



ANOMALÍAS MAGNÉTICAS EN EL MARGEN ARGENTINO (MARARG)

Marta Ghidella^{1*}, Ana Carolina Pedraza De Marchi^{2,3}, Carlos M. Paterlini⁴, Daniel Abraham¹

¹ Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, La Plata, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, La Plata, Argentina.

⁴ Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina.

*e-mail: mghidella@gmail.com

ABSTRACT

We describe how the MARARG magnetic anomaly compilation, obtained for a sector of the Argentine continental margin was expanded, from the combination of new marine data from the BGR98 cruises and GEODAS data. We mention a series of techniques and procedures that allow the combination of such data sets and the issues that magnetic anomaly user will find in order to obtain a reliable compilation as our MARARG-BGR98-GEODAS resultant. The map of magnetic anomalies was analyzed integrating other geologic and geophysics data with the aim of clarifying the geodynamic problem of the Atlantic Ocean break-up.

Keyword: Magnetic anomaly, Atlantic Ocean break-up, Argentine continental margin

RESUMEN

En este trabajo se describe cómo se amplió la compilación de anomalías magnéticas MARARG obtenida para un sector del margen continental argentino, a partir de la combinación de nuevos datos marinos provenientes de los cruceros BGR98 y los datos GEODAS. Mencionamos una serie de técnicas y procedimientos que permiten la combinación de tales conjuntos de datos y los inconvenientes que usuarios de datos geomagnéticos tienen que afrontar hasta obtener una compilación confiable como el resultado final MARARG-BGR98-GEODAS. El mapa de anomalías magnéticas se analizó integrando otros datos geológicos y geofísicos con el objetivo de esclarecer el problema geodinámico asociado con la Apertura del Océano Atlántico (AOA).

Palabras claves: Anomalía magnética, Apertura del océano Atlántico, margen continental argentino

1. Introducción

Como parte de un proyecto para estudiar la plataforma continental y el margen argentino se realizó una compilación de datos magnéticos marinos de cruceros en la región geográfica 35°S - 49°S, 68°W - 50°W para ampliar la compilación MARARG (Ghidella, 2017) en la cual se integraron siete conjuntos de datos magnéticos aportados por varias instituciones. Esta compilación tiene una buena cobertura de datos en la plataforma continental y en el litoral marítimo, hasta los 49° S, que permite apreciar estructuras regionales que no se advertían en los levantamientos individuales y que constituyen interesantes aportes al conocimiento de la evolución tectónica del litoral marítimo argentino (Ghidella *et al.*, 2002; Ghidella *et al.*, 2005).

En el presente trabajo hacemos una breve descripción de las técnicas usadas para la incorporación de los nuevos datos, y luego analizamos las anomalías magnéticas junto a otros datos geofísicos en un intento de dilucidar sus implicaciones sobre la evolución del margen y el modo de AOA.

2. Tratamiento de los datos

Los nuevos juegos de datos provienen de un crucero geofísico llevado a cabo en 1998 y 1999 (BGR98) y de la versión digital en DVD del Geodas (NGDC, NOAA).

Los datos BGR98 requirieron depuración, corrección por variación diurna y nivelación de los cruces



antes de incorporarse a la compilación anterior (MARARG) que contaba con buenas condiciones de auto consistencia.

Los errores de cruces (ECs) MARARG-BGR98 arrojaron un valor medio de 22.5 nT antes de la corrección y una desviación standard (DS) de 16.7 nT para un total de 261 cruces. Después de una nivelación estadística, estos valores se redujeron a 0.0 y 8.9 nT respectivamente, obteniéndose así una base de datos unificada satisfactoria de las dos compilaciones.

Los 231 cruces Geodas con trayectorias en nuestra zona de estudio fueron editados, eliminando valores obviamente malos y cortando las trayectorias en los cambios de rumbo importantes. Las anomalías magnéticas se recalcularon usando los correspondientes a la época de cada crucero. La corrección por cruces es particularmente difícil en este caso dado que los errores de posicionamiento son importantes en cruces antiguos. La compilación MARARG-BGR98 se usó como referencia en el análisis de cruces. Para una región más pequeña ($41^\circ - 47^\circ$ S, $62^\circ - 52^\circ$ W), particularmente interesante para estudios de la apertura del margen, se hizo una corrección especialmente cuidadosa, revisando las líneas una por una. De esta forma la DS de los ECs para el subconjunto GEODAS se redujo de 52.2 nT a 2.4 nT para 264 cruces. Llamamos MARARG-BGR98-GEODAS a la compilación resultante de la combinación de los datos MARAG-BGR98 y los datos GEODAS (Fig. 1a).

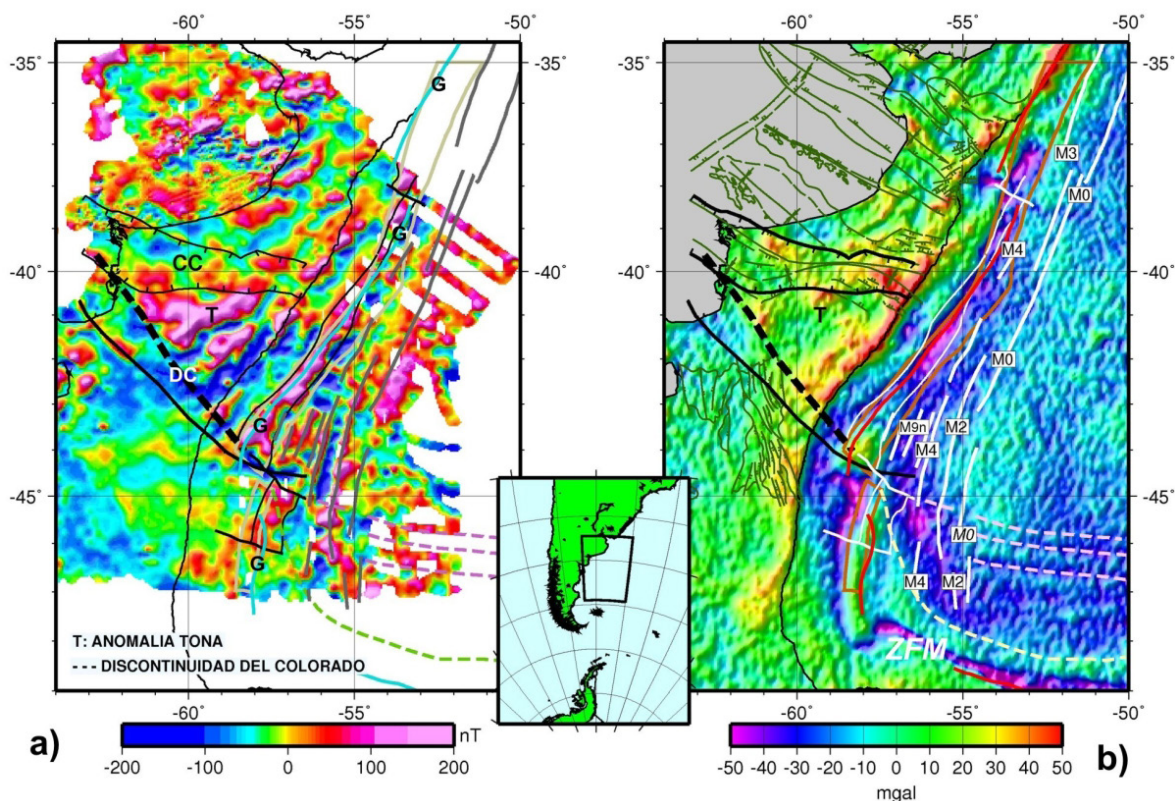
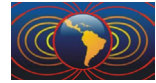


Figura 1. (a) Anomalías magnéticas y **(b)** gravimétricas con rasgos estructurales. Líneas negras en a) y blancas en b) delimitan anomalías magnéticas positivas en el talud. La línea negra cerca del borde de plataforma es la isobata de 500 m. Las CV (Hinz *et al.*, 1999) están en ocre y en marrón. Anomalías magnética Tona y DC son de Ghidella *et al.* (1995) y de Max *et al.* (1999). Notar que al norte de DC la cuña y la anomalía positiva coinciden, pero no al sur. La AG de Rabinowitz y LaBrecque (1979) está en azul en a) y rojo en b). Las alineaciones mesozoicas están en gris en a) y en blanco en b) con sus etiquetas. En el rincón cercano a la cuña, las anomalías van desde M10 a M4. Las líneas de rayas color rosa son zonas de fractura interpretadas del mapa de gravedad. Nuestra interpretación del borde de la zona más influida por el arrastre de la transcurrencia en la zona de fractura de Malvinas (ZFM) está en línea rayada color verde en a) y blanca en b). Las estructuras digitalizadas de Ramos (1996) están dibujadas en b) de color verde.



3. Anomalías magnéticas y rasgos estructurales

La Figura 1 muestra dos mapas principales: el de anomalías magnéticas (1a) (MARARG-BGR98-GEODAS) y el de anomalías gravimétricas de aire libre (1b) (Sandwell & Smith, 1997) de la versión 8.2. Sobre ambos mapas hemos superpuesto rasgos estructurales. Sobre el mapa de gravedad superpusimos estructuras digitalizadas de las figuras 8 y 10 de Ramos (1996).

Una línea segmentada gruesa corta el margen al sur del Alto de Rawson. Esta línea, denominada discontinuidad del Colorado (DC), separa dos sectores, norte y sur, con respuestas magnéticas muy diferentes (Ghidella *et al.*, 1995; Max *et al.*, 1998; Ghidella *et al.*, 2002a; Ghidella *et al.*, 2002b).

En la zona del margen se ha trazado la ubicación de la anomalía G (AG) de acuerdo a la propuesta de Rabinowitz y LaBrecque (1979), quienes la determinaron con datos magnéticos y gravimétricos de cruceros. G sigue el gradiente máximo de la anomalía isostática de gravedad, y tiene una expresión magnética asociada: una anomalía positiva elongada. La AG marcaría, según los autores mencionados, la transición entre corteza continental y oceánica (CCO).

Dos curvas casi paralelas dibujadas en ocre (a) y en marrón (b) delimitan una franja relacionada con la presencia de una cuña volcánica (CV) implantada en el límite CCO según Hinz *et al.* (1999). Esta cuña es visible en registros sísmicos como reflectores que inclinan hacia el mar, ubicados en lo que técnicamente sería el basamento sísmico, y en su mayor parte coincide con la expresión magnética de la AG.

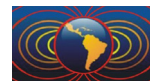
La AG no es totalmente continua, sino que tiene algunas interrupciones. Al sur de los 45°, tanto la G original de Rabinowitz y LaBrecque (1979) como la alineación magnética asociada (Ghidella *et al.*, 2002a) tienen un corrimiento hacia el este. La CV tiene un corrimiento menor así como también una disminución de tamaño. Justamente la zona de cambio está en la DC. En el océano están señaladas las anomalías mesozoicas de expansión del fondo oceánico (serie M), según nuestra determinación. Al sur de DC la anomalía más antigua es la M4; al norte aparecen hasta M10, justo en el borde de la CV. M4 sigue siendo detectada hasta en casi toda la zona. Las otras, en cambio, tienen una extensión menor y se cortan al encontrar la CV a la cual no son paralelas. Nótese que tanto la CV como las alineaciones (las M's) antiguas se interrumpen en la zona de DC y que en el mapa hay una anomalía negativa que es el efecto de borde que aparece cuando se llega a los bordes de los cuerpos magnéticos (Ghidella *et al.* 2002b). En el sector sur la cobertura de datos que manejamos es más escasa.

Las anomalías gravimétricas tienen características muy interesantes (Fig. 1b). Al este de la cuenca de Rawson (CR) y al sur de la DC hay un mínimo relativo en el máximo gravimétrico que normalmente bordea el talud, y un máximo mar adentro en la zona de pendiente. Parece indicar un derrumbe. Pero al sur de los 45° S y a una profundidad de entre 3500 y 4000 m hay un máximo relativo de gravedad de forma circular que está ubicado encima de una cuenca sedimentaria (Neben *et al.*, 2002). Hacia el sur hay otro máximo relativo que forma una banda o festón, paralelo a AG. Esto está en el borde de la cuenca Argentina. Las anomalías gravimétricas positivas sobre cuencas sedimentarias suelen ser indicativas de falta de compensación isostática de la cuenca, como ocurre en la cuenca del Salado (CS) (Introcaso, 1984), que se encuentra en subsidencia.

Cabe notar también que la orientación de las cuencas es casi perpendicular al margen en la zona norte y que esto cambia al sur de DC: las cuencas de Valdez (CVa) y de Rawson (CR) son representantes de un sistema de rift subparalelo al borde de plataforma (Ramos, 1996).

4. La apertura del Océano Atlántico

En el Jurásico tardío (135 Ma), se emplazaron las provincias ígneas de Paraná-Etendeka. Durante este



fenómeno astenosférico térmico se generaron rupturas en la corteza; algunas no alcanzaron la etapa de expansión oceánica y evolucionaron como cuencas aulacógenas. A lo largo de una dorsal de dirección norte - sur tuvo lugar la apertura del Océano Atlántico Sur, que se produjo con efusiones volcánicas. Efusiones que se detectan por la refracción sísmica como reflectores sísmicos intrabasamentales que se inclinan hacia el mar (CV en la Fig. 2).

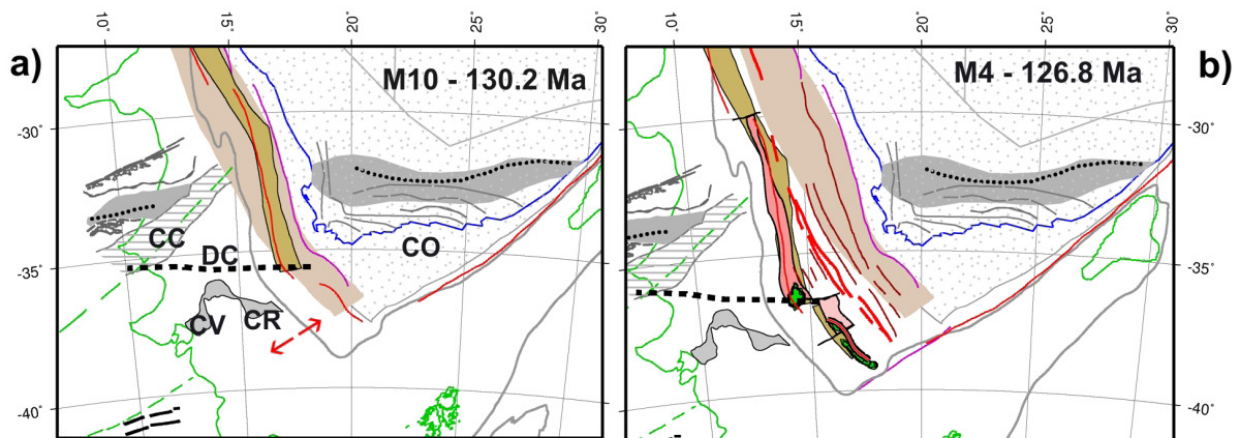


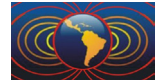
Figura 2. Sudamérica rotada hacia África para dos épocas:

- Época del inicio de la apertura. Las CV de hoy a ambos lados del océano aparecen delineadas. También están trazadas las AG de ambos lados. Las cuencas Colorado (CC), Valdez (CV) y Rawson (CR) tienen aproximadamente su configuración actual. El polo de rotación es $[45.5^{\circ}\text{S}, -32.20^{\circ}\text{W}, 56.5]$. DC: Discontinuidad del Colorado. CO: cuenca de Outeniqua. Se observan la cuenca de Claromecó y los sistemas Tandilla y Ventania y en África los plegamientos de El Cabo y la faja conductora Cabo Sur en la cuenca de Karoo. La dirección de apertura es la del estiramiento en las cuencas (doble flecha)
- Época de la anomalía M4. Al sur de la DC no hay anomalías anteriores a M4 del lado sudamericano (M4 está en rojo y las anteriores en marrón). En líneas negras con relleno verde aparecen los contornos de los valores máximos de gravedad. El polo de rotación es $[49.3^{\circ}\text{S}, 33.5^{\circ}\text{W}, 54.3^{\circ}]$.

Las alineaciones magnéticas del margen argentino sugieren que la ruptura inicial ocurrió a los 130 Ma en la zona ubicada actualmente en los $44 - 45^{\circ}\text{S}$, comenzando entonces a propagarse hacia el norte, y que hacia el sur el espacio correspondiente fue compensado por extensión cortical en las cuencas Valdez, Rawson, y la misma cuenca Argentina. La Figura 2 muestra Sudamérica rotada hacia África para dos épocas: la de la ruptura inicial, en la cual las CV se superponen o son una única cuña, y la época de la alineación M4, 126.8 Ma, época a partir de la cual la apertura fue más regular. Hemos tratado de hacer ver los rasgos más destacados de la zona de discontinuidad. Los polos de rotación son los de Rabinowitz y LaBrecque (1979) algo modificados, pero no hemos segmentado Sudamérica, usando un solo polo para cada época. En el lado conjugado africano está la cuenca de Outeniqua, con la misma dirección de extensión. En el lado africano la CV es más ancha y no se interrumpe como en el lado argentino, pero no tenemos información actualizada. También ocurre que hay anomalías antiguas hasta M11, a diferencia de lo que ocurre en el lado argentino. La zona al sur de DC estuvo seguramente influida por la vecindad del margen transcurrente en la zona de fractura de Malvinas, y es posible que se haya resistido a la ruptura por el mismo fenómeno que hizo que la plataforma de Malvinas no se rompiera.

5. Conclusiones

- La compilación MARARG-BGR98 resulta ser una base de datos unificada satisfactoria, luego de reducir los ECs a valor medio 0.0 y DS 8.9 nT.
- La compilación MARARG-BGR98 se usó como referencia en el análisis de cruces de datos



GEODAS donde el DS de los ECs se redujo de 52.2 nT a 2.4 nT para 264 cruces y luego se incorporó en MARARG-BGR98- GEODAS.

- La alineación magnética DC corta el margen al sur del Alto de Rawson separando dos sectores con respuestas magnéticas muy diferentes.
- La AG no es totalmente continua, al sur de los 45° tiene un corrimiento hacia el este y la CV tiene un corrimiento menor, así como también una disminución de tamaño al atravesar la DC.
- Señalamos falta de compensación isostática de cuencas sedimentarias manifestados por máximos de gravedad relativos: al sur de los 45° S a una profundidad de entre 3500 y 4000 m de forma circular y hacia el sur una banda o festón, paralelo a la AG, en el borde de la cuenca Argentina.
- Las alineaciones magnéticas del margen argentino sugieren que la ruptura inicial ocurrió a los 130 Ma en la zona ubicada actualmente en los 44 - 45° S, comenzando entonces a propagarse hacia el norte.
- En el lado africano hay anomalías más antiguas (hasta M11), que en el lado argentino. Consecuentemente nuestra interpretación tiene que ser revisada del lado africano.

Referencias

- Ghidella, M.E., Paterlini, C.M., Kovacs, L.C., Rodríguez, G., 1995. Magnetic Anomalies on the Argentine Continental Shelf. Proceedings of the 4th International Congress of the Brazilian Geophysical Association and 1st Latinoamerican SEG/ULG Conference (Río de Janeiro), 8 pp.
- Ghidella, M.E., Köhn, J., Gianibelli, J.C., 2002a. Low Altitude Magnetic Anomaly Compilation in Argentina: its Comparison with Satellite Data. *American Geophysical Union, 2002 Spring Meeting*. Publicado en: <http://www.dsri.dk/multimagsatellites/>
- Ghidella, M.E., Köhn, J., Gianibelli, J. C., Kostadinoff, J., Chernicoff, C. J., 2002b. Compilación digital de datos magnéticos en Argentina. XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Rosario, 2002. Actas AAGG2002 (CD ROM), pp. 231-235.
- Ghidella, M.E., Chernicoff, C.J., Köhn, J., Kostadinoff, J., Gianibelli, J. C., 2005. Anomalías magnéticas en la provincia de Buenos Aires: compilación digital y principales unidades estructurales. En Cabaleri N., Cingolani, C.A, Linares, E., López de Luchi, M.G., Ostera, H.A. y Panarello, H.O. (eds.). *Actas del 15º Congreso Geológico Argentino CD-ROM, artículo Nº 161*, 8 pp.
- Ghidella, M. E. 2017, www.martagh.com.ar/mararg/pictr2002/
- Introcaso, A., Ramos, V., 1984. La cuenca del Salado. Un modelo de evolución aulacogénica. *9º Congreso Geológico Argentino. Actas 3*, 27-46.
- Max, M.D., Ghidella, M.E., Kovacs, L., Paterlini, M. Valladares, J.A., 1999. Geology of the mainland Argentine continental shelf and margin from aeromagnetic survey. *Marine Petroleum Geology 16*, 41-64.
- Neben, A., Franke, D., Hinz, K., Schreckenberger, B., Meyer, H., Roeser, H.A., 2002. Early Opening of the South Atlantic: Pre-Rift Extension and Episodicity of Seaward Dipping Reflector Sequence (SDRS) Emplacement on the Conjugate Argentine and Namibia Continental Margins. AAPG Hedberg Conference: Hydrocarbon Habitat of Volcanic Rifted Passive Margins. Stavanger, Noruega. Actas.
- Rabinowitz, P. D., LaBrecque, J.L., 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. *Journal of Geophysical Research 84*, 5973-6002.
- Ramos, V. A., 1996. Evolución tectónica de la plataforma continental. En V. A. Ramos y M. A. Turic (Eds.) *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 21:385-404*.
- Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., 1997. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research 102*, B5:10039-10054.