

ESTUDIO DEL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE ENTRE CORTEZA OCEÁNICA Y CONTINENTAL (DESDE 40°S HASTA 44°S) A PARTIR DE MÉTODOS GEOMAGNÉTICOS.

Arecco M. A.^{1,2*}, Larocca P.A.¹, Oreiro F.^{1,3}, Pizarro G.⁴ y Ruiz F.⁴

¹ Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

² Instituto Universitario Naval, Escuela de Ciencias del Mar. Buenos Aires, Argentina.

³ Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa. Buenos Aires, Argentina.

⁴ Instituto Geofísico Sismológico, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad de San Juan. San Juan, Argentina.

e-mail: *arecco.ma@gmail.com

ABSTRACT

Marine magnetic data from global grids were analyzed in order to obtain a digital map of magnetic anomalies in the Argentine continental margin between latitudes 40° and 44°S. These data were mathematically filtered to assist in the characterization of regional domains and magnetic boundaries. In particular, we have analyzed the frequency and amplitude of the filtered data of magnetic anomalies. The interpretation of the filtered magnetic field has been compared to a gravimetric 2D model. The study of the filtered magnetic anomalies profile allowed the determination of the limits of the continental-oceanic crust (COB, continental-oceanic boundary) providing interesting contributions to the understanding of the formation of the margin and reaffirming its characteristics of volcanic activity, shown through variations of the magnetic susceptibility.

Keywords: Magnetometry; analytic signal; tilt angle; continental oceanic boundary (COB); South America.

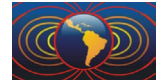
RESUMEN

En este trabajo se analizaron datos magnéticos marinos obtenidos a partir de grillas mundiales para obtener un mapa de anomalías magnéticas en el margen continental argentino entre las latitudes 40° y 44° S. Estos datos fueron filtrados matemáticamente a fin de ayudar en la caracterización regional de dominios y límites magnéticos. En particular, se estudiaron la frecuencia y amplitud de las anomalías magnéticas regionales filtradas en el área correspondiente a la estructura cortical continental-oceánica junto al espesor cortical y su evolución tectónica. La interpretación del filtrado del campo magnético se comparó con un modelo gravimétrico 2D. El estudio de un perfil de anomalías magnéticas filtradas permitió la determinación del límite de la corteza continental-oceánica (COB, *continental-oceanic boundary*) proporcionando interesantes aportes al conocimiento de la conformación del margen y reafirmando sus características de gran actividad volcánica, mostradas a través de las variaciones de la susceptibilidad magnética.

Palabras Clave: Magnetometría; señal analítica; ángulo tilt; borde continental oceánico (COB); Sudamérica.

Introducción

El estudio de las propiedades magnéticas de la Tierra es una de las herramientas más útiles para la determinación de la estructura geológica de la plataforma continental (Lefort *et al.*, 1995) principalmente en formaciones antiguas en las que la estructura sísmica no se distingue debido a la actividad tectónica y metamórfica. La interpretación magneto-geológica de la corteza oceánica es muy importante ya que la producción de todos los cuerpos magnéticos es parte de un mismo episodio de formación de la corteza oceánica (Max *et al.*, 1999). Los mapas de anomalías magnéticas ponen de manifiesto la complejidad estructural y litológica de las rocas de la corteza, proporcionando una ventana de acceso a la historia geológica de la Tierra.



Con el propósito de aportar al conocimiento del margen continental argentino e interpretar la constitución de la corteza continental de transición y el límite con la corteza oceánica, en el presente trabajo se presentaron las respuestas de los filtros (la señal analítica y ángulo tilt) aplicados a las anomalías magnéticas de Campo Magnético Total (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/soft.shtml>).

Se compararon los resultados con los obtenidos a partir de un modelo gravimétrico 2D correspondiente a un perfil transversal al talud de la plataforma continental.

Marco geológico

La formación de los márgenes del Atlántico Sur fue resultado de la ruptura del supercontinente Gondwana. La apertura final del Atlántico Sur se llevó a cabo en el Cretácico Temprano, con edades de apertura inferidos entre Argentina/Uruguay y Sudáfrica/Namibia que van desde 126 hasta 137 Ma (Rabinowitz y Labrecque, 1979). La apertura representó una compleja combinación de rift, fallas activas y gran actividad volcánica en el Océano Atlántico, según Franke *et al.*, (2007). Las etapas del rifting fueron episódicas provocando voluminosas extrusiones del manto, como consecuencia se formaron una serie de cuñas basálticas buzantes hacia el mar (SDRs) (Hinz *et al.*, 1999) dando lugar a la identificación de los alineamientos magnéticos de la serie M (M4-M0 del lado argentino y M11-M0 del lado africano de aproximadamente 130 a 114 Ma) (Rabinovich y LaBrecque, 1979).

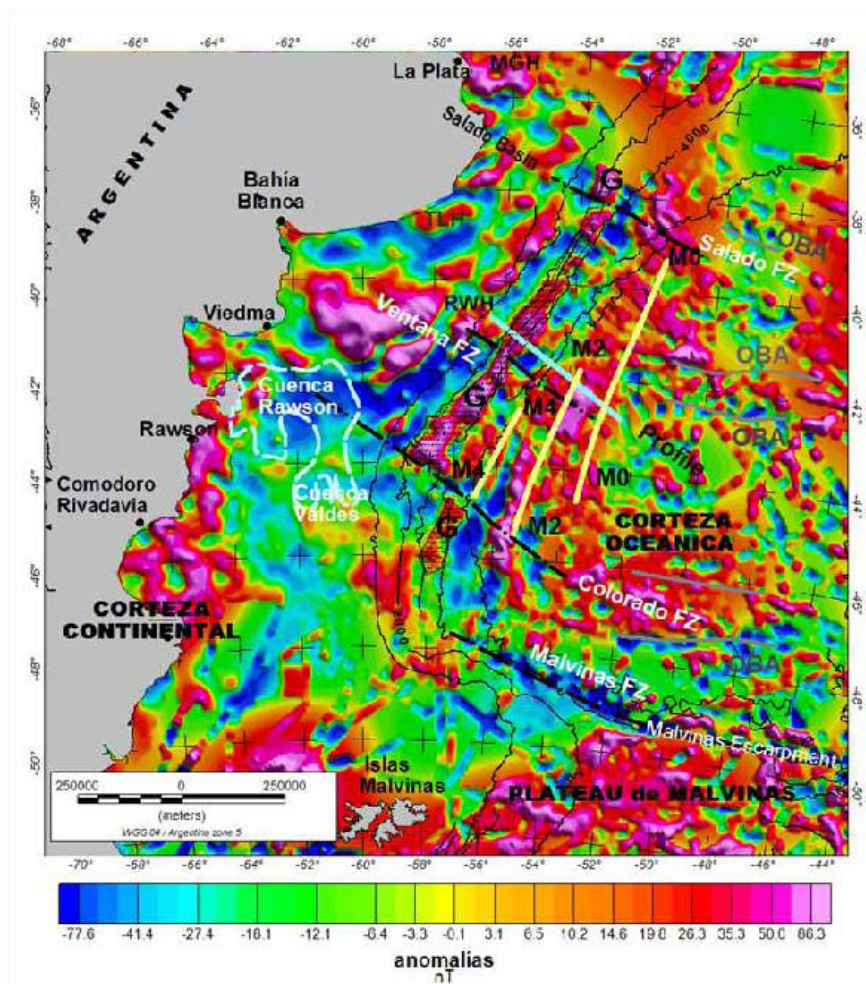
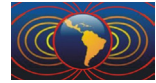


Figura 1. Mapa de las anomalías magnéticas de Campo Total. Se destacan la zona del máximo de la anomalía magnética G y las alineaciones magnéticas M0, M2 y M4.



La estructura y evolución tectónica de la región han sido descritas por Ramos (1996) y Urien y Zambrano (1996). Este margen continental puede considerarse como del tipo de márgenes pasivos de placa inferior (*lower plate passive margin*, LPPM) correspondiendo la placa superior (*upper plate pasive margin*, UPPM) al margen conjugado africano (Ramos, 1996).

En el área de estudio, el rasgo principal es el desarrollo submeridiano del sistema de rift subparalelo al margen de la plataforma donde se puede seguir a través de la cuenca de Península Valdés y la cuenca de Rawson (Ramos, 1996). Según Hinz *et al.*, (1999) y Franke *et al.*, (2007), este tipo de márgenes continentales representan márgenes estrechos, de corteza continental gruesa con un espesor continental medio de 30 km, caracterizados por flujos de material basáltico en el talud cuñas inclinadas hacia el mar, (*seaward-deeping reflector*, SDRs) y por las intrusiones en la parte inferior de la corteza asociadas a cuerpos subplacados de alta velocidad sísmica de 7.2 a 7.6 km/s por debajo del horizonte basáltico (Menzies *et al.*, 2002) (Figura 1).

Metodología

Se aplicaron técnicas de señal analítica y ángulo tilt sobre las anomalías magnéticas de Campo Total con el propósito de demarcar la zona del límite entre las cortezas continental y oceánica (COB). Se analizaron las técnicas en el perfil cuya ubicación se observa en la Figura 1.

Señal analítica

Esta técnica ha sido desarrollada en 2D por Nabighian (1972) para aplicar al campo potencial magnético y posteriormente en 1984 el autor generalizó la señal analítica (AS) de 2D a 3D (Nabighian, 1984). En particular el módulo de la señal analítica - $|AS(x, y)|$, también llamado gradiente total (Nabighian *et al.*, 2005), ha sido usado en numerosos filtros como factor normalizador como en el mapa de Theta (Wijns *et al.*, 1994). La amplitud del módulo de la SA, en 3D, está dada por la expresión (1).

$$|AS(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

donde $\square M(x, y)$ representa las anomalías magnéticas de Campo Total.

Ángulo Tilt

El ángulo *tilt*, introducido por primera vez por Miller y Singh (1994), es la relación de la primera derivada vertical del campo potencial con el gradiente horizontal y está diseñado para mejorar uniformemente las características sutiles y prominentes (Nabighian *et al.*, 2005). El ángulo *tilt* denominado TDR por Verduzco *et al.*, (2004) está definido por la expresión (2).

$$TDR = \tan^{-1}\left(\frac{VDR}{THDR}\right) \quad (2)$$

donde: *TDR* es el ángulo *tilt*.

VDR y *THDR* son la primera derivada vertical y el módulo del gradiente horizontal respectivamente de las anomalías magnéticas de Campo Total según (3) y (4):

$$VDR = \frac{\partial M}{\partial z} \quad (3)$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

donde: *VDR* puede ser positivo o negativo y *THDR* es siempre positivo. La magnitud del ángulo *tilt* pasa por cero cuando se encuentra por encima del borde de la fuente (contacto) (Verduzco *et al.*, 2004).

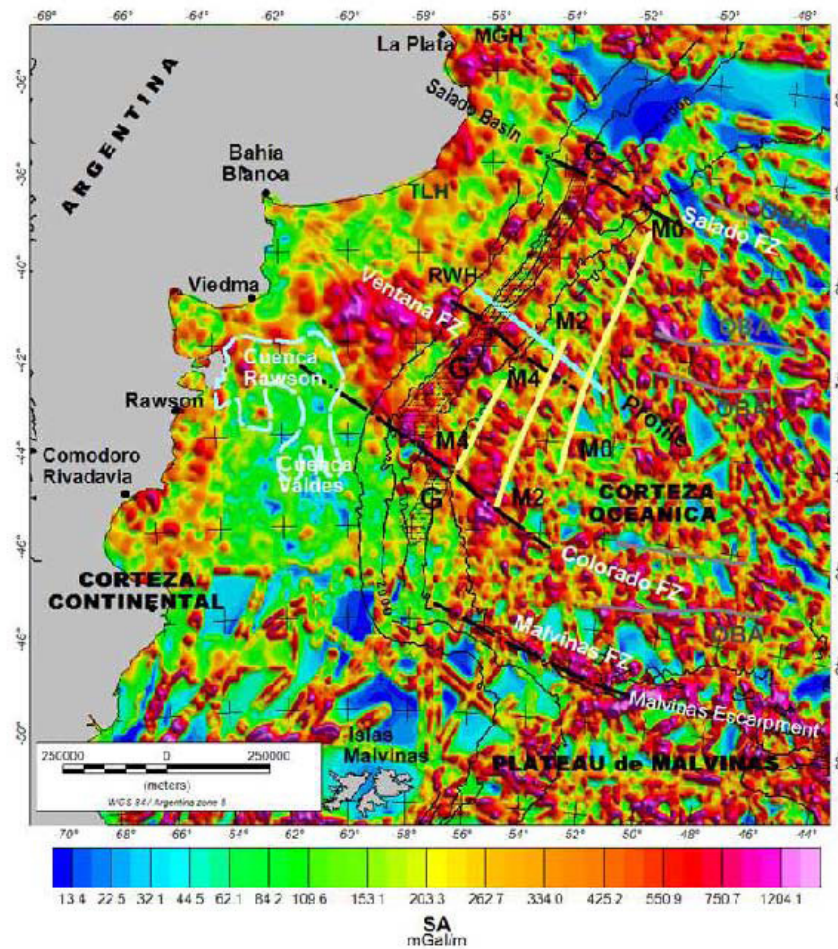
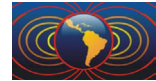


Figura 2. Mapa de la señal analítica. Se muestran los rasgos estructurales más relevantes, las Zonas de Fractura Malvinas, Colorado, Ventana y Salado y los altos estructurales de Martín García, Tandil y Rawson.

Resultados

Aplicación de la Señal analítica

En el mapa de la Figura 2 se aprecia la alineación de la anomalía magnética G relacionada con el máximo de la anomalía gravimétrica isostática (Rabinovich y LaBrecque, 1979) y alineaciones de menor amplitud paralelas al margen. La señal analítica, aplicada a las anomalías de Campo Magnético Total, resulta eficiente para mostrar las áreas donde se producen cambios de susceptibilidades magnéticas; en este caso particular, muestra un área relacionada con el área de los SDRs, que se interpreta como la zona del borde entre las cortezas continental y oceánica, donde es sub-paralela al margen (Figura 2).

Si bien lo más destacado en el mapa de la señal analítica es el borde continental, también se aprecian otros elementos estructurales como los altos de Martín García (MG), Tandil (TD) y Rawson (RW) y además, se pueden ubicar las ZFT del Colorado, Ventana y Salado a partir de la discontinuidad de la alineación de amplitudes máximas que se interrumpe al atravesar dichas zonas de fractura.

Aplicación del Ángulo tilt

A partir de la observación del mapa de la Figura 3 se diferencian dos grandes áreas por la frecuencia de su respuesta, la correspondiente a la corteza continental muestra respuesta en baja frecuencias mientras que el área de la corteza oceánica altas frecuencias.

Por otra parte, el *tilt* es sensible a alineaciones sub-meridionales relacionadas con la apertura del margen, marcadas en el mapa como las zonas de fractura Malvinas, Colorado o Salado.

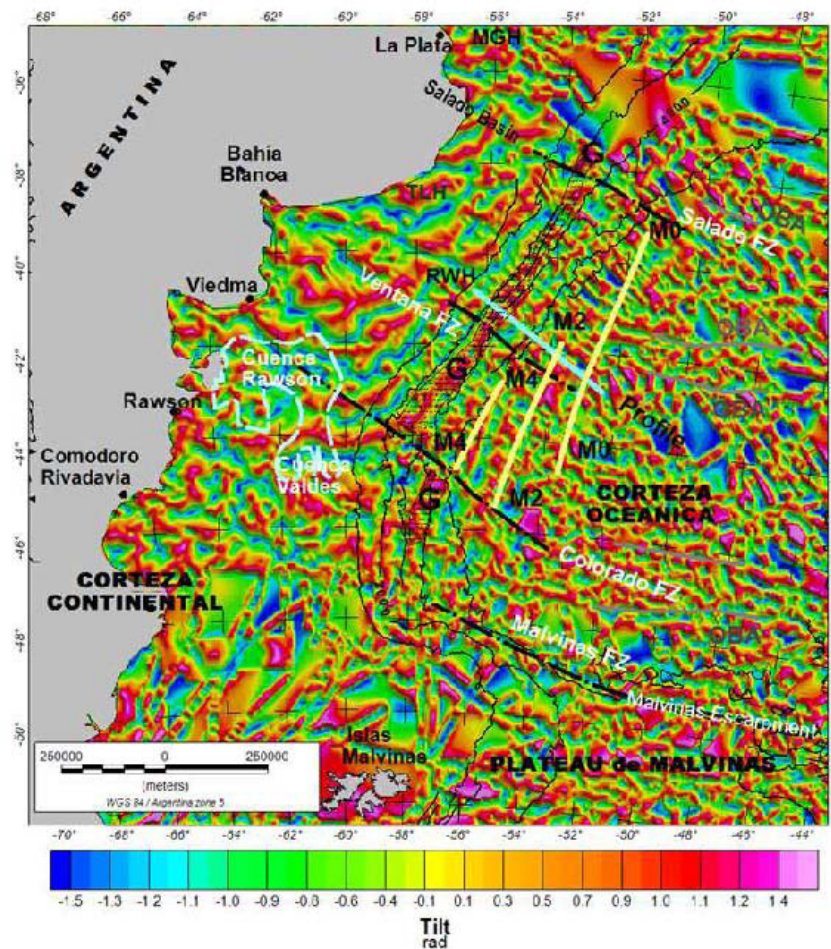
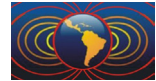


Figura 3. Mapa del ángulo tilt aplicado a las anomalías magnéticas de Campo Total.

Se pueden ver numerosos pasajes por cero con una alineación general noroeste-sudoeste, paralela al margen continental. En particular entre los 43° S y 44° S se pueden observar contactos bien nítidos a partir de la respuesta de alta frecuencia.

Comparación con modelo 2D

En este trabajo se compararon, con un modelo gravimétrico 2D (tomado de Arecco *et al.*, 2014), las respuestas de las anomalías magnéticas, la señal analítica y el ángulo tilt, los resultados se representan en la Figura 4. En el perfil de la Figura 4, el ángulo tilt magnético se marcó con una línea punteada el pasaje por cero indicando el COB, esto concuerda con un máximo relativo de la señal analítica magnética, ubicado a los 56.25° W de longitud.

Discusión y conclusiones

Se observa una variación lateral en la conformación de la corteza continental y oceánica a través de las respuestas del filtrado del Campo Magnético Total: i) la señal analítica muestra en cada una de los máximos relativos contactos entre cuerpos de distinta susceptibilidad magnética, y ii) el tilt acompaña dichos máximos con pasajes por cero. En particular un máximo relativo de la señal analítica (Máx) coincide con el pasaje por cero del ángulo tilt, indicando el contacto entre la corteza de transición y la oceánica (COB). A la vez el espesor cortical alcanza valores típicos de corteza oceánica.

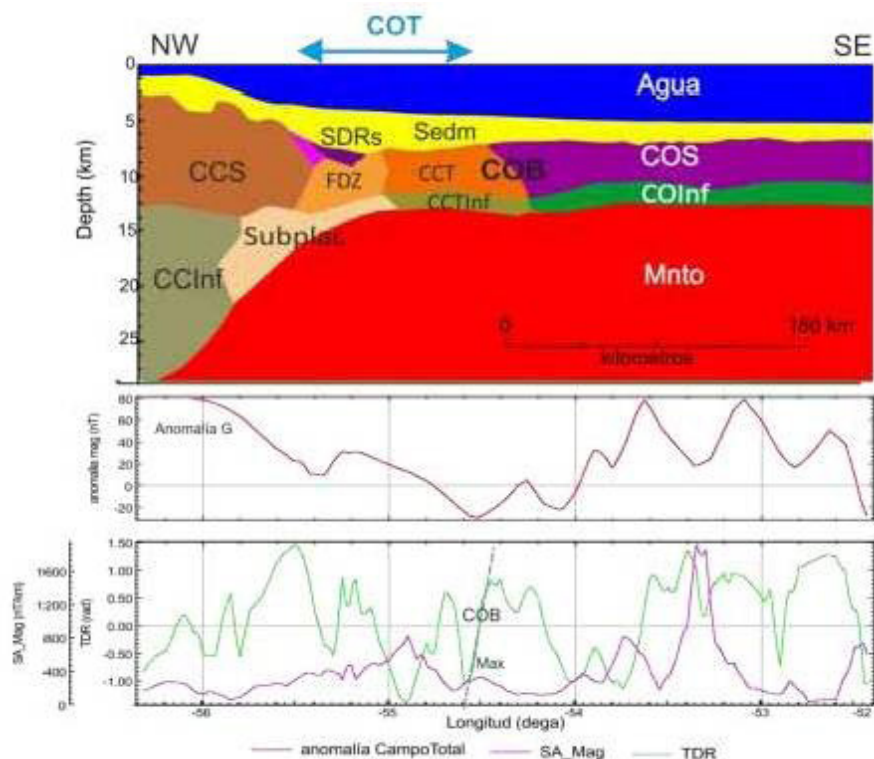
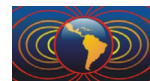


Figura 4: Modelo gravimétrico 2D (modificado de Arecco *et al.*, 2014), anomalías magnéticas de Campo Total y técnicas de realce. La ubicación del COB en el modelo concuerda las técnicas de realce.

Estos resultados están de acuerdo con estudios previos realizados en la región del margen basados tanto en métodos sísmicos como gravimétricos (*e.g.* Franke *et al.*, 2007; Arecco *et al.*, 2014).

La mayor parte del adelgazamiento se produce en la corteza de transición continental-oceánica, en la cual se ubican los SDRs (anomalía G), el mayor espesor sedimentario y parte de la zona de diques de alimentación.

Agradecimientos:

Agradecemos a las siguientes instituciones: al Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, IGGA, de la Facultad de Ingeniería de la UBA. , al Instituto Geofísico Sismológico Volponi, de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan y al Instituto Universitario Naval, INUN, que financia este trabajo a través del Proyecto PID, B-ESCM-01/15 “Caracterización Geofísica y Geodésica de la Plataforma, Borde Continental y Cuenca Argentina a Través del Análisis de Datos Oceanográficos y Métodos Potenciales en El Atlántico Sur (60°W - 40°W)”.

Referencias

Arecco M.A., Pizarro, G., Ruiz, F., 2014. Aplicación del método gravimétrico en el margen argentino. *Geoacta*, 39 (1), 25-34.

Franke, D., Neben, S., Ladage, S., Schreckenberger, B., Hinz, K., 2007. Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic, *Marine Geology*, 244 (1-4), 46-67.

Hinz, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Roeser, H. A., Block, M., Goncalves De Souza, K., Meyer, H., 1999. The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup, *Marine and Petroleum Geology*, 16, 1-25.



- Lefort J. P., Max M. D., Roussel J., 1995. The north-west boundary of Gondwanaland and its relationship with two satellite sutures Geophysical evidence. Evolution of the Caledonide-Appalachian Orogen. *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.*, 38, 49-60.
- Max M. D., Ghidella M., Kovacs L., Paterlini M., Valladares J. A., 1999. Geology of the Argentine continental shelf and margin from aeromagnetic survey. *Marine and Petroleum Geology* 16, 41-64.
- Menzies, M. A., Klemperer, S. L., Ebinger, C. J., Baker, J., 2002. Characteristics of volcanic rifted margins, in Menzies, M. A., Klemperer, S. L., Ebinger, C. J., and Baker, J., eds., *Volcanic Rifted Margins: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 362*, 1–14.
- Miller, H. G., Singh, V., 1994. Potential field tilt-A new concept for location of potential field sources. *J. Appl. Geophys*, 32, 213–217.
- Nabighian, M. N., 1972. The Analytic Signal of Two-dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross Section: Its Properties and Use for Automated Interpretation, *Geophysics*, 37, 507–517.
- Nabighian, M. N., 1984. Toward a Three-dimensional Automatic Interpretation of Potential Field Data 6ia Generalized Hilbert Transforms: Fundamental Relations, *Geophysics*, 49, 780–786.
- Nabighian, M. N., Grauch, V. J. S., Li, Y., Peirce, J. W., Phillips, J. D., and Ruder, M. E., 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70, 6, P33ND-61ND.
- Rabinowitz, P. D., LaBrecque, J., 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins, *J. Geophys. Res.*, 84, 5973–6002.
- Ramos, V. A., 1996. Evolución tectónica de la Plataforma Continental, Geología y Recursos de la Plataforma Continental, Ramos, V. y Turic, M. (Eds.), Relatorio del XIII° Congreso Geológico Argentino y III° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Asociación Geológica Argentina e Instituto Argentino del Petróleo y el Gas: 385-404.
- Urien, C. M., Zambrano, J. J., 1996. Estructura del margen continental. In: Ramos, V., Turic, M. (Eds.), Geología y recursos naturales de la plataforma continental Argentina. Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, Argentina, pp. 29–65.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge* February: 116-119.
- Wijns, C., Perez, C., Kowalczyk, P., 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data: *Geophysics*, 70, 4, L39–L43.