

El relieve de una vieja península volcánica en la Antártida: la Península de Byers en la Isla de Livingston

I

EL MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA PENÍNSULA

CON el número 5 de la colección BAS-GEOMAP Series, del British Antarctic Survey, se ha publicado el mapa geomorfológico de la Península Byers, en la isla de Livingston de las Shetland del Sur, Antártida, a escala 1:25.000, junto con su memoria correspondiente, editado en colaboración entre M. R. A. Thomson y J. López¹.

Este mapa, aunque publicado en Cambridge por el B.A.S., ha sido realizado dentro de los proyectos ANT-91-1267, ANT-94-0666 y de la Acción Especial ANT-89-0821 del Programa Antártico Español y está basado en la cartografía y los datos obtenidos en el terreno en las campañas de 1990 y 1992. En su elaboración técnica ha intervenido el Servicio Geográfico del Ejército, mediante su proyecto ANT-93-0961, con una amplia cartela en color de 64 signos, que abarcan los aspectos topográficos, morfoestructurales, periglaciares y nivales, fluviales y lacustres, glaciares y marinos. La cartografía morfológica se superpone, así, al mapa topográfico de esta península, cuyos datos también se obtuvieron en la campaña de 1992 del programa antártico español y que fue

editado ese mismo año por el SGE, en colaboración con la Universidad Autónoma de Madrid y el British Antarctic Survey (SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO, 1992).

En la campaña del verano de 1990 realizamos nuestras primeras observaciones en la Península de Byers (investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid, del CSIC y de la Universidad Complutense). En la de 1992 permanecemos acampados en dicha península 35 días un grupo de 11 personas (del SGE, especialistas en logística y comunicaciones, CSIC, Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Cantabria y Universidades de Umea y de Lund —Suecia—) (PLAN NACIONAL I+D, 1992). Los diversos capítulos de la memoria que acompaña al mapa geomorfológico han sido redactados por un conjunto más amplio de investigadores, que añaden más campañas en Byers.

La elección del lugar cartografiado y estudiado, por un lado, se inserta en un programa de investigación geomorfológica del conjunto de las Shetland del Sur (Fig. 1) y, en concreto, de la Isla de Livingston (en cuya Bahía Sur se ubica la Base Antártica Española, alejada de Byers), producto del cual han aparecido ya varias publicaciones (LÓPEZ MARTÍNEZ et al., 1992; LÓPEZ MARTÍNEZ, MARTÍNEZ DE PISÓN y ARCHE, 1992; MARTÍNEZ DE PISÓN, 1992; MARTÍNEZ DE PISÓN, LÓPEZ MARTÍNEZ y ARCHE, 1991 y 1992).

Por otra parte, en estos ámbitos insulares los sectores descubiertos de hielo de cierta amplitud no son frecuentes, aunque existen. Por ello, la Península de Byers, que presenta estos caracteres en una superficie de 60 km², es un lugar especialmente apto para obtener datos evolutivos en otros lugares ocultos y para realizar observacio-

¹ Referencia del mapa: LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; MARTÍNEZ DE PISÓN, E.; SERRANO, E.; ARCHE, A. (1996): *Geomorphological map of Byers Peninsula, Livingston Island*. BAS GEOMAP Series, Sheet 5-A, Scale 1:25.000, with supplementary text. Text by López-Martínez; Thomson, M.; 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. y King, S. Cambridge, British Antarctic Survey, 65 págs.

En esta nota se resumen los datos contenidos en esta publicación.

nes sobre procesos interrelacionados litorales, torrenciales, periglaciares y proglaciares en un área de cierta extensión y complejidad, mediante reconocimientos geomorfológicos detallados. Además, Byers es un espacio catalogado y protegido desde 1991 por la Reunión Consultiva del Tratado Antártico, como «Site of Special Scientific Interest n° 6», por sus elevados valores naturalísticos, lo que incrementa el sentido aplicable de esta cartografía básica.

Por todo ello, algunos de los datos conseguidos en estos trabajos pueden servir para proporcionar también al lector español una caracterización geomorfológica de esa región insular en la que se desarrolla una parte apreciable de los proyectos de nuestro programa de investigación antártica. Esta consideración es la que me ha incitado a hacer aquí un comentario para geógrafos sobre este territorio de relieve interesante, basado en el estudio en equipo ya mencionado, en parte propio.

La tradición de una actividad española en este punto del planeta no es tan reciente como parece. En el año 1603 el barco español llamado «Buena Nueva», que navegaba por el extremo Sur de América, fue empujado por fuertes vientos hacia zonas más australes de las habituales. Su almirante, Gabriel de Castilla, anotó que avistó tierras nuevas cubiertas de nieve. Se estima que pudo alcanzar los 64° de latitud Sur y que tales tierras pudieran ser las islas Shetland del Sur. Hoy el refugio que España tiene instalado en la Isla Decepción lleva el nombre de este marino.

En el año 1818 el buque español «San Telmo» fue también empujado por una tempestad en el Cabo de Hornos; llegó al Norte de la Isla de Livingston (Shetland del Sur), donde naufragó. En 1819 y en 1820 alcanzó dicha isla William Smith y posteriormente también James Weddell, señalando ambos los restos del naufragio, sin encontrar, sin embargo, rastros de los tripulantes, que desaparecieron por completo. Smith recogió incluso, según una singular costumbre, restos de las maderas del barco español para construir su propio ataúd. ¿Sería, pues, aquel naufragio la primera llegada de españoles, trágica, a tierra antártica, curiosamente y por pura casualidad la misma isla donde en 1987 se instalará la actual Base Antártica Española? Al Norte de Livingston hay un punto con un viejo topónimo «Telmo», que parece recordar el naufragio. Recientemente, un equipo de investigadores hispano-chileno ha estado de nuevo en estos lugares buscando restos de aquel desastre.

Cuenta también J. Charcot que la isla Decepción era frecuentada antes de 1819 por los españoles o hispano-

americanos (los «antepasados de los actuales argentinos», según Charcot²), pues en 1818 Palmer persiguió en secreto a un buque procedente de la costa de Argentina que se dirigía al Sur hacia lugar desconocido (pero para este barco destino habitual) donde, escribe, «había millares de focas». Dice Charcot que este cazadero oculto estaba en las Shetland del Sur, donde Palmer encontró anclada la nave que perseguía. ¿Podría ser que lo que descubrió Smith fue, más que una tierra, un secreto? Sin embargo, la *Gaceta de Madrid* del 20 de enero de 1821 recogía la noticia del hallazgo de Smith como

«Descubrimiento de un nuevo continente meridional ó antártico: Un sugeto llamado Smith, capitan del *William*, [...] corrió una latitud más elevada de lo que se acostumbra [...] y a los 62° 30' de latitud y 60 de longitud occidental [...] descubrió tierra [...] Corrió al poniente unas 200 ó 300 millas á lo largo de unas costas, que unas veces pertenecían al continente, otras á islas adyacentes, que forman inmensas bahías abundantísimas en ballenas, vacas marinas &c. Hizo muchísimos experimentos con la sonda, sacó vistas y diseños, y levantó planos de la costa [...] Saltó también a tierra, y tomó posesión de ella según costumbre en nombre de su Soberano, dando á este país el de *Nueva-Shetland meridional*.»

En 1982 España se adhirió al Tratado Antártico y en 1988 pertenecía ya al mismo como miembro consultivo. En 1987 España ingresó como miembro asociado en el SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) y en 1990 fue admitida como miembro pleno. Entretanto comenzó su actividad científica en la Antártida, que se consolidó con la instalación de la Base científica Juan Carlos I en 1987. Esta Base se sitúa, como es sabido, en la Isla de Livingston (62° 39' S y 60° 23' O), con actividad estacional y dedicación pluridisciplinar³.

II

FISIOGRAFÍA Y MORFOESTRUCTURAS

La Península de Byers muestra en general un paisaje amesetado, constituido por los restos de una superficie principal o central de unos 40 km² a 70-100 m. de alti-

² CHARCOT, J.: *El «Pourquoi-pas?» en el Antártico. Diario de la expedición al Polo Sur en 1908-1910*. Madrid, Calpe, 1921, 478 págs.

³ Aparte de las numerosas publicaciones surgidas de esta actividad investigadora, cuya edición es dispersa, puede obtenerse una información de los trabajos emprendidos por parte española en los anuarios sobre realizaciones en el terreno de cada campaña y en el boletín anual del comité nacional del SCAR, así como en las actas de los «Simposios de estudios antárticos», siendo las del quinto simposio, celebrado en 1993, las últimas impresas (1997), todos ellos editados en Madrid por la CICYT.

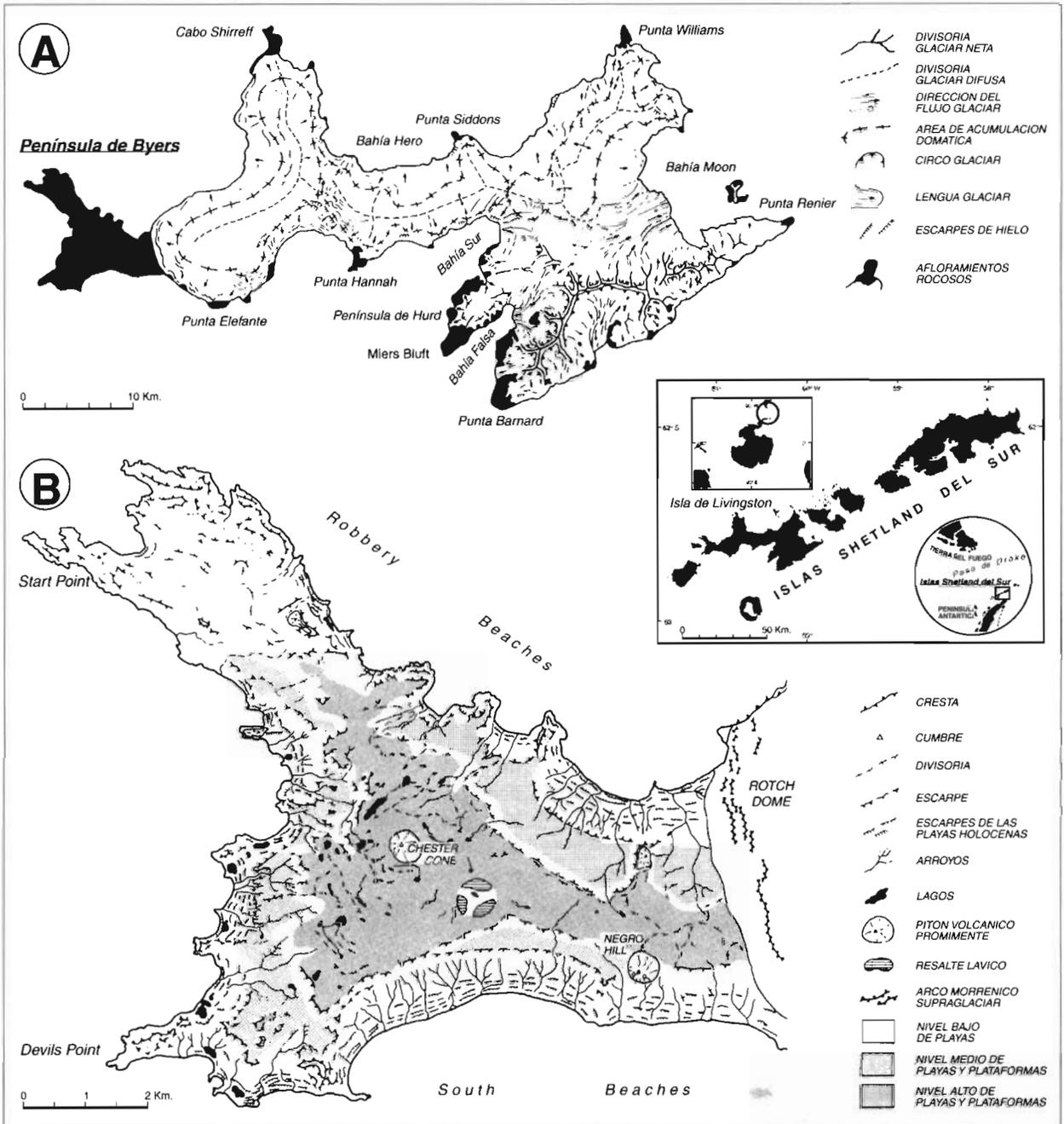


FIG. 1. A. Isla de Livingston. B. Península de Byers. 1. Cresta. 2. Cumbre. 3. Divisoria. 4. Escarpe. 5. Escarpes de las playas holocenas. 6. Arroyos. 7. Lagos. 8. Pitón volcánico prominente. 9. Resalte lávico. 10. Arco morrénico supraglaciar. 11. Nivel bajo de playas. 12. Nivel medio de playas y plataformas. 13. Nivel alto de playas y plataformas. (Esquemas cartográficos tomados de MARTÍNEZ DE PISÓN, E. et al., 1992 y LÓPEZ MARTÍNEZ et al., 1992).

tud, con restos discontinuos de otras aún más elevadas. En esa superficie sobresalen sólo con vigor algunos pitones volcánicos y quiebran más levemente su rellano afloramientos tabulares resistentes del mismo origen,

presentando ambos morfologías locales propias, como llamativas formas de detalle en los escarpes con disyunción columnar (Fig. 2). El paisaje es más abrupto únicamente en el sector noroeste, Ray Promontory, donde



FIG. 2. Relieve volcánico resistente en forma de barra lávica con disyunción prismática. 1: banda superior sin disyunción columnar. 2: banda columnar. 3: talud de bloques desprendidos.

también se alcanza la máxima altitud de la península (265 m. en el Cerro Start): mayores desniveles, pues, y topografía más acantilada y aristada, en la que se marcan con cierta energía las formas de artesis glaciares y en la que sobreviven unos pequeños glaciares residuales. Alrededor de este conjunto descende progresivamente la altitud en un sistema de plataformas y playas escalonadas, que forma la aureola o banda periférica de la península a su norte, oeste y sur. Las playas que forman el nivel inferior de tal sistema alcanzan en el sur una extensión de 8 km y anchuras de 800 m. (Fig. 3). Finalmente, al Este cierra el área descubierta de hielo el imponente frente occidental del glaciar del Domo de Rotch, a lo largo de más de 7 km.

Morfoestructuralmente, la Península de Byers está constituida por una base de rocas sedimentarias, que aflora sólo al Oeste, y por un desarrollo amplio de rocas volcánicas en el resto. Este conjunto se manifiesta como el relieve residual de un campo eruptivo muy desmantelado del que sólo quedan pitones, coladas, sills, diques, piroclastos y aglomerados, pero cuyo sistema original podría reconstruirse en razón de las respectivas posiciones centrales de los pitones, aunque las edades de las distintas formaciones presentan aún problemas. La serie estratigráfica comienza en el Jurásico superior - Cretácico inferior y a partir de ella intruye y reposa discordante el conjunto volcánico (ignimbritas, basaltos, andesitas, riolitas, etc), en el que los múltiples y discontinuos pitones de roquedo resistente adquieren una acusada perso-

nalidad morfológica (Fig. 4), como cerros destacados sobre el paisaje de plataformas.

El dibujo geográfico en planta de Byers presenta una forma digitada en V hacia el Oeste, característica, que reproduce aproximadamente a su vez en escala reducida el más amplio dibujo del conjunto del sector occidental de la Isla de Livingston desde Bahía Sur y Punta Siddons hasta Punta Elefante y Cabo Shirreff (Fig. 1-B). Ello parece indicar un sistema morfoestructural amplio de geometría fractal que incide en la disposición repetitiva y encajada a diversas escalas de tales formas similares. El análisis de las alineaciones internas de la Península de Byers, que parecen guiar la disposición de sus rasgos morfológicos básicos, sigue también semejantes pautas hacia el NO-SE, O-E y OSO-ENE.

III RESULTADOS DE ESTUDIOS MORFOLÓGICOS ANTERIORES

John y Sugden (1971) establecieron para las Shetland del Sur la existencia de varias fluctuaciones glaciares y marinas de evidente amplitud. Las plataformas superiores pudieron labrarse desde el Plio-Pleistoceno, en un entorno regional libre de hielo, al que sucederá un amplio recubrimiento glaciar. Mencionan estos autores dos fases glaciares principales. La primera, mayor, y la segunda sólo de dimensión insular. Tras el retroceso de



FIG. 3. Playas escalonadas de amplia extensión el el sur de Byers.

ésta, al fin del Pleistoceno, hay huellas, sin embargo, de reavances locales. En Byers señalan la presencia, relacionada con dichas fases, de bloques erráticos, tills y arcos morrénicos recientes.

En 1972 John insistió en la misma periodización y propuso la siguiente secuencia evolutiva glaciár para el mismo ámbito como hipótesis de trabajo: 1º, *glaciación máxima*, o glaciaciones (Saalian o más antiguo); 2º, *deglaciación*, e intervalo no glaciár, con canales de fusión y playas residuales (Eemiense); 3º, *glaciación local*, con expansiones de domos insulares (Weichsel); 4º, *deglaciación* (Flandriense, post 10000 BP); 5º, *reavance* de lenguas glaciáres (800-500 BP); y 6º, *retroceso* glaciár (500 BP-presente), con playas levantadas por debajo de 6 m. Un año después, nuevamente Sugden y John (1973) reafirman las mismas edades en las Shetland del Sur: 1º, Saalian o Illinoian (o más antiguo), para la mayor glaciación; 2º, Eemiense o Sangamon para el intervalo marino no glaciár; 3º, Weichselian o Wisconsin para la glaciación menor; 4º, retroceso hace unos 9000 años; y 5º, reavance hace 500-750 años.

Sobre este esquema, Curl propuso en 1980 una evolución similar en sus grandes líneas: 1º, glaciación regional máxima, probablemente Illinoian o más antigua; 2º, intervalo suave, posiblemente interglaciár, con formación de plataformas marinas y de canales de fusión, probablemente Sangamon; 3º, expansión glaciár local, asimilable a los bloques erráticos de la península de Byers, en el Wisconsin; 4º, retroceso glaciár; 5º, dos fases neoglaciaras, incluidas entre la formación de terrazas holocenas, respectivamente a 500 BP y 265 BP.

Recientemente, Clapperton (1990), recoge información de diversos autores (BIRKENMAJER, 1981; JOHN y SUGDEN, 1971, y SUGDEN y JOHN, 1973) y sintetiza la evolución glaciár reciente del Southern Ocean y del área de la Península Antártica del siguiente modo: 1º *glaciación máxima*, en 20-18 ka BP, en relación con altitud de playa de 130-135 m (?); 2º, estadio de *glaciación local*, en 15.14 ka BP (?), en relación con una altitud de playa



FIG. 4. Chester Cone (188 m.). Pitón volcánico sobre la plataforma central, a 80-90 m. de altitud en las proximidades del Chester Cone.

de 65 m (?). La evolución concreta en la Península Antártica incluiría también el máximo de la última glaciación en 20-18 ka BP (?), con fluctuaciones posteriores hasta 10 ka BP (?). En esta Península señala tres estadios de reavances holocenos, el primero (<6.5 ka BP), el segundo (3-2 ka BP), y el último, que podemos asimilar a la Pequeña Edad del Hielo. En el conjunto que comprende las South Shetland indica un avance tras 6.8 ka BP (en relación con una altitud de playa de 18.5 m.) y una secuencia de tres estadios recientes, entre 1200 y 1880 AD, en relación con altitudes de playa de 6 m. y <6 m.

Los datos observados en Byers pueden insertarse provisionalmente en este esquema de modo sólo general, pues presentan varios desajustes concretos y mayor complejidad de detalle, pero realmente no hay aún datos precisos para una temporalización absoluta y más de uno de los que existen puede considerarse dudoso.

IV

EL MODELADO MARINO

Las formas marinas emergidas son tanto erosivas (plataformas de abrasión, acantilados), como deposicionales (playas, albuferas). Muy netas en Byers, son también frecuentes en otras áreas costeras del archipiélago de las Shetland del Sur.

Las plataformas y sus playas relativas constituyen evidentemente los fundamentales rasgos del relieve escalonado de la península y, como hemos dicho, fueron señaladas desde los primeras observaciones morfológicas de Byers (JOHN y SUGDEN, 1971). Según nuestros reconocimientos pueden dividirse estas formas en cuatro grupos (Figs. 1 y 3): 1º, *nivel inferior*, con siete playas levantadas entre 0 y 22 m. de altitud, especialmente

CUADRO I. Etapas de modelado de la Península Byers

ACCIÓN GLACIAR	ACCIÓN LITORAL	ACCIÓN TORRENCIAL	ACCIÓN PERIGLACIAR	FASES
Retroceso	Playa 1 del nivel inferior	Continuidad de incisión. Capturas	Periglacirismo extenso y variado, aunque atenuado	k/ ACTUAL
Avances locales en Rotch Dome y Ray Promontory, con tres fases	Playa 1 del nivel inferior	Continuidad de la incisión	Intensificación periglaciaria	j/ PEQUEÑA EDAD DEL HIELO
Retroceso	Levantamiento y elaboración de las tres playas más bajas del nivel inferior	Configuración de la red hidrográfica. Lagos en cubetas	Continuidad y extensión superficial	i/ HOLOCENO RECIENTE ¿Seco? <5000 BP
Avances glaciares locales (Depósitos de Rotch Dome en playa 4 del nivel inferior y erráticos internos)	Elaboración de playa 4 del nivel inferior	Continuación de la incisión. Formación de conos. Formación de lagos	Suelos ordenados en áreas superiores. Retoque de formas glaciares	h/ HOLOCENO
Retroceso. Tendencia a la disociación glaciaria en núcleos	Levantamiento y transgresión. Formación del escarpe externo de la plataforma >25 m y de las playas inmediatas del nivel inferior	Torrentes proglaciares. Erosión remontante tras la formación del escarpe externo a la plataforma >25m.	Activa en áreas descubiertas	g/ HOLOCENO
Glaciación insular. Erráticos externos	Regresión. Remodelado de formas marinas previas	Inactiva. ¿Acaso subglaciaria?	Activa en puntos descubiertos (nunataks, morrenas)	f/ PLEISTOCENO SUPERIOR
Retroceso. ¿Interglaciaria?	Ascenso insular. Transgresión. Acanalados en borde de plataforma del nivel alto. Playas >25 m (nivel medio)	¿Actividad en áreas descubiertas?	¿Actividad en áreas descubiertas?	e/ PLEISTOCENO
Glaciación regional	Regresión. Remodelado glaciario de plataformas del nivel alto y superiores	Inactiva	Inactiva	d/ PLEISTOCENO
Amplio retroceso	Ascenso insular. Transgresión. Plataformas >70 m (nivel alto)	Inactiva	Inactiva	c/ Fases anteriores a la más reciente glaciación regional pleistocena
Posible glaciación regional (?)	Posible remodelado glaciario de formas marinas	Inactiva	Inactiva	b/ Fases anteriores a la más reciente glaciación regional pleistocena
Región desprovista de hielo	Formas marinas y escarpes más elevado (niveles superiores). (P. ej.: playa +140 m en Chester Cone)	Inactiva	Inactiva	a/ PLIO-PLEISTOCENO (?)

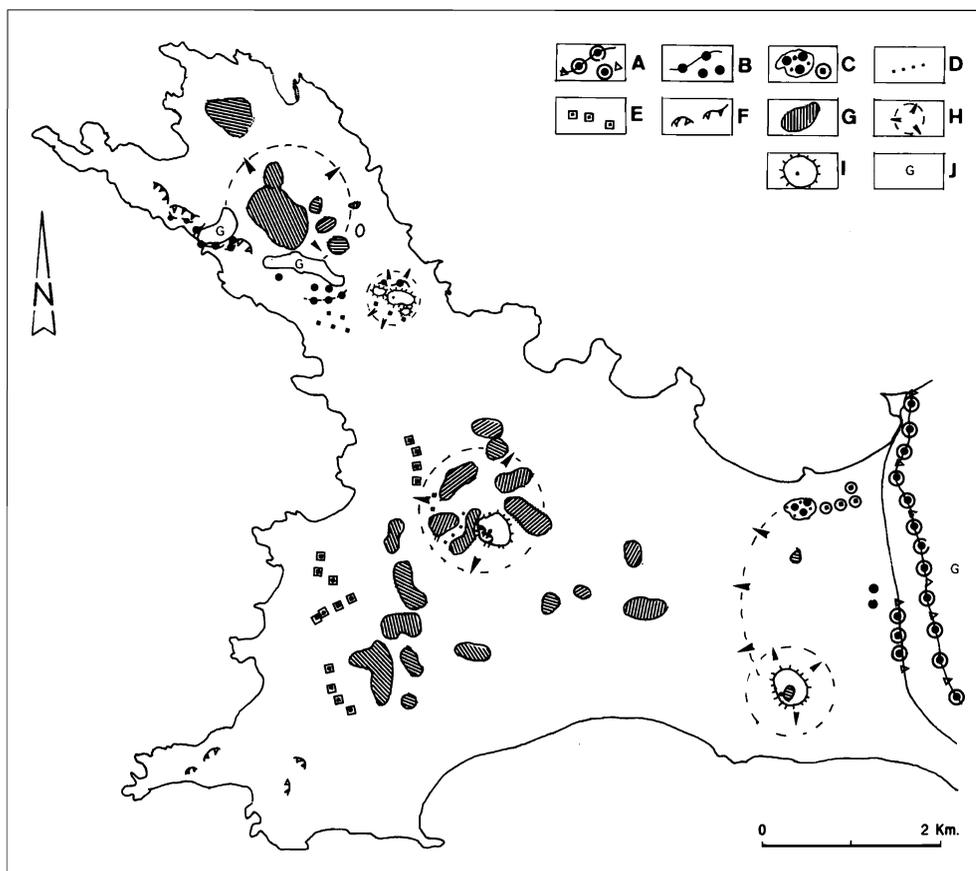


FIG. 5. Cubetas, circos y depósitos glaciares en Byers.

- 1/ Depósitos glaciares:
- A: Morrena actual supraglaciaria y morrena frontal del Domo de Rotch.
 - B: Morrenas de la Pequeña Edad del Hielo.
 - C: Morrenas holocenas de Rotch.
 - D: Conjuntos de bloques erráticos internos.
 - E: Conjuntos de bloques errático externos.
- 2/ Formas de excavación:
- F: Circos y nichos.
 - G: Cubetas de sobreexcavación.
- 3/ Otros símbolos:
- H: Focos locales de dispersión glaciaria.
 - I: Promontorios del Cerro Penca, Chester Cone y Cerro Negro.
 - J: Glaciares actuales.

frescas las tres más bajas; este conjunto enlaza mediante un marcado escarpe o paleoacantilado con el nivel siguiente más elevado. 2°, *nivel medio*, con seis playas levantadas y plataformas, entre 25 y 60 m., más remodelado que el anterior por los procesos subaéreos característicos (periglaciario, torrencial y glaciario). 3°, *nivel alto*, de tres playas elevadas y plataformas (68-105 m.), que forma la llanura central de la península y aparece modificado por los procesos externos, principalmente glaciares y periglaciares. 4°, *formas marinas superiores*, que sólo dan lugar actualmente a huellas locales entre los 116 y 140 m.

V LAS FORMAS GLACIARES

Llama la atención, dentro de Livingston Island, el amplio espacio libre de hielo de la Península Byers, como consecuencia del retroceso del frente occidental del domo glaciario de Rotch, cuya fuente de alimentación se sitúa más al Este, y del escaso espacio con cierta altitud

en el área descubierta (Ray Promontory), en el que sólo quedan pequeñas manchas de un glaciario residual. Ello ofrece especiales posibilidades para el reconocimiento morfológico general.

Sin embargo, aunque el modelado glaciario que aparece en esa superficie es amplio, su huella erosiva es atenuada y presenta escasas y poco definidas formaciones morrénicas (Figs. 5 y 6). Por ello, la reconstrucción de la evolución cuaternaria reciente se apoya en limitados datos geomorfológicos.

No obstante, un importante modelado glaciario, aunque de formas suaves y con escasos depósitos, se intercala claramente en todas las superficies pre-holocenas de la península, entre las formas marinas antiguas, a las que retoca, y las torrenciales recientes y periglaciares actuales, que se establecen sobre sus relieves. Localmente, también se establecen formas glaciares en algún sector holoceno como consecuencia de reavances recientes del hielo.

Aún hoy subsisten tres pequeños glaciares residuales localizados en puntos favorables del área Noroeste de

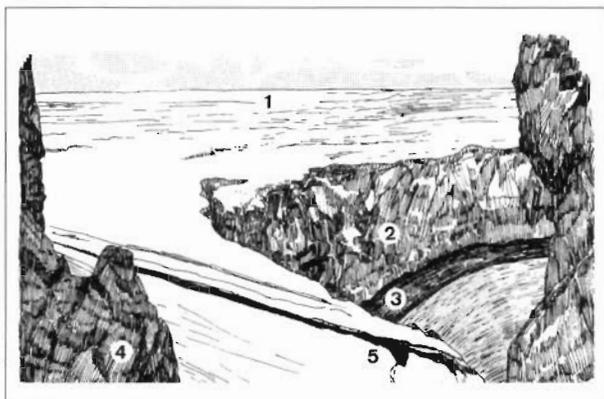


FIG. 6. Fronte Suroeste del Domo de Rotch en 1990. 1: Domo glaciar. 2: Escarpe glaciar litoral. 3: Playa. 4: Arista rocosa marginal. 5: «Mud-flow» supraglaciar.

Byers. Pero al Este, en el otro extremo de la península, el frente del glaciar domático de Rotch limita la superficie deglaciada a lo largo de casi 8 kilómetros y con una altura de su rampa basal de unos 65 metros. Estos dos focos son, pues, muy contrastados. El primero es indicativo morfológicamente de la existencia de puntos locales de potencialidad glaciar, pero en el segundo se encuentra la clave de la principal masa y tipo de hielo que afectó al modelado de Byers. La deglaciación de esta península tuvo relación con ambas modalidades, pero se llevó a cabo principalmente en función del retroceso de Oeste a Este del glaciar de Rotch.

Tal remodelación glaciar está labrada especialmente en forma de suaves artesas, cubetas, umbrales y rocas aborregadas y estriadas, que no llegan a destruir la topografía previa. John y Sugden (1971) señalaron ya el hecho de una erosión glaciar selectiva en las Shetland del Sur, que ocasiona un marcado contraste morfológico entre áreas conservadas, en las que un hielo poco dinámico actuó como protector, y áreas de artesas bien labradas, en sectores con mayores pendientes o afectados por fracturas. Byers está más cerca del primer ámbito, pero también presenta contrastes internos.

En cambio (a excepción del relieve que culmina en el Cerro Start a 265 m, la mayor altitud de Byers, y de otros puntos muy circunscritos) las fluctuaciones recientes y, por tanto, potencialmente reflejables en morrenas diferenciadas, en la Península de Byers se derivan de la evolución directa de un casquete principal y de algunos ice-field locales en los que aquél pudo disociarse.

En unos casos, tales hielos han fundido sin dejar depósitos frontales, pues, por la dinámica propia de los domos, se esparcen sus morrenas supraglaciares a medida

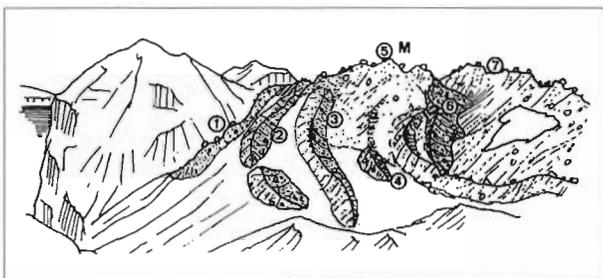


FIG. 7. Múltiples cordones morrénicos recientes con núcleo de hielo al Suroeste del Domo de Rotch. El glaciar se sitúa inmediatamente tras el cordón nº 7.

que funden, sin dejar formas definidas. Sólo en algunos sectores han dado lugar a otro tipo de formas y de materiales, como alineaciones de bloques esparcidos, lo que atenúa o impide su buena expresión morfológica. Estos bloques dispersos pudieron alternar con elementos detríticos más finos y no muy abundantes que no llegaron a formar arcos, como ocurre en el frente actual de Rotch Dome, y que pueden ser más fácilmente barridos por las acciones torrenciales y crionivales.

No obstante, los depósitos glaciares observados permiten diferenciar diversas formaciones morrénicas, que corresponden por su posición a distintos momentos de la evolución morfológica reciente de Byers (Fig. 5):

(a) Formaciones de bloques erráticos *externos*. Es la formación más exterior localizada. Constituyen agrupaciones de bloques estriados que se sitúan en los márgenes occidentales de Byers, en la cornisa intermedia bajo la plataforma superior y se interrumpen por el escarpe inmediatamente inferior. Sus posiciones dibujan el extremo occidental de un casquete de hielo que cubrió este área de la península y que enlazaría con los domos orientales, antes de la formación de las playas del nivel inferior. (b) Formaciones de bloques erráticos *internos*. Constituyen alineaciones locales y separadas, cercanas a los centros de dispersión glaciar situados en algunos de los promontorios de Byers, como Ray Promontory, Cerro Penca y Chester Cone. (c) Formación morrénica *holocena* en las playas del Norte (Robbery Beaches). En el cuarto nivel de playa de este sector inferior de Byers se encuentra un depósito morrénico con grandes bloques, remodelado por la acción litoral, junto a algunos erráticos esparcidos. Su proximidad al frente actual del glaciar de Rotch y su situación y remodelado indican una posición holocena de ese frente más avanzada que la actual, en una progresión evidentemente sólo temporal. (d) Formaciones morrénicas recientes (*Pequeña Edad del Hielo*). Se distinguen arcos morrénicos y otras huellas

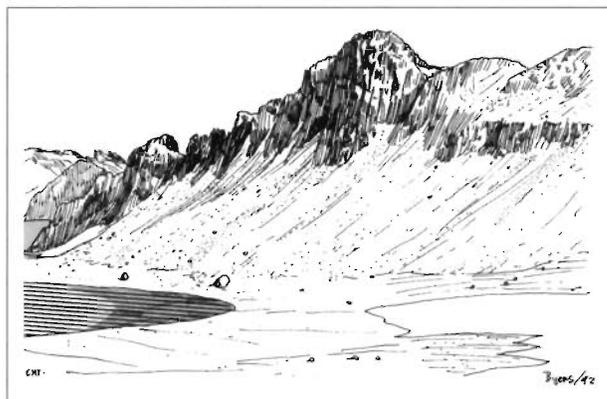


FIG. 8. Derrubios de ladera bajo escarpes litorales en roca volcánica resistente, en el sector occidental de Byers.

morfológicas atribuibles a esta edad en las inmediaciones de los frentes de los glaciares actuales (las dos mayores de Ray Promontory y el Rotch Dome).

Como ya hemos dicho, las manchas glaciares que aparecen en Byers son sumamente contrastadas. En uno de sus extremos, el oriental, el frente del domo de Rotch (Fig. 6). En el otro, el noroccidental, los tres pequeños aparatos de Ray Promontory. El frente de Rotch Dome posee, lógicamente, mayor complejidad. Son de especial interés sus alineaciones morrénicas supraglaciares en diversas bandas, asociadas a la salida en el frente de los sucesivos planos internos de ablación con clastos, según las líneas de flujo. Cerca de algunos sectores de este frente hay series de varios arcos morrénicos muy recientes (Fig. 7), algunos aún con núcleo de hielo, que no significan distintos episodios, sino la directa ablación del frente en retroceso con sus alineaciones supraglaciares.

Finalmente, el análisis de los sedimentos lacustres de la Península de Byers, realizado por Björck, Zale y otros, aporta precisiones respecto a la datación de la deglaciación holocena. El análisis de esos sedimentos muestra, primero, una deglaciación de la península de Oeste a Este, es decir, por balance negativo y retroceso del margen occidental del Domo de Rotch, y, segundo, una edad reciente, pues los lagos del sector occidental datan su deglaciación hacia 4700 BP al Oeste del Chester Cone y 4500 BP en Ray Promontory.

VI LAS FORMAS PERIGLACIARES Y TORRENCIALES

Sobre la mayor parte del conjunto de Byers, especialmente por encima de las playas a 20 m. de altitud, se

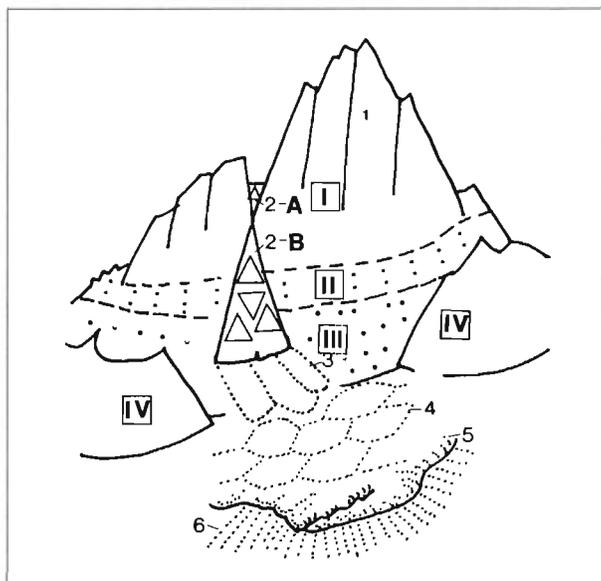


FIG. 9. Secuencia de formas periglaciares en Usnea Plug (117 m.).

I: Ladera de fuerte pendiente, colonizada por usneas. II: Banda basal de grandes clastos, colonizados por líquenes crustáceos. III: Bloques de pedrera basal sin colonizar. IV: Neveros basales estivales.

1: Ladera en situ escarpada y estable. 2: A, canal con gelifractos, pendiente de 52°. B, cono de derrubios, pendientes de 38°, 33° y 42°. 3: Sector basal con figuras bandeadas y estriadas, pendiente de 16°. 4: polígonos, pendiente de 4° y tamaños alrededor de 1 m. 5: frente de lóbulo. 6: suelos estriados.

ha desarrollado y prosigue activamente un variado modelado periglacial, con permafrost a unos 30 cm. de profundidad. Dominan los mantos de clastos superficiales, favorecidos por el fácil lajeado de las rocas volcánicas, pero se manifiestan con frecuencia suelos ordenados, derrubios y modelados nivo-periglaciares en valles y laderas. El sustrato aparece comúnmente en la plataforma central triturado por la meteorización mecánica y ordenado en rosas de piedra y microfiguras en lajas, con ciertas variaciones según su litología y pendiente. En las laderas escarpadas se producen generalmente derrubios y en pendientes más suaves lóbulos y polígonos escalonados, bloques aradores, etc. (Figs. 8 y 9) mientras la plataforma central se cubre por mantos de clastos (los más abundantes) y suelos ordenados, como círculos de piedras (alguno superior a los 2 m. de eje), polígonos (habituales y de tamaños diversos), suelos estriados y bandeados en pendientes moderadas, soliflucción laminar y hoyos de fusión. Los procesos derivados de la acción y de la fusión nival también cooperan en el modelado superficial, dando lugar a coladas de piedras y de barro, enlosados, nichos y valles disimétricos y de fondo pla-

no, aparte de otras formas menores. Es posible diferenciar una fase morfogénica periglacial anterior a la actual de mayor dinamismo, que puede coincidir con uno de los episodios recientes de expansión glacial local. La alfombra de microfiguras, los lodazales intercalados y los activos y generalizados mecanismos de este tipo de procesos definen de modo llamativo los rasgos ambientales del Byers actual.

Finalmente, también la incisión torrencial ha marcado sus huellas en una red hidrográfica simple y aún mal adaptada al relieve previo, pero que ya muerde la plataforma central y procede a jerarquizarse sobre las antiguas formas marinas y glaciares, mediante incisiones y capturas.

No obstante, predominan todavía en el interior de la península esas formas de modelado heredadas, entre otras las cubetas lacustres, y las periglaciares activas. En cambio, en sus escarpes externos la disección es más manifiesta, como se observa en el cejo inferior al nivel intermedio de playas escalonadas. No ocurre lo mismo en el nivel inferior de playas, que apenas presenta incisión. Cabe atribuir, pues, el clavado de tales torrenteras a una fase anterior de mayor competencia, que coincidiría con el retroceso glacial holoceno.

VII

LA EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Se han distinguido así diversas fases morfológicas, desde los restos de formas marinas más elevados hasta la situación actual, caracterizada por el retroceso glacial, un periglacialismo extenso y atenuado y una torrencialidad activa, aunque relativamente moderada. Los datos se hacen progresivamente más variados y abundantes, especialmente desde la glaciación insular del Pleistoceno superior. La evolución está especialmente marcada por la sucesión alternante y la suma de modelados de fases glaciares con regresión marina y de etapas de retroceso de los hielos con transgresión, mientras un levantamiento generalizado va disponiendo las formas resultantes de modo escalonado.

De este modo se suceden las etapas principales de elaboración de las formas más expresivas del paisaje de

la Península Byers: formación de las plataformas superiores y altas, sus retoques glaciares, modelado de las plataformas medias (+25-+60 m), glaciación insular del Pleistoceno superior, retroceso de hielos y fases de reavances glaciares locales holocenos y elaboración de las playas del nivel inferior.

La torrencialidad y el periglacialismo tienen lógicamente entidad morfológica continuada desde el retroceso de los glaciares pleistocenos, con sus huellas vivas en el paisaje actual. La historia de la deglaciación holocena revela una retirada de Oeste a Este desde hace 5.000 años y una tendencia a la disociación del hielo en núcleos localizados en los puntos de relieve sobresaliente.

El análisis de los sedimentos lacustres, según Björck y Zale, permite formular la hipótesis sobre la posible influencia en las fluctuaciones glaciares recientes de oscilaciones climáticas definidas por la cuantía de las precipitaciones, con respuesta de retroceso en condiciones más continentales y de estabilización o avance en ambientes más marítimos.

En suma, según nuestros reconocimientos, la evolución geomorfológica de la península permite distinguir numerosas fases, como muestra el Cuadro I. En él se diferencian de modo suficiente las principales características de esta evolución en lo que hoy es posible establecer. La combinación y sucesión de acciones morfogénicas es indicadora de un medio cambiante y diversificado, así como de un relieve de marcada personalidad.

La morfología de Byers es, en efecto, resultado de la convergencia y adición de modelados que indican no sólo señaladas fluctuaciones marinas y glaciares, sino su conexión con el progresivo levantamiento de la isla. Sus causas tectónicas parecen estar en relación, más que con una sola respuesta isostática, con los activos dinámicos estructurales del archipiélago y el estrecho de Bransfield. Esta activa tectogénesis y la importancia de las sucesivas fluctuaciones que han afectado a la península, incluida su más temprana deglaciación, dan lugar a una morfología, que, más que de simples plataformas, es evocadora de las contrastadas fuerzas que modelan aquel ámbito antártico.— EDUARDO MARTÍNEZ DE PISÓN

BIBLIOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA UTILIZADAS COMPLEMENTARIAMENTE⁴

- ARCHE, A., MARTÍNEZ DE PISÓN, E. y SERRANO, E. (1997): «Sedimentos de plataforma continental dominada por el oleaje en la Formación Anchorage (Jurásico Superior), Península Byers, Isla Livingston». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.)*, 93, págs. 175-180.
- BIRKENMAJER, K. (1981): «Raised marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica». *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences de la Terre*, 92 (2), págs. 109-117.
- CLAPPERTON, C. M. (1990): «Quaternary glaciations in the Southern Ocean and Antarctic Peninsula area». *Quaternary Science Review*, 9, págs. 229-252.
- CURL, J. E. (1980): *A Glacial History of the South Shetland Islands, Antarctica*. Columbus, The Ohio State University, Institute of Polar Studies, re. n° 63, 129 págs.
- JOHN, B. S. (1972): «Evidence from the South Shetland Islands towards a glacial history of West Antarctica». *Special Publication. The Institute of British Geographers*, 4, págs. 75-92.
- JOHN, B. S. and SUGDEN, D. E. (1971): «Raised Marine features and Phases of Glaciation in the South Shetland Islands». *British Antarctic Survey Bulletin*, 24, págs. 45-111.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, J., VILAPLANA, J. M., MARTÍNEZ DE PISÓN, E., CALVET, J., ARCHE, A. SERRAT, and PALLÀS, R. (1992): «Geomorphology of selected areas in Livingston Island, South Shetland Islands», en López Martínez, J. ed.: *Geología de la Antártida Occidental*, Salamanca, Simposios T-III, III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, págs. 271-281.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, J., MARTÍNEZ DE PISÓN, E. y ARCHE, A. (1992): «Geomorphology of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands», en *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Tokyo, TERRAPUB, págs. 751-756.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (1992): *La Antártida y las regiones glaciares del Globo. Lección Inaugural del Curso Académico 1992-1993*. Madrid, UAM, 96 págs.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E., LÓPEZ MARTÍNEZ, J. y ARCHE, A. (1991): «Formas y depósitos de la zona de Johnsons Dock. Mapa Geomorfológico. Isla Livingston. Shetland del Sur. Antártida». *Ería*, 24/25, págs. 39-45.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E., LÓPEZ MARTÍNEZ, J. y ARCHE, A. (1992): «Relieve, unidades y tipos glaciares de la Isla Livingston, Islas Shetland del Sur», en López, J. (ed.) *Geología de la Antártida Occidental*, Salamanca, T-III, III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, págs. 261-269.
- PLAN NACIONAL I+D (1992): *Informe sobre las actividades científicas de España en la Antártida durante la Campaña 1991-1992*. Madrid, CICYT, págs. 121-132 y 178-184.
- PLAN NACIONAL I+D (1992): *Informe sobre las actividades de España en la Antártida*. Informe n° 4 al Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), Madrid, Programa Antártico Español, págs. 37-38 y 47-48.
- SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1992): *Península Byers. Isla Livingston*. Mapa topográfico E. 1:25.000.
- SUGDEN, D. T. y JOHN, B. S. (1973): «The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Islands, Antarctica», en Van Zinderen Bakker, E. M. (ed.): *Paleoecology of Africa & of the surrounding islands & Antarctica*. Cape Town, Balkema, págs. 139-159.
- ninsula, Livingston Island. BAS GEOMAP Series, Sheet 5-A, Scale 1:25.000, with supplementary text. Cambridge, British Antarctic Survey, 65 págs. En esta lista bibliográfica se añaden sólo las obras consultadas complementariamente.

⁴ Como ya se ha indicado, esta nota está basada fundamentalmente en las investigaciones expuestas en LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; THOMSON, M. R. A.; MARTÍNEZ DE PISÓN, E., and others (1996): *Geomorphological map of Byers Pe-*