

checopar *et al.*, 1981). El uso de los tres métodos permite comparar los resultados obtenidos, lo que da una idea de la fiabilidad de los mismos.

El método de los Diedros rectos ha sido el primero en ser utilizado, ya que da una idea rápida de las direcciones de los esfuerzos principales. A continuación se ha aplicado el método de Etchecopar, que permite la separación de los diferentes tensores compatibles con los movimientos de las fallas de la población. Los resultados de este método aparecen como orientación de los ejes de esfuerzos, y la relación  $R=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$ , que da forma al elipsoide de esfuerzos; el método de Etchecoper ofrece también un test de compatibilidad mecánica de los planos de falla con el tensor mediante el círculo de Mohr.

El método de los diagramas y-R está basado en la ecuación de Bott, y parte de la consideración de que uno de los ejes de esfuerzo principales es vertical, de modo que sólo son necesarias dos variables para definir el tensor de esfuerzos: y (dirección de  $\sigma_y$ , el esfuerzo compresivo máximo en la horizontal), y  $R=(\sigma_z-\sigma_x)/(\sigma_y-\sigma_x)$ , la relación de esfuerzos usada en la ecuación de Bott (1959). Todos los pares de valores y-R que explican el movimiento de cada falla se representan como una curva en un diagrama bidimensional. Los «nudos» en los que las curvas correspondientes a diferentes fallas se cortan constituyen las posibles soluciones. La principal ventaja de este método es que muestra el espectro de todos los tensores compatibles con la población de fallas, que pueden ser comprobados después mediante el método de Etchecopar.

## Resultados e interpretación

Se han analizado 17 estaciones de datos microestructurales. La práctica totalidad de ellas se sitúan sobre calizas de la Fm. Guara. El análisis se ha basado fundamentalmente en planos de falla de escala decimétrica a métrica, que presentan, en general, buenos indicadores de movimiento, tales como escalones estrilolíticos y de calcita fibrosa. El número de fallas por estación varía entre 15 y 100, siendo lo más frecuente estaciones con 40-45 fallas.

Las direcciones de compresión y extensión obtenidas aparecen representadas en la figura 1. En el mapa y en las rocas de frecuencia de direcciones de compresión (para los tensores con  $\sigma_1$  horizontal) y de extensión (para los tensores con  $\sigma_1$  en posición vertical) pueden observarse las siguientes tendencias:

— Se encuentra bien representada la dirección de compresión NNE, que correspondería a lo que podemos considerar como compresión regional «pirenaica».

— Existen también en numerosos puntos direcciones de  $\sigma_1$  perpendiculares a las orientaciones de las macroestructuras compresivas a las que se encuentran asociadas; estas direcciones de compresión se encuentran comprendidas generalmente entre ENE y E-W. En este punto conviene hacer notar que por la relación entre los ejes de los tensores y la orientación de la estratificación se ha determinado que en algunos casos la fracturación es anterior a la flexión de las capas y en otras posterior (considerando que, en general, cuando se produce la fracturación, uno de los

ejes del tensor de esfuerzos es vertical).

— La mayor parte de las direcciones de  $\sigma_3$  en los tensores distensivos se encuentran en torno a E-W. Suponemos que, en el sector occidental de las sierras, algunas de ellas pueden estar relacionadas con una extensión localizada en el bloque inferior del cabalgamiento principal. En el sector oriental aparecen también macroestructuras distensivas (fosa de la Pardina del Seral), en un contexto de pequeñas fosas de pull-apart.

## Referencias

- Almela, A. y J. M. Ríos (1950): Actas del 1<sup>er</sup> Cong. Int. del Pirineo. San Sebastián, t II, pp. 1-28. *Pub. Instituto de Estudios Pirenaicos*, 1952.
- Angelier, J. et P. Mechler (1977): *Bull. Soc. géol. France* (7), t. XIX, n<sup>o</sup> 6: 1309-1318.
- Barbed, F.; M. B. Martínez Peña; H. Millán Garrido; J. J. Navarro Juli y A. Pocoví Juan (1988): *Symposium on the Geology of the Pyrenees and the Betics*. Univ. de Barcelona, p. 91.
- Bott, M. H. P. (1950): *Geol. Mag.*, 96, 109-117.
- Canudo, J. I.; J. Malagón, A. Meléndez, H. Millán, E. Molina y J. J. Navarro (1991): *Geogaceta*, 9, 81-84.
- Etchecopar, A.; G. Vasseur & M. Daignières (1981): *Journal of Structural Geology*, 3 (1): 51-65.
- Pocoví, A.; H. Millán, J. J. Navarro y M. B. Martínez (1990): *Geogaceta*, 8, 36-39.
- Puigdefábregas, C. (1975): *Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos*. Jaca, n<sup>o</sup> 104, 188 pp.
- Simón Gómez, J. L. (1986): *Tectonophysics*, 124, 37-53.

Recibido el 1 de octubre de 1990.  
Aceptado el 26 de octubre de 1990.

# Pulsaciones glaciares y terrazas marinas escalonadas en los alrededores de la Base Antártica Española. Isla Livingston. Shetland del Sur

## *Glacial pulses and marine terraces near the Antarctic Spanish Base, Livingston Island, South Shetlands*

J. López Martínez\*, E. Martínez de Pisón\* y A. Arche Miralles\*\*

\* Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

\*\* Inst. de Geología Económica. C.S.I.C. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

### ABSTRACT

*The recent fluctuations of the glaciers can be modelled near the Antarctic Spanish Base (BAE), where six morainic arches are exposed, as well as eight marine terraces up to +18.6 m. Some con-*

clusions about the recent evolution of the island can be drawn from the geomorphological maps and profiles elaborated.

**Key words:** geomorphology, Quaternary, glacial fluctuations, raised beaches, Livingston Island, South Shetlands, Antarctica.

*Geogaceta*, 9 (1991), 44-47.

**Situación**

La isla Livingston posee unos 845 km.<sup>2</sup> de extensión, de los cuales aproximadamente el 10% se encuentra descubierto de hielo y nieve durante el verano austral (diciembre a marzo). Forma parte del archipiélago de las Shetland del Sur, estando situada a una latitud entre 62°27' y 62°48' S y a una longitud entre 59°45' y 61°15' W (fig. 1).

El emplazamiento de la Base Antártica Española Juan Carlos I (BAE), fue decidido en la primera visita de científicos españoles a la isla en 1987, quedando instalada en 1988. Se encuentra situada en la costa noroccidental de la Península Hurd, cerca de la ensenada de Johnson (Johnsons Dock). El substrato rocoso en esa zona de la isla está constituido por las turbiditas de la formación Miers Bluff (Hobbs, 1968).

La caleta donde se sitúa la BAE queda dominada por un pico de 275 m. de altitud, que ha sido denominado Reina Sofía. Inmediatamente al Oeste del mismo existe un pequeño lóbulo de hielo que desciende del glaciar mayor que ocupa buena parte de la Península Hurd. De este lóbulo surge un arroyo que pasa junto a la BAE y que discurre por el fondo de una amplia vallonada (fig. 2). Precisamente en esta zona, entre el nivel del mar y los 143 m. de altitud del frente glaciar actual, se conservan una serie de terrazas marinas escalonadas y de sucesivos arcos morrénicos, de excepcional interés dentro de los limitados afloramientos de la isla.

Abarcando un área mayor que la indicada, hemos realizado una cartografía geomorfológica de las formas glaciares, litorales, periglaciares y tórrenciales existentes, la cual no es incluida aquí por limitaciones de espacio.

Por otra parte, en diversos lugares de la isla Livingston, a partir de los depósitos y otras formas glaciares, hemos registrado las pulsaciones experimentadas por el hielo y, además, levantando una quincena de perfiles detallados de las playas elevadas.

**Antecedentes**

El retroceso glaciar holoceno y la existencia de terrazas marinas elevadas sobre el actual nivel del mar, han sido puestos de manifiesto en diversos lugares de la Antártida y en particular en las Shetland del Sur (Corte, 1959; Adie, 1964; Nichols, 1966; John y Sugden, 1971, etc.).

En la isla Livingston ya Hobbs (1968) apuntó la existencia de sucesivos arcos morrénicos en la zona de Johnsons Dock, aunque el estudio detallado de los mismos no fue el objetivo de sus trabajos. Sí prestó más atención a los modelados y depósitos marinos (playas, rasas, cuevas, etc.) existentes en la isla a diversas alturas sobre el nivel actual del mar.

Existen trabajos que incluyen perfiles de terrazas marinas elevadas, con especial atención al caso de las amplias playas de la península de Byers (Adie, 1964; John y Sugden, 1971, etc.).

En cuanto a los episodios glaciares, algunos autores reconocen dos fases principales, probablemente pleistocenas (John y Sugden, 1971), para

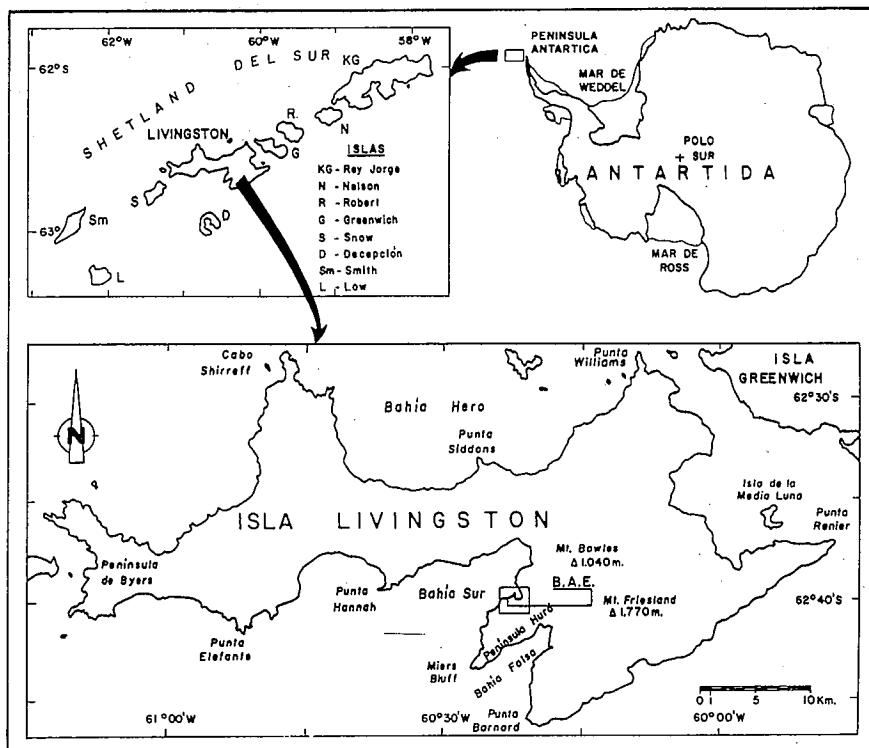


Fig. 1.—Mapas de situación. El recuadro menor, donde se sitúa la BAE, corresponde al área en que se ha realizado la cartografía geomorfológica de detalle.

Fig. 1.—Location map. The shaded area has been mapped in detail.

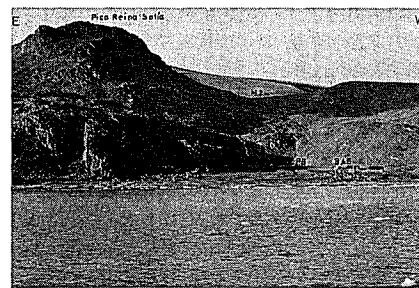


Fig. 2.—Entorno de la Base Antártica Española. M: morrenas, P: playas elevadas (ver figuras 3 y 4).

Fig. 2.—The surroundings of the BAE. M: Moraines, P: raised beaches (see figures 3 and 4).

las Shetland del Sur. Por su parte Everett (1971) propone para la isla Livingston dos estadios principales, un pequeño reavance posterior y por último el retroceso actual, sin precisar edades. Además, relaciona algunas terrazas marinas con los períodos interglaciares.

Mediante el estudio y datación de sedimentos lacustres en la isla Rey Jorge, se han apuntado edades de 8.000 años B.P. para la deglaciación de la Península Fildes y de 6.000 B.P. para el máximo nivel marino durante el Holoceno, siendo éste unos 20 m. superior al actual (Mäusbacher, Müller y Schmidt, 1989).

**Observaciones geomorfológicas**

El área costera septentrional de la península Hurd posee una superficie relativamente extensa descubierta de hielo. Está constituida por tres vallonadas separadas entre sí por dos cordales procedentes del pico Reina Sofía. La más occidental de las tres es en la que se encuentra la BAE, y la más oriental se sitúa en el borde del glaciar Johnsons, el cual llega hasta el mar con un frente acantilado en el fondo de Johnsons Dock, pequeño fiordo con morfología glaciar sumergida y depósitos morrénicos en sus márgenes.

En la vallonada de la BAE se encuentran bien definidos seis arcos morrénicos principales escalonados (figuras 2, 3 y 4), a lo largo de cerca de 1 km. de longitud y unos 143 m. de desnivel. Se distinguen subfases en el conjunto de los dos arcos superiores (tres en el más reciente y cuatro en el inmediato anterior) y se observan en los interfluvios más cercanos depósitos colgados de fases más antiguas. En el conjunto inferior existen también dos subfases muy próximas en morrenas laterales sin arco frontal. Los seis arcos principales se escalonan entre los 143 y los 20 m. de altitud, asociados en varios casos a umbrales con rellenos posteriores temporalmente encharcados. La disposición y cotas de estas formas y depósitos se aprecia en las figs. 2, 3 y 4.

En las vallonadas orientales la complejidad es algo mayor, al existir una antigua confluencia entre una cuenca con terminación en forma de circo en la pared NE del Pico Reina Sofía y la vallonada más oriental, pegada al glaciar de Johnson.



Fig. 3.—Situación de las morrenas (M) y playas elevadas (P) en las proximidades de la Base Antártica Española (BAE). Para las cotas ver fig. 4.

Fig. 3.—Moraines (M) and beaches (P) near the Antarctic Spanish Base (BAE). See fig. 4 for elevations.

El retroceso glaciar en la cuenca del citado circo ha dejado cinco conjuntos morrénicos escalonados a lo largo del pequeño valle. El inferior presenta numerosas subfases, tres de ellas destacadas, y el inmediato superior otras dos;

en los intermedios el más alto tapiza el área de difluencia entre las dos vallonadas orientales y el otro arco se sitúa sobre un umbral. En el conjunto más reciente hay dos subfases ya en relación con la morfología del vallejo

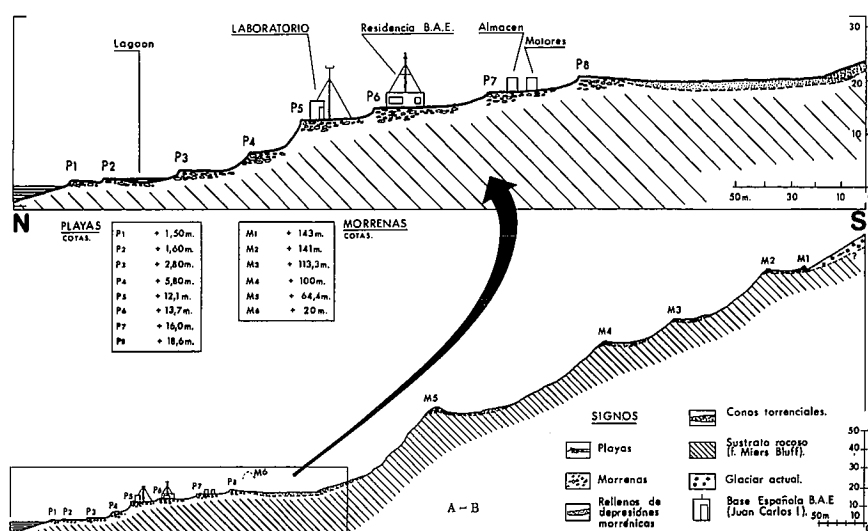


Fig. 4.—Perfil detallado entre el nivel del mar y el frente glaciar actual en las cercanías de la Base Juan Carlos I. Se indican las cotas de las playas elevadas (P) y las morrenas (M).

Fig. 4.—Detailed profile from sea level to present day glacial front near the BAE. Elevations for the raised beaches (P) and Moraines (M) are shown.

oriental, donde son visibles también tres niveles de terrazas torrenciales proglaciares y, en el cono de deyección formado en el sector costero de Johnsons Dock, se observan también tres fases, una de ellas actual.

En el circo del Pico Reina Sofía existe una antigua difluencia hacia el sector de la BAE y un arco morrénico lateral alto, relacionable con la fase cuyo frente está próximo al litoral. Además hay huellas de cinco subfases posteriores.

En los bordes del fondeadero Johnsons hay dos fases de morrenas laterales equivalentes a las más bajas ya descritas y un arco frontal retocado en forma de flecha por la acción litoral. En la topografía submarina (IHM, 1989) se distinguen, además del citado, otros cinco arcos que podrían ser morrenas por su forma convexa hacia el exterior o umbrales glaciares.

El conjunto de depósitos morrénicos reconocidos y cartografiados en la zona son agrupables en cuatro estadios principales: 1, fases antiguas; 2, arcos externos; 3, arcos intermedios; y 4, arcos internos recientes.

Los arcos externos se apoyan en la vallonada central en el tercer nivel de playa (P3), de los ocho existentes en este sector, mientras que los internos pueden ser asimilables a la Pequeña Edad del Hielo. La datación de las playas es, por tanto, básica para el establecimiento de una cronología glacial.

En la vallonada de la BAE es donde las playas elevadas se encuen-

tran mejor conservadas (figs. 2, 3 y 4). En ese lugar puede pensarse que los niveles de playa se han formado con posterioridad a los depósitos morrénicos externos, puesto que los arcos carecen de frente —posiblemente erosionado—, se colocan en el límite superior de las playas y los materiales de la terraza más alta proceden de la reelaboración de los materiales morrénicos.

Sin embargo, el emplazamiento de los arcos externos en el siguiente valle hacia el Este, parece indicar el recubrimiento de ciertas playas por las morrenas externas, lo que significaría un avance glacial posterior a la elaboración de las terrazas marinas superiores. Además, esas playas altas debieron formarse tras la transgresión que dio lugar a un paleoacantilado, hoy parcialmente erosionado, situado localmente tras frentes morrénicos externos.

Por otra parte, es evidente la influencia de un proceso epirogénico —con importantes connotaciones neotectónicas— en esta escalinata de ocho playas entre 1,5 m. y 18,6 m. (figs. 3 y 4).

La comparación de los datos presentados con las observaciones en otras áreas, realizadas por nosotros, por el equipo de la Universidad de Barcelona con quienes colaboramos y por otros autores, junto con los resultados de las dataciones en curso de algunos huesos de ballena encontrados en las playas elevadas, podrá permitir

algunas deducciones más sobre la historia glacial de la isla Livingston.

### Agradecimientos

La topografía de detalle para elaborar el perfil adjunto se ha realizado con la ayuda de los cartógrafos del Servicio Cartográfico del Ejército, especialmente de Alfonso Sánchez del Toro.

Este trabajo forma parte del proyecto ANT-89-0821-E, financiado por la CICYT.

### Referencias

- Adie, R. J. (1964): En Adie, R. J. (Ed.) *Antarctic Geol. SCAR Proceedings. II Geomorphology*. 27-32.
- Corte, A. E. (1959): En Cordini, R. (Ed.) *El conocimiento de la Antártida*. Publ. nº 6. Inst. Ant. Argentino. pp. 65-131.
- Everett, K. R. (1971): *Arctic*, 24, 1, 41-50.
- Hobbs, G. J. (1968): *Scientific Reports, Br. Antarct. Surv.* nº 47, pp. 34.
- IHM (1989): *Carta Hidrográfica de Punta Polaca a Punta Larisa*. 001 ANT. esc. 1:5.000. Inst. Hidrográfico de la Marina. Cádiz.
- John, B. S. y Sugden, D. E. (1971): *Br. Antarct. Surv. Bull.* nº 24, 45-111.
- Mäusbacher, R.; Müller, J. y Schmidt, R. (1989): *Zeitsch. für Geomorphologie*, 33, 2, 219-234.
- Nichols, R. L. (1966): En Tedrow, J. C. F. (Ed.) *Antarctic soils and soil forming processes*. Amer. Geoph. Union. Publ. nº 1.418, 1-46.

Recibido el 29 de septiembre de 1990.  
Aceptado el 26 de octubre de 1990.

## Superficies de erosión y tectónica neógena en el extremo occidental del Sistema Central español

### *Planation surfaces and neogene tectonics in the western end of the Spanish Central System*

F. Moreno Serrano\*

\* ITGE, Cristóbal Bordiú, 35. 28003 Madrid.

#### ABSTRACT

*Paleogene erosion surface (S<sub>1</sub>), with plioquaternary retouching (S<sub>1</sub>-D), is unleveled and tilted in different blocks.*

*Main movements occurred in Iberica stage or Castellana phase \*Upper Oligocene - Lower Miocene) and Guadarrama stage or Neocastellana and lower Tortanian phases (lower to middle Miocene).*

*Neocastellana phase probably was the most important of them and reactivated as thrusts former normal faults, striking NE-SO to ENE-OSO).*

**Key words:** *Sistema Central, erosión surfaces, Alpine tectonics.*

*Geogaceta, 9 (1991), 47-50.*