

Esfuerzos actuales en la región del Arco de Scotia

Present-day stresses in the Scotia Arc region

J. Galindo-Zaldívar (*), A. Jabaloy (*), A. Maldonado (**) y C. Sanz de Galdeano (**)

(*)Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071-Granada.

(**)Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (C.S.I.C. - Universidad de Granada). 18002-Granada.

ABSTRACT

The study of the stresses in the Scotia Arc, determined by right dihedral diagrams of earthquake focal mechanisms, illustrates the present-day tectonics of the region. The Scotia Arc is a large sinistral fault zone, with NE-SW subhorizontal (σ_1), where the relative motion between the Antarctic and South America plates is distributed. While the North Scotia Ridge is deformed by sinistral transpressive faults, related to the general stress field, the transpressive sinistral deformations in the Shackleton Fracture Zone are related to a stress field σ_1 of WNW-ESE trend and subhorizontal. In the Bransfield Strait and in the South Scotia Ridge, stresses are extensional, with σ_1 subvertical and σ_3 trending NW-SE, and produce respectively in each region, normal and transpressive sinistral faults.

Key words: Right dihedral diagrams, present-day stresses, Scotia Arc.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 817-819

ISSN: 0213683X

Introducción

El Arco de Scotia se localiza en el extremo sudoccidental del Atlántico (Fig. 1), donde convergen en dirección E-W las placas Sudamericana y Antártica. Entre ellas se sitúan las placas de Scotia y de las Sandwich (BAS, 1985; Pelayo y Wiens, 1989). El movimiento relativo entre las placas Sudamericana y Antártica se distribuye a lo largo de los límites meridional y septentrional de las placas de Scotia (Dorsal Sur de Scotia y Dorsal Norte de Scotia) y de las Sandwich. Dichos límites son zonas de falla con saltos de importante componente sinistra. La Placa de Scotia está separada de la Placa de las Sandwich por una dorsal de expansión arqueada y subparalela a la fosa de las Sandwich, donde subduce litosfera oceánica de la Placa Sudamericana bajo la Placa de las Sandwich. La Zona de Fractura Shackleton constituye el límite occidental de la Placa de Scotia, también de carácter transpresivo sinistro, que mediante una transición progresiva se curva y continúa en la zona de subducción del margen occidental Sudamericano. Al Este del Arco de Scotia, las placas Sudamericana y Antártica contactan mediante una falla transformante. Todos estos límites de placa tienen actividad sísmica actual (BAS, 1985; Pelayo y Wiens, 1989). En el Estrecho de Drake, la actividad de la

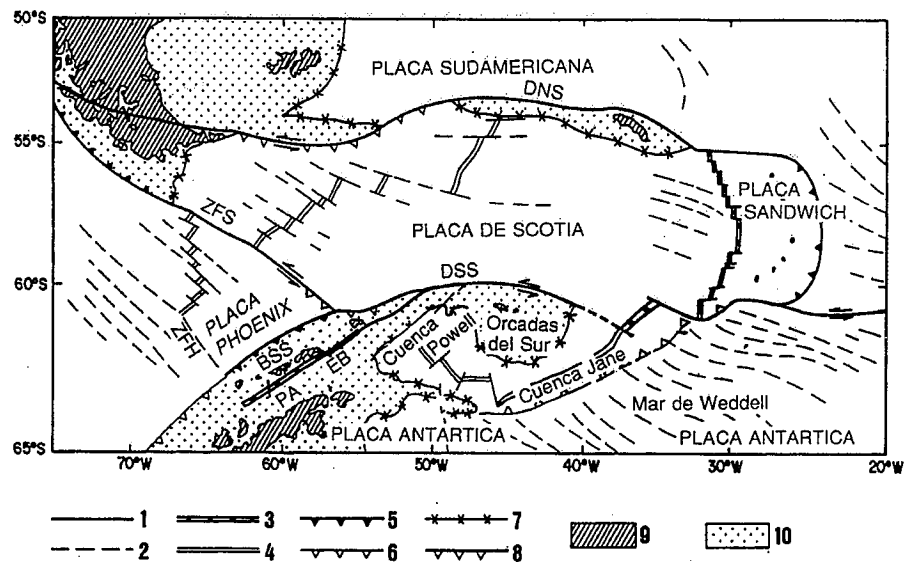


Fig. 1.- Situación geológica del Arco de Scotia interpretada a partir del mapa de anomalías gravimétricas del GEOSAT (McAdoo y Marks, 1992). 1, Falla transformante. 2, Falla transformante inactiva. 3, Eje de dorsal de expansión. 4, Eje de dorsal de expansión inactiva. 5, Zona de subducción. 6, Zona de subducción inactiva. 7, Limite entre las cortezas continental y oceánica. 8, Zona de falla transpresiva. 9, Areas con corteza continental emergida. 10, Areas con corteza continental sumergida. PA, Península Antártica. ZFH, Zona de Fractura Hero. ZFS, Zona de Fractura Shackleton. DNS, Dorsal Norte de Scotia. DSS, Dorsal Sur de Scotia. BSS, Bloque de las Shetland del Sur. EB, Estrecho de Bransfield.

Fig. 1.- Geological setting of Scotia Arc interpreted from the GEOSAT gravimetric anomaly map (McAdoo and Marks, 1992). 1, Transform fault. 2, Inactive transform fault. 3, Axis of spreading ridge. 4, Axis of inactive spreading ridge. 5, Subduction zone. 6, Inactive subduction zone. 7, Continental and oceanic crust boundary. 8, Transpressive transform fault. 9, Emerged areas of continental crust. 10, Submerged areas of continental crust. PA, Antarctic Peninsula. ZFH, Hero Fracture Zone. ZFS, Shackleton Fracture Zone. DNS, North Scotia Ridge. DSS, South Scotia Ridge. BSS, South Shetland Block. EB, Bransfield Strait.

dorsal que separaba las placas Phoenix y Antártica cesó hace 3.5 a 2.4 M.a. (Jeffers y Anderson, 1990). No obstante, aun se identifica una actividad sísmica moderada tanto en la dorsal como en las fallas transformantes que separaban ambas placas, entre las que destaca la Zona de Fractura Hero (Figs. 1 y 2). Actualmente continua activa la subducción de la antigua Placa Phoenix, ya unida a la Placa Antártica, bajo las Islas Shetland del Sur (Maldonado *et al.*, 1994). Esta estructura produce una expansión en el Estrecho de Bransfield, con actividad sísmica moderada, probablemente consecuencia de un proceso de 'roll-back' (Maldonado *et al.*, 1994). El bloque de las Shetland del Sur (Aldaya y Maldonado, 1995, en prensa), formado por corteza continental, está limitado al Norte por la zona de subducción de las Shetland del Sur y la corteza oceánica de la Placa de Scotia y al Sur por el eje de expansión del Estrecho de Bransfield y su continuación en las fallas transcurrentes del interior de la Dorsal Sur de Scotia. Este bloque se une hacia el SW a la Placa Antártica mediante una zona de deformación distribuida.

El mapa de satélite de anomalías gravimétricas de aire libre (McAdoo y Marks, 1992), permite identificar todos estos rasgos fisiográficos y tectónicos. Además, también facilita la localización de dorsales de expansión y transformantes, actualmente extintas, en el interior de la Placa de Scotia (Fig. 1). La determinación de los esfuerzos actuales en el Arco de Scotia tiene especial interés ya que contiene una amplia variedad de límites de placa, bien delimitados a la escala de trabajo considerada. Además, son escasos los datos existentes sobre su situación actual de esfuerzos. El objetivo de este trabajo es establecer las características de los esfuerzos actuales en algunos límites de placa mediante diagramas de diedros rectos y relacionar los esfuerzos con las deformaciones desarrolladas en cada límite.

Sismicidad, esfuerzos y deformaciones en el Arco de Scotia

Los estudios sismológicos en el Arco de Scotia han calculado 27 mecanismos focales (BAS, 1985; Pelayo y Wiens, 1989). Los ejes P y T de estos mecanismos focales permiten realizar una primera estimación del estado de esfuerzos actual. Sin embargo, habitualmente los ejes P y T no coinciden con σ_1 y σ_3 , ejes principales del elipsoide de esfuerzos, sobre todo cuando los sismos se producen sobre fallas reactivadas. En estos casos el método

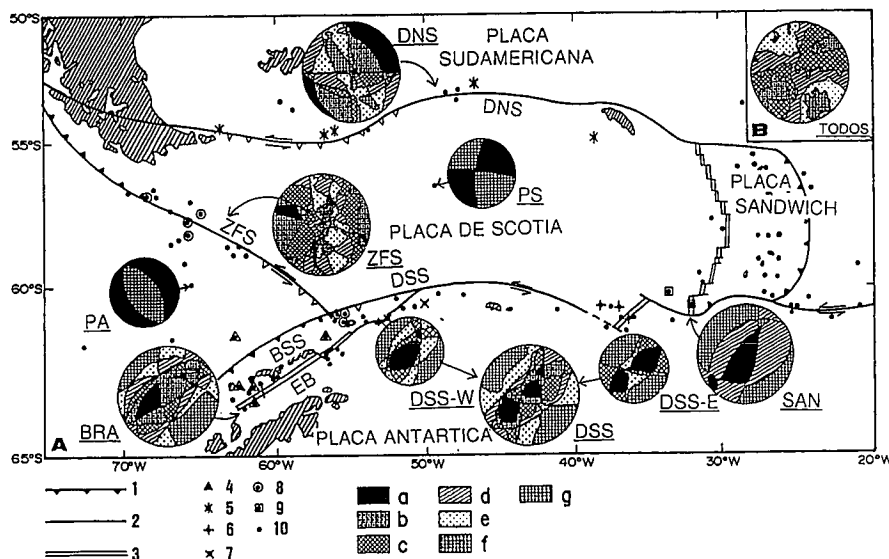


Fig. 2.- Diagramas de diedros rectos de los mecanismos focales de terremotos recalculados y compilados por Pelayo y Wiens (1989). Se muestra la posición de los límites de placa actuales. 1, Zona de subducción. 2, Falla transformante. 3, Eje de dorsal de expansión. BRA, Región del Estrecho de Bransfield, 5 mecanismos focales (m.f.), símbolo 4; DNS, Dorsal Norte de Scotia, 5 m.f., 5; DSS-W, Región occidental de la Dorsal Sur de Scotia, 3 m.f., 6; DSS-E, Región oriental de la Dorsal Sur de Scotia, 3 m.f., 7; DSS, Diagrama con los datos de DSS-W y DSS-E; ZFS, Zona de Fractura Shackleton, 7 m.f., 8; SAN, Región sudoccidental de las Islas Sandwich del Sur, 2 m.f., 9; 10, Otros epicentros de terremotos de magnitud mínima 5 del periodo 1963-1985. Diagramas de diedros rectos, porcentajes de diedros en compresión: a, 100%; b, 80%-100%; c, 60%-80%; d, 40%-60%; e, 20%-40%; f, 0%-20%; g, 0%. Otras abreviaturas como en la Fig. 1. -

Fig. 2.- Right dihedral diagrams of the earthquake focal mechanisms recalculated and compiled by Pelayo and Wiens (1989). Present-day plate boundaries are shown. 1, Subduction zone. 2, Transform fault. 3, Axis of spreading ridge. BRA, Bransfield Strait region, 5 focal mechanism (f.m.), symbol 4; DNS, North Scotia Ridge, 5 f.m., 5; DSS-W, western region of the South Scotia Ridge, 3 f.m., 6; DSS-E, eastern region of the South Scotia Ridge, 3 f.m., 7; DSS, diagram with the data from DSS-W and DSS-E; ZFS, Shackleton Fracture Zone, 7 f.m., 8; SAN, southwestern region of the South Sandwich Islands, 2 f.m., 9; 10, Other earthquake epicenters with a minimum magnitude near 5 in the period 1963-1985. Right dihedral diagrams, percentages of dihedral in compression: a, 100%; b, 80%-100%; c, 60%-80%; d, 40%-60%; e, 20%-40%; f, 0%-20%; g, 0%. Other abbreviations as in Fig. 1.

de los diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977) permite conocer la orientación de σ_1 y σ_3 , a partir de poblaciones de mecanismos focales en zonas con esfuerzos homogéneos. Para realizar los diagramas de diedros rectos que se presentan en la Figura 2A se han agrupado los mecanismos focales suponiendo que los esfuerzos son homogéneos en torno a cada estructura mayor. No obstante, hay contactos mayores de los que no se dispone de ningún mecanismo focal. Además en la Figura 2A se han representado dos mecanismos focales aislados y situados en el interior de las placas de Scotia y Antártica. El diagrama de diedros rectos del conjunto de todos los sismos (Fig. 2B) indica que, a escala regional, σ_1 es subhorizontal y de dirección NE-SW, σ_3 es subhorizontal y de dirección NW-SE, por lo que σ_2 debe de tener una fuerte inclinación. Sin embargo, el campo de esfuerzos es heterogéneo ya que hay mecanismos

focales cuya solución no es compatible con el campo general de esfuerzos.

La Figura 3 muestra para cada estructura la situación de esfuerzos actual determinada a partir de los diagramas de diedros rectos (Fig. 2). En la Dorsal Norte de Scotia, σ_1 es subhorizontal, de dirección NE-SW, y σ_3 tiene inclinación mal definida. Estos esfuerzos son compatibles tanto con el carácter transcurrente sinistral propuesto para el límite septentrional de la placa de Scotia (BAS, 1985; Pelayo y Wiens, 1989), como con el carácter transpresivo, con desarrollo de cabalgamientos, que muestran los perfiles de sísmica de reflexión de la zona (Platt y Philip, 1995). La Zona de Fractura Shackleton muestra una perturbación del campo general de esfuerzos, con σ_1 WNW-ESE y subhorizontal, y σ_3 subvertical, lo que indicaría un carácter transpresivo sinistral compatible con los cabalgamientos descritos por Klepeis *et al.* (1989) y Aldaya

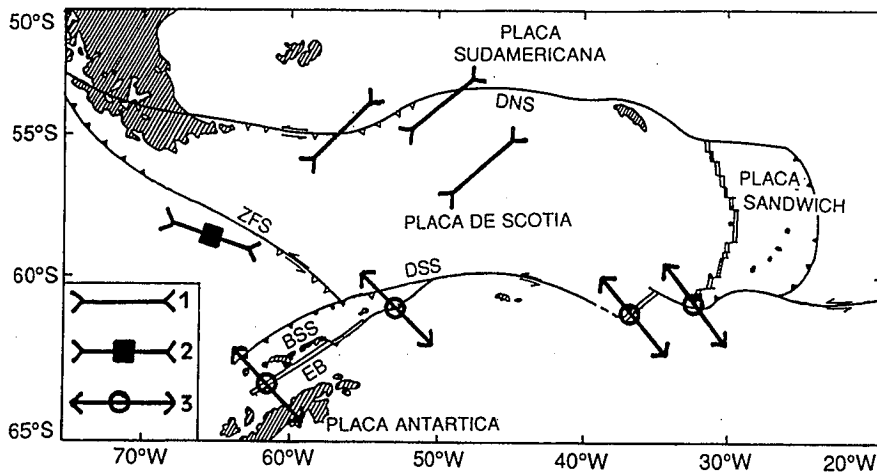


Fig. 3.- Esfuerzos actuales en la región del Arco de Scotia determinados a partir de los diagramas de diedros rectos de la Fig. 2. 1, σ_1 subhorizontal. 2, σ_2 subhorizontal y σ_3 subvertical. 3, σ_3 subhorizontal y σ_1 subvertical. Abreviaturas como en Fig. 1.

Fig. 3.- Present-day stresses in the Scotia Arc region determined from the right dihedral diagrams of the Fig. 2. 1, σ_1 subhorizontal. 2, σ_2 subhorizontal and σ_3 subvertical. 3, σ_3 subhorizontal and σ_1 subvertical. Abbreviations as in Fig. 1.

y Maldonado (in press) en este contacto.

La región del Estrecho de Bransfield se caracteriza por una orientación de σ_1 subvertical y de σ_3 subhorizontal de dirección NW-SE. Este estado de esfuerzos es similar al deducido a partir del estudio de sistemas de diaclasas recientes en las islas Shetland del Sur (Tokarski, 1991) y de la dirección de apertura del Estrecho del Bransfield. El estado de esfuerzos es también similar al que se observa a lo largo de la Dorsal Sur de Scotia y en la parte meridional del Arco de las Sandwich. Este estado de esfuerzos es compatible con la formación de fallas transtensivas sinistras que desarrollan cuencas asimétricas a lo largo de la Dorsal Sur de Scotia, investigadas durante la campaña Hespérides 92-93 realizada a bordo del B/O Hespérides (Maldonado *et al.*, 1993; Galindo-Zaldivar *et al.*, 1994; Jabaloy *et al.*, este volumen).

Discusión y conclusiones

La determinación de los esfuerzos actuales ayuda a interpretar las principales estructuras que se observan en la región. El arco de Scotia, considerado en su conjunto, muestra esfuerzos actuales típicos de una extensa zona de falla de carácter transcurrente, con σ_2 subvertical y σ_1 subhorizontal de dirección NE-SW. Sin embargo, los diagramas de diedros rectos indican que las características de los esfuerzos son distintas en cada sector, incluso en contactos subparalelos, como los límites meridional y septentrional de la Placa de Scotia. Los esfuerzos determina-

dos se correlacionan bien con las deformaciones detectadas principalmente a partir de perfiles de sísmica de reflexión. La Dorsal Norte de Scotia (Platt y Philip, 1995) y la Zona de Fractura Shackleton (Klepeis *et al.*, 1989 y Aldaya y Maldonado, 1995, en prensa) se caracterizan por ser zonas de falla transpresivas sinistras. Entre ambas debe producirse una rotación de σ_1 ya que, aunque en ambos casos es horizontal, su orientación es respectivamente NE-SW y WNW-ESE. El Estrecho de Bransfield, la Dorsal Sur de Scotia y su prolongación oriental hasta la placa de las Sandwich se caracterizan por esfuerzos extensivos de dirección NW-SE. El diferente régimen de los sistemas de fallas, extensivos en el Estrecho de Bransfield (Tokarski, 1991; Maldonado *et al.*, 1994) y transtensivos en la Dorsal Sur de Scotia (Galindo-Zaldivar *et al.*, 1994; Jabaloy *et al.*, este volumen) se debe probablemente a la diferente orientación de las superficies de falla respecto a los esfuerzos. El carácter uniforme de los esfuerzos en estas regiones es compatible con la posible continuidad actual de las estructuras asociadas a la expansión en el Estrecho de Bransfield hacia la Dorsal Sur de Scotia, que fue, propuesta por Lawver y Villinger (1989). El límite meridional del Bloque de las Shetland del Sur (Aldaya y Maldonado, en prensa) estaría formado por este conjunto de estructuras que funciona bajo un sistema de esfuerzos extensivo y homogéneo. La mayor parte de los sismos detectados en el arco de Scotia están asociados a estructuras mayores que limitan placas y bloques.

No obstante, existe una cierta actividad sísmica asociada a estructuras que son habitualmente consideradas inactivas, como el límite entre las placas Phoenix-Antártica. Por el contrario, a lo largo de estructuras consideradas activas (por ejemplo, la región oriental de la Dorsal Norte de Scotia), apenas si se identifica actividad sísmica en segmentos muy extensos.

Agradecimientos

Trabajo financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, proyectos ANT93-0939 y ANT94-0020.

Referencias

- Aldaya, F. y Maldonado, A. (1995): *Rev. Soc. Geol. España*, 8, 273-284.
- Aldaya, F. y Maldonado, A. (en prensa): *Geo-Mar. Lett.*
- Angelier, J. y Mechler, P. (1977): *Bull. Soc. Geol. France*, 7, 1309-1318.
- BAS. (1985): *Tectonic map of the Scotia Arc*. British Antarctic Survey, Cambridge.
- Galindo-Zaldivar, J., Jabaloy, A., Maldonado, A. y Sanz de Galdeano, C. (1994): *Terra Antartica*, 1, 303-306.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldivar, J., Maldonado, A. y Sanz de Galdeano, C. (este volumen).
- Jeffers, J.D. y Anderson, J.B. (1990): *In Antarctica as an Exploration Frontier-Hydrocarbon Potential*. (John, B. St., Ed. Geology and Hazards. AAPG Studies in Geology, 31, 13-30.
- Klepeis, K.A., Lawver, L.A., Sandwell, D. y Small, C. (1989): *Antarctic Journal*, 24, 126-128.
- Lawver, L.A. y Villinger, H. (1989): *Antarctic Journal*, 24, 117-120.
- Maldonado, A., Aldaya, F., Balany, J.C., Galindo-Zaldivar, J., Livermore, R.A., Miguel Monseñe, F. Rodríguez-Fernández, J., Roussanov, M., Sanz de Galdeano, C., Surifach, E. y Viseras, C. (1993): *Scientia Marina*, 57, 79-89.
- Maldonado, A., Larter, R. y Aldaya, F. (1994): *Tectonics*, 13, 1345-1370.
- McAdoo, D.C. y Marks, K.M. (1992): *Jour. Geophys. Res.*, 97, 3247-3260.
- Pelayo, A. y Wiens, D.A. (1989): *Jour. Geophys. Res.*, 94, 7293-7320.
- Platt, N.H. y Philip, P.R. (1995): *Mar. Petrol. Geol.*, 12, 759-771.
- Tokarski, A.K. (1991): *In Geological Evolution of Antarctica*. (Thomson, M.R.A., Crame J.A. y Thomson J.W., Eds.), Cambridge University Press, 493-497.