo del periodo estudiado con un total de 23 publicaciones, de modo que las principales islas del archipiélago cuentan con información y mapas geomorfológicos a diferentes escalas. Estos trabajos permitieron identificar los lugares en los que se encuentran las playas levantadas, y obtener información sobre su morfología y altitud sobre el nivel del mar. Respecto a esta última cuestión, se ha observado un cambio en la referencia que se toma para medir la altitud de las playas levantadas; por ejemplo en uno de los primeros trabajos publicados como son los de John & Sudgen (1971)

y Curl (1980), la altura de las playas levantadas se mide con respecto al nivel del mar en vez de tomar como referencia la altura de la playa de tormenta moderna o actual (Gernant, 2021; Kouremenos, 2008), donde se tiene en cuenta la variación local de la elevación de la playa, relacionada con la variación del régimen del oleaje.

Asimismo, se aprecian algunos aspectos a mejorar en estos estudios de carácter geomorfológico. En primer lugar, estos deben incluir mapas geomorfológicos de mayor detalle, pudiendo las cartografías ser dotadas de mayor homogeneidad (en cuanto a escalas y metodología). Por otro lado, en paisajes tan cambiantes parece necesario actualizar la cartografía al paso de la deglaciación y los consiguientes procesos paraglaciaros que imperan en el presente en las áreas recientemente deglaciadas (Ruiz-Fernández et al., 2019). Un ejemplo de ello es la península de Punta Elefante en la Isla Livingston, en la que desde 1965 hasta la actualidad se ha formado una nueva área proglaciar entre la morrena con la que conectaba el glaciar en esa fecha, y la posición del frente glaciar actual (Oliva & Ruiz-Fernández, 2015), con las consecuentes implicaciones para los procesos costeros actuales ante los aportes de las corrientes proglaciares, procedentes tanto de las aguas de fusión glaciar, como de la intensa dinámica de reajuste paraglaciar que sufre la cara interna de la mencionada morrena.

En cuanto a los estudios basados en métodos geocronológicos, se evidencia una mayor concentración geográfica de los trabajos, que se centran en las dos principales islas (Livingston y King George). Esto se explica porque, junto con la isla volcánica de Decepción, son las islas que disponen de una mayor superficie libre de hielo (Petsch et al., 2022). Además, también se trata de las islas que albergan las principales bases científicas, lo que favorece la logística a la hora de explorar las islas en busca de nuevas muestras para datar. El método de datación más empleado es el basado en la utilización del isótopo  $^{14}\text{C}$ , si bien un factor limitante a la hora de aplicar este método es el sesgo derivado del efecto reservorio de  $^{14}\text{C}$ . Este efecto reservorio del radiocarbono marino consiste en el desfase observado entre la edad verdadera del  $^{14}\text{C}$  (atmosférico) y la edad aparente del  $^{14}\text{C}$  (marino), ya que las reservas de  $^{14}\text{C}$  en los ambientes oceánicos están empobrecidas en comparación con las de la atmósfera (Heaton et al., 2020). La corrección del efecto reservorio se basa en realizar mediciones de las edades de material radiocarbónico marino de edad conocida. Como consecuencia no se podrá utilizar la curva de calibración atmosférica para la calibración de fechas radiocarbónicas marinas. Las variaciones de este efecto reservorio a lo largo del tiempo todavía son poco precisas (Milliken et al., 2009), por lo que a la hora de calibrar deben tenerse en cuenta diversos factores, como la localidad de la muestra, el tipo de resto orgánico que se esté datando o su procedencia marina, lacustre o terrestre. . Es por esto

que, en la bibliografía, encontramos correcciones locales de reservorio de  $^{14}\text{C}$  para muestras marinas de las ISS en un amplio rango de edades que van desde 700 a 1300 años (Barsch & Mäusbacher, 1986; Bentley et al., 2005; Björck et al., 1991; Hall, 2010; Lindhorst & Schutter, 2014; Milliken et al., 2009; Simms et al., 2012; Watcham et al., 2011).

La revisión de los trabajos muestra una clara evolución en el uso de métodos para datar las playas levantadas, apareciendo en la década de 2000 los primeros trabajos que recurren a dataciones mediante Luminiscencia Ópticamente Estimulada (más conocida como OSL por sus siglas en inglés).

El método OSL mide el tiempo desde la última exposición al sol de minerales como cuarzo y feldespato y se emplea para fechar sedimentos de hasta 200 000 años de antigüedad (Rhodes, 2011). Dado que estos minerales están ampliamente distribuidos en la superficie terrestre, la técnica es aplicable en diversos entornos. Recientemente, se ha extendido su uso para fechar también superficies rocosas (Sohbati et al., 2012). Con esta técnica entonces, es posible datar materiales en los que la ausencia de materia orgánica imposibilita la datación radiocarbónica. Por ejemplo, arenas marinas o de otro tipo, que contengan cuarzo o, en su defecto, feldespato. Esta técnica fue aplicada en diversas localizaciones de las ISS para datar materiales de las playas levantadas, y reconstruir las cronologías de los cambios en el nivel del mar (Kouremenos, 2008; Simms et al., 2011, 2012). El método de datación absoluta mediante isótopos cosmogénicos implica medir los isótopos radiactivos producidos cuando los rayos cósmicos interactúan con elementos presentes en minerales y rocas. Esto permite calcular el tiempo transcurrido desde su última exposición a la atmósfera (Andersen et al., 2020) y nos aporta información sobre la historia geológica y geomorfológica de una región. La técnica de datación por isótopos cosmogénicos junto con las técnicas OSL, nos permiten obtener cronologías de la exposición de superficies de sedimentos y rocas en una amplia escala temporal. Hoy en día resulta indispensable para comprender la evolución del paisaje y reconstruir la historia glacial de una determinada región (Fabel & Harbor, 1999; Gosse & Phillips, 2001). Cabe citar, entre otros, el trabajo de Palacios et al. (2020), que ofrece nuevas posibilidades para obtener una cronología detallada del desarrollo de fases de avance neoglacial en las ISS a partir de dataciones cosmogénicas, y que también se puede aplicar directamente para datar niveles de playas levantadas. Este tipo de estudios se deberían replicar en otras islas y playas levantadas ya que, como se aprecia en la Figura 9, hay una importante carencia de estudios en el resto del archipiélago. La aplicación sistemática de estos nuevos métodos de datación es una línea de trabajo en la que se hace necesario profundizar para seguir avanzando en el conocimiento de la deglaciación y el rebote glacioisostático en las ISS.

Los trabajos de teledetección cobraron fuerza en la década de 2010, y en la actualidad son una herramienta fundamental que acompaña a cualquier otro tipo de método o técnica de investigación. Cabe destacar las ventajas de utilizar imágenes satelitales de radar frente a las imágenes ópticas, ya que las microondas de las imágenes radar pueden penetrar la nubosidad que frecuentemente cubre las ISS (Pudetko et al., 2018). Una de las limitaciones de realizar estudios con imágenes satelitales es la falta de disponibilidad del material necesario, ya que habitualmente, si se requiere trabajar con imágenes de mejor resolución espacial, será necesario adquirir las escenas con proveedores privados, siendo lo más recomendable establecer convenios de colaboración con las instituciones científicas que proveen los principales productos satelitales, como por ejemplo la Agencia Espacial Italiana (ASI) para obtención de imágenes radar COSMO-SkyMed, o el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia para obtener productos PLEIADES de alta resolución.

Finalmente, en cuanto a los estudios de permafrost, si bien abordan el tema de forma más transversal, aportan información con respecto a la localización de playas levantadas y cartografía de detalle de los ambientes y procesos periglaciares actuales que imperan en ellas (López-Martínez et al., 2012; Oliva & Ruiz-Fernández, 2017, p. 20; Ruiz-Fernández et al., 2019; Serrano et al., 2004; Serrano & López-Martínez, 2000). Estos estudios de medios fríos y permafrost, han experimentado un importante impulso en la comunidad científica española gracias a la existencia de redes de colaboración bien desarrolladas y a la organización de congresos periódicos vinculados a grupos internacionales como el vinculado a la International Permafrost Association (García-Hernández et al., 2020). Este tipo de trabajos son, además, especialmente relevantes dado el escenario climático actual, siendo la degradación del permafrost un proceso que ganará protagonismo en los próximos años en las áreas libres de hielo de las ISS.

## **6 Conclusiones**

El interés creciente de la comunidad científica por realizar investigaciones en las ISS queda reflejado en el conocimiento acumulado que, desde diferentes enfoques y líneas de investigación, trata de alcanzar un objetivo común que es descifrar la historia ambiental del archipiélago (particularmente la evolución glacial). El interés particular por estudiar las playas levantadas se debe a que, a partir de ellas, se pueden inferir los cambios relativos del nivel del mar durante el Holoceno, asociados principalmente con los procesos de deglaciación acontecidos en los últimos milenios.

El principal objetivo de este trabajo ha sido buscar y clasificar la producción científica que sintetiza el conocimiento existente sobre las playas levantadas en las ISS. La búsqueda bibliométrica ha permitido seleccionar 65 trabajos que integran un conocimiento general de la temática elegida. Se ha constatado que la principal base para realizar los estudios científicos sobre playas levantadas son los estudios geomorfológicos y geocronológicos. Estos trabajos se desarrollaron principalmente a partir de observaciones directas en el campo, obteniendo cartografías tradicionales a diferentes resoluciones. A partir de estas observaciones se comenzaron a descifrar los principales eventos glaciares, y se pudo hacer una primera reconstrucción del campo de hielo que cubría a las ISS durante la última glaciación. Durante las expediciones a las diferentes islas, se empezaron a tomar muestras para datar materia orgánica a partir de métodos radiocarbónicos, y década a década se fueron incorporando nuevas técnicas (OSL y dataciones cosmogénicas ya en el último periodo). El incremento de dataciones y registros permitió reconstruir las curvas relativas del nivel del mar, e ir estableciendo de manera cada vez más precisa la cronología sobre el historial glacial y el rebote glacioisostático en las ISS. Progresivamente, los resultados de los distintos trabajos se fueron integrando, lo que se vio reflejado en la aparición de artículos de revisión en la década de 2000. Estas publicaciones visibilizan el gran volumen de información existente sobre el tema, que cada cierto tiempo necesita ser organizada, revisada e integrada para comprobar el avance en el conocimiento y detectar posibles deficiencias. Los trabajos de teledetección aplicada empiezan a predominar a partir de 2010, siendo actualmente una de las herramientas principales, y ofreciendo una base fundamental en otros tipos de estudio.

Se puede concluir que se ha alcanzado un considerable corpus de conocimiento y datos científicos sobre las playas levantadas en las ISS, habiendo sido estudiadas a partir de diferentes enfoques, métodos y análisis. Uno de los principales objetivos a perseguir para avanzar en su conocimiento, sería centrar los estudios en aquellas áreas del archipiélago en las que aún no se han podido realizar dataciones o estudios de detalle, para poder establecer correlaciones con los espacios que han sido más ampliamente estudiados. De esta forma, se podrá ampliar el alcance geográfico del registro del Holoceno en las ISS y se desarrollarán cronologías fiables adicionales y más detalladas.

**Agradecimientos:** Este trabajo se realizó dentro del marco del Doctorado en Investigaciones Humanísticas de la Universidad de Oviedo y ha sido financiado por el proyecto de investigación PARANTAR, ref. PID2020-115269GB-I00.

**Declaración responsable:** Las/os autoras/es declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo. Las tareas se han distribuido de la manera siguiente: Lidia Ferri Hidalgo coordinó el trabajo, redactó el artículo, procesó los datos y realizó las figuras. Cristina García Hernández participó en la redacción del artículo y aportó sugerencias al proceso metodológico. Jesús Ruiz Fernández colaboró en el desarrollo metodológico del artículo y revisó el trabajo y la bibliografía.

## Bibliografía

Andersen, J.L., Newall, J.C., Blomdin, R., Sams, S.E., Fabel, D., Koester, A.J., Liffon, N.A., Fredin, O., Caffee, M.W., Glasser, N.F., Rogozhina, I., Suganuma, Y., Harbor, J.M., & Stroeven, A.P. (2020). Ice surface changes during recent glacial cycles along the Jutulstraumen and Penck Trough ice streams in western Dronning Maud Land, East Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 249, 106636. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106636>

Araya, R., & Hervé, F. (1964). Estructuras en playas actuales y antiguas, Islas Greenwich y Robert, South Shetland. *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Exactas y Matemáticas*, 6, 14. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/rc/article/download/12165/12201/28688>

Bañón, M., Justel, A., Velázquez, D., & Quesada, A. (2013). Regional weather survey on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*, 25(2), 146-156. <https://doi.org/10.1017/S0954102012001046>

Barsch, D. (1996). *Rockglaciers. Indicators for the present and former geoecology in high mountain environments* (Vol. 16). Springer. <https://bit.ly/3TFYJ1Z>

Barsch, D., & Mäusbacher, R. (1986). *New Data on the Relief Development of the South Shetland Islands, Antarctica. Interdisciplinary Science Reviews*, 11(2), 211-218. <https://doi.org/10.1179/isr.1986.11.2.211>

Bastías, J., Calderón, M., Israel, L., Hervé, F., Spikings, R., Pankhurst, R., Castillo, P., Fanning, M., & Ugalde, R. (2019). The Byers Basin: Jurassic-Cretaceous tectonic and depositional evolution of the forearc deposits of the South Shetland Islands and its implications for the northern Antarctic Peninsula. *International Geology Review*, 62(11), 1467-1484. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1655669>

Bastías, J., Chew, D., Villanueva, C., Riley, T., Manfroi, J., Trevisan, C., Leppe, M., Castillo, P., Poblete, F., Tetzner, D., Giuliani, G., López, B., Chen, H., Zheng, G.-G., Zhao, Y., Gao, L., Rauch, A., & Jaña, R. (2023). The South Shetland Islands, Antarctica: Lithostratigraphy and geological map. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1002760. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1002760>

Bentley, M. J., Hodgson, D. A., Smith, J. A., & Cox, N. J. (2005). Relative sea level curves for the South Shetland Islands and Marguerite Bay, Antarctic Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.10.004>

Björck, S., Håkansson, H., Zale, R., Karlén, W., & Jönsson, B.L. (1991). A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Islands, with palaeoclimatic implications. *Antarctic Science*, 3(1), 61-72. <https://doi.org/10.1017/S095410209100010X>

Carrasco, J. F., Bozkurt, D., & Cordero, R. R. (2021). A review of the observed air temperature in the Antarctic Peninsula. Did the warming trend come back after the early 21st hiatus? *Polar Science*, 28, 100653. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100653>

Constable, A.J., Harper, S., Dawson, J., Holsman, K., Mustonen, T., Piepenburg, D., Rost, B., Bokhorst, S., Boike, J., Cunsolo, A., Derksen, C., Feodoroff, P., Ford, J.D., Howell, S.E., Katny, A. C., MacDonald, J.P., Ønvik, A., Robinson, S.A., Dorough, D.S., Shadrin, V., Skern-Mauritzen, M., Smith, S.L., Streletskiy, D., Tsujimoto, M., & Van Dam, B. (2022). Cross-Chapter Paper 6: Polar Regions. In *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of the WGII to the 6th assessment report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC AR WGII*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.023>

Curl, J. (1980). *A Glacial History of the South Shetland Islands, Antarctica*. Institute of Polar Studies and Department of Geology and Mineralogy. <https://core.ac.uk/download/pdf/159564479.pdf>

Del Valle, R. A. (2002). Mid-Holocene macrofossil-bearing raised marine beaches at Potter Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 14(3), 263-269. <https://doi.org/10.1017/S0954102002000081>

Everett, K. R. (1971). Observations on the Glacial History of Livingston Island. *ARCTIC*, 24(1), 41-50. <https://doi.org/10.14430/arctic3111>

Fretwell, P.T., Hodgson, D.A., Watcham, E.P., Bentley, M.J., & Roberts, S.J. (2010). Holocene isostatic uplift of the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, modelled from raised beaches. *Quaternary Science Reviews*, 29(15-16), 1880-1893. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.04.006>

García-Hernández, C., Ruiz-Fernández, J., & Serrano-Cañadas, E. (2020). Social network analysis in Geosciences: Scientific collaboration between periglacial scholars in the Iberian Peninsula. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 46(1), 319-339. <https://doi.org/10.18172/cig.3939>

Gernant, C. (2021). *Insights into the Sea Level History of the South Shetland Islands from Ground Penetrating Radar on livingston island, Antarctica*. 356922. <https://doi.org/10.1130/abs/2020AM-356922>

- Hall, B.L. (2003). An Overview of Late Pleistocene Glaciation in the South Shetland Islands. En *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Paleoenvironmental Perspectives* (pp. 103-113). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/AR079p0103>
- Hall, B.L. (2009). Holocene glacial history of Antarctica and the sub-Antarctic islands. *Quaternary Science Reviews*, 28(21-22), 2213-2230. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.06.011>
- Hall, B.L. (2010). Holocene relative sea-level changes and ice fluctuations in the South Shetland Islands. *Global and Planetary Change*, 74(1), 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.07.007>
- Hall, B.L., & Perry, E.R. (2004). Variations in ice rafted detritus on beaches in the South Shetland Islands: A possible climate proxy. *Antarctic Science*, 16(3), 339-344. <https://doi.org/10.1017/S0954102004002147>
- Hansom, J.D. (1979). Radiocarbon dating of a raised beach at 10 m in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 49, 287-288. <https://eprints.gla.ac.uk/99595/>
- Heaton, T.J., Köhler, P., Butzin, M., Bard, E., Reimer, R.W., Austin, W.E.N., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Hughen, K.A., Kromer, B., Reimer, P.J., Adkins, J., Burke, A., Cook, M.S., Olsen, J., & Skinner, L.C. (2020). Marine20—The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon*, 62(4), 779-820. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.68>
- Hong, S., Lee, M.K., Seong, Y.B., Owen, L.A., Rhee, H.H., Lee, J.I., & Yoo, K.-C. (2021). Holocene sea-level history and tectonic implications derived from luminescence dating of raised beaches in Terra Nova Bay, Antarctica. *Geosciences Journal*, 25(3), 283-298. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0031-x>
- Hooke, R.L. (2005). *Principles of glacier mechanics. Second Edition* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- IPCC, 2021 (Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Matthews, J.B.R., Berger, S., Huang, M., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B., Lonnoy, E., Maycock, T.K., Waterfield, T., & Leitzell, K.) (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA* (p. 2391). [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report\\_smaller.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf)

- John, S., & Sugden, E. (1971). Raised Marine Features and Phases of Glaciation in The South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 70. [https://www.researchgate.net/publication/329656084\\_Raised\\_marine\\_features\\_and\\_phases\\_of\\_glaciation\\_in\\_the\\_South\\_Shethland\\_Islands](https://www.researchgate.net/publication/329656084_Raised_marine_features_and_phases_of_glaciation_in_the_South_Shethland_Islands)
- Johnson, J.S., Venturelli, R.A., Balco, G., Allen, C.S., Braddock, S., Campbell, S., Goehring, B.M., Hall, B.L., Neff, P.D., Nichols, K. A., Rood, D.H., Thomas, E.R., & Woodward, J. (2022). Review article: Existing and potential evidence for Holocene grounding line retreat and readvance in Antarctica. *The Cryosphere*, 16(5), 1543-1562. <https://doi.org/10.5194/tc-16-1543-2022>
- Jones, M.E., Bromwich, D.H., Nicolas, J.P., Carrasco, J., Plavcová, E., Zou, X., & Wang, S.-H. (2019). Sixty Years of Widespread Warming in the Southern Middle and High Latitudes (1957–2016). *Journal of Climate*, 32(20), 6875-6898. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0565.1>
- Kouremenos, P. (2008). *Testing the Use of OSL on Cobbles from the Raised Beaches of King George Island, Antarctica*. 77. <https://hdl.handle.net/11244/8033>
- Lillis, T., Hewings, A., Vladimirova, D., & Curry, M.J. (2010). The geolinguistics of English as an academic lingua franca: Citation practices across English-medium national and English-medium international journals. *International Journal of Applied Linguistics*, 20(1), 111-135. <https://doi.org/10.1111/j.1473-4192.2009.00233.x>
- Lindhorst, S., & Schutter, I. (2014). Polar gravel beach-ridge systems: Sedimentary architecture, genesis, and implications for climate reconstructions (South Shetland Islands/Western Antarctic Peninsula). *Geomorphology*, 221, 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.013>
- López-Martínez, J., Serrano, E., Schmid, T., Mink, S., & Linés, C. (2012). Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). *Geomorphology*, 155-156, 62-79. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.018>
- López-Martínez, J., Thomson, M. R. A., Arche, A., Björck, S., Ellis-Evans, J. C., Hathway, B., Hernández-Cifuentes, F., Hjort, C., Ingólfsson, Ó., Ising, J., Lomas, S., Martínez de Pisón, E., Serrano, E., Zale, R., & King, S. (1996). *Geomorphological map of Byers Peninsula, Livingston Island*. British Antarctic Survey, BAS GEOMAP Series, Cambridge. <https://www.bas.ac.uk/data/our-data/maps/geological-maps/geomap-5-geomorphological-map-of-byers-peninsula-livingston-island-sheet-5a/>

Mäusbacher, R., Müller, J., & Schmidt, R. (1989). Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 33(2), 219-234. <https://doi.org/10.1127/zfg/33/1989/219>

Michel, R.F.M. (2014). Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology*, 225, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.041>

Milliken, K.T., Anderson, J.B., Wellner, J.S., Bohaty, S.M., & Manley, P.L. (2009). High-resolution Holocene climate record from Maxwell Bay, South Shetland Islands, Antarctica. *Geological Society of America Bulletin*, 121(11-12), 1711-1725. <https://doi.org/10.1130/B26478.1>

Noble, T.L., Rohling, E.J., Aitken, A.R.A., Bostock, H.C., Chase, Z., Gomez, N., Jong, L.M., King, M.A., Mackintosh, A.N., McCormack, F.S., McKay, R.M., Menviel, L., Phipps, S.J., Weber, M.E., Fogwill, C.J., Gayen, B., Golledge, N.R., Gwyther, D.E., Hogg, A. McC., ... Williams, T. (2020). The Sensitivity of the Antarctic Ice Sheet to a Changing Climate: Past, Present, and Future. *Reviews of Geophysics*, 58(4). <https://doi.org/10.1029/2019RG000663>

Oliva, M., Antoniades, D., Serrano, E., Giralt, S., Liu, E.J., Granados, I., Pla-Rabes, S., Toro, M., Hong, S.G., & Vieira, G. (2019). The deglaciation of Barton Peninsula (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica) based on geomorphological evidence and lacustrine records. *Polar Record*, 55(3), 177-188. <https://doi.org/10.1017/S0032247419000469>

Oliva, M., Navarro, F., Hrbáček, F., Hernández, A., Nývt, D., Pereira, P., Ruiz-Fernández, J., & Trigo, R. (2017). Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere. *Science of The Total Environment*, 580, 210-223. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.030>

Oliva, M., & Ruiz-Fernández, J. (2015). Coupling patterns between para-glacial and permafrost degradation responses in Antarctica. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(9), 1227-1238. <https://doi.org/10.1002/esp.3716>

Oliva, M., & Ruiz-Fernández, J. (2017). Geomorphological processes and frozen ground conditions in Elephant Point (Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica). *Geomorphology*, 293, 368-379. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.020>

Palacios, D., Ruiz-Fernández, J., Oliva, M., Andrés, N., Fernández-Fernández, J.M., Schimmelpfennig, I., Leanni, L., & González-Díaz, B. (2020). Timing of formation of neoglacial landforms in the South Shetland Islands (Antarctic Peninsula): Regional and global implications. *Quaternary Science Reviews*, 234, 106248. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106248>

- Pedoja, K., Husson, L., Johnson, M.E., Melnick, D., Witt, C., Pochat, S., Nexer, M., Delcaillau, B., Pinegina, T., Poprawski, Y., Authemayou, C., Elliot, M., Regard, V., & Garestier, F. (2014). Coastal staircase sequences reflecting sea-level oscillations and tectonic uplift during the Quaternary and Neogene. *Earth-Science Reviews*, 132, 13-38. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.01.007>
- Petsch, C., Rosa, K.K.D., Oliveira, M.A.G.D., Velho, L.F., Silva, S.L.C., Sotille, M. E., Vieira, R., & Simões, J.C. (2022). An inventory of glacial lakes in the South Shetland Islands (Antarctica): Temporal variation and environmental patterns. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(suppl 1), e20210683. <https://doi.org/10.1590/0001-37652022020210683>
- Pudetko, R., Angiel, P., Potocki, M., Jędrejek, A., & Kozak, M. (2018). Fluctuation of Glacial Retreat Rates in the Eastern Part of Warszawa Icefield, King George Island, Antarctica, 1979–2018. *Remote Sensing*, 10(6), 892. <https://doi.org/10.3390/rs10060892>
- RGI Consortium. (2017). *Randolph Glacier Inventory (RGI) – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space, Boulder, Colorado, USA*. GLIMS Technical Report. <https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60>
- Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., van den Broeke, M., van Wessem, M. J., & Morlighem, M. (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(4), 1095-1103. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812883116>
- Rovere, A., Ryan, D.D., Vacchi, M., Dutton, A., Simms, A.R., & Murray-Wallace, C.V. (2023). The World Atlas of Last Interglacial Shorelines (version 1.0). *Earth System Science Data*, 15(1), 1-23. <https://doi.org/10.5194/essd-15-1-2023>
- Ruiz-Fernández, J., Oliva, M., & García-Hernández, C. (2016). Procesos Geomorfológicos y Formas de Relieve en dos Cuencas Lacustres de la Península Byers (Isla Livingston, Antártida Marítima): Implicaciones Paleoambientales. *Polígonos. Revista de Geografía*, 28. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i28.4294>
- Ruiz-Fernández, J., Oliva, M., Nývlt, D., Cannone, N., García-Hernández, C., Guglielmin, M., Hrbáček, F., Roman, M., Fernández, S., López-Martínez, J., & Antoniades, D. (2019). Patterns of spatio-temporal paraglacial response in the Antarctic Peninsula region and associated ecological implications. *Earth-Science Reviews*, 192, 379-402. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.03.014>

- Scheffers, A., Engel, M., Scheffers, S., Squire, P., & Kelletat, D. (2012). Beach ridge systems – archives for Holocene coastal events? *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 36(1), 5-37. <https://doi.org/10.1177/0309133311419549>
- Serrano, E. (2000). Ciencia y ocupación del territorio en las Islas Shetland del Sur (Antártida Marítima): Implicaciones territoriales y ambientales de las bases científicas. *Polígonos. Revista de Geografía*, 10, 85-116. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i10.558>
- Serrano, E. (2003). Paisaje Natural y Pisos Geoecológicos en las Áreas Libres de Hielo de la Antártida Marítima (Islas Shetland del Sur). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (35), 5-32. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/441>
- Serrano, E., Giner, J., Gumiel, P., & López-Martínez, J. (2004). El glaciar rocoso de Hurd: Estructura e inserción en el sistema de transferencia de derrubios Antártico Marítimo (Isla Livingston, Islas Shetland de Sur, Antártida). *Cuaternario y Geomorfología*, 18(1-2), 13-24. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/52606>
- Serrano, E., & López-Martínez, J. (2000). Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. *Geomorphology*, 35(1), 145-162. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00034-9)
- Simkins, L.M., Simms, A.R., & DeWitt, R. (2013). Relative sea-level history of Marguerite Bay, Antarctic Peninsula derived from optically stimulated luminescence-dated beach cobbles. *Quaternary Science Reviews*, 77, 141-155. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.027>
- Simms, A.R., DeWitt, R., Kouremenos, P., & Drewry, A.M. (2011). A new approach to reconstructing sea levels in Antarctica using optically stimulated luminescence of cobble surfaces. *Quaternary Geochronology*, 6(1), 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.06.004>
- Simms, A.R., Ivins, E.R., DeWitt, R., Kouremenos, P., & Simkins, L.M. (2012). Timing of the most recent Neoglacial advance and retreat in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula: Insights from raised beaches and Holocene uplift rates. *Quaternary Science Reviews*, 47, 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.05.013>
- Tomás-Górriz, V., & Tomás-Casterá, V. (2018). La Bibliometría en la evaluación de la actividad científica. *Hospital a Domicilio*, 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.22585/hospdomic.v2i4.51>
- Turner, J., Lu, H., White, I., King, J.C., Phillips, T., Hosking, J.S., Bracegirdle, T.J., Marshall, G. J., Mulvaney, R., & Deb, P. (2016). Absence of 21st century warming on Antarctic Peninsula consistent with natural variability. *Nature*, 535(7612), 411-415. <https://doi.org/10.1038/nature18645>

Velicogna, I., Mohajerani, Y.A.G., Landerer, F., Mougnot, J., Noel, B., Rignot, E., Sutterley, T., van den Broeke, M., van Wessem, M., & Wiese, D. (2020). Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica From the GRACE and GRACE Follow-On Missions. *Geophysical Research Letters*, 47(8). <https://doi.org/10.1029/2020GL087291>

Villamizar Lamus, F. (2013). Antarctic treaty and Antarctic territory protection mechanisms. *Revista Chilena de Derecho*, 40(2), 461-488. <https://doi.org/10.4067/S0718-34372013000200005>

Watcham, E.P., Bentley, M.J., Hodgson, D.A., Roberts, S.J., Fretwell, P.T., Lloyd, J.M., Larter, R.D., Whitehouse, P.L., Leng, M.J., Monien, P., & Moreton, S.G. (2011). A new Holocene relative sea level curve for the South Shetland Islands, Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 30(21-22), 3152-3170. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.021>