

EVIDENCIA MAGNÉTICA EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE ACRECIÓN DEL TERRENO PATAGONIA CON GONDWANA.

María A. Arecco^{1,2*}, Patricia A. Larocca¹, Francisco, Ruiz³, Armando T. Canero⁴,
Víctor A. Ramos⁵

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Av. Las Heras 2214, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad de la Defensa, Instituto Universitario Naval, Escuela de Ciencias del Mar, Av. Antártida Argentina 821, Buenos Aires, Argentina.

³ Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Instituto Geofísico Sismológico, Ruta 12 Km 17, Rivadavia, San Juan, Argentina.

⁴ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Física, Paseo Colón 850, Buenos Aires, Argentina.

⁵ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Estudios Andinos -CONICET, Intendente Güiraldes 2160, Buenos Aires, Argentina.

*e-mail: marecco@fi.uba.ar

ABSTRACT

In this paper, new total magnetic anomaly (TMA) data from oceanographic surveys are presented and classic enhancement techniques were applied to provide information on potential sutures between Patagonia and South America in the continental shelf. The results of the application of the analytical signal and the tilt angle - in 3D - are reported. In order to know the depths of the sources that give rise to the anomalies, the 2D Euler deconvolution and a 2D gravimetric inversion model across to the offshore edge of NE of the Patagonia were calculated. A regular grid was elaborated with the TMA data from shipboard and the EMAG2 global grid. The analytic signal method showed high contrast between the Río de la Plata craton and Patagonia block, revealing the connection between the northern magmatic arc of Patagonia - in the continental crust - with the Colorado Fracture Transfer Zone in the oceanic crust; this feature coincides with the NE boundary of Patagonia. The 2D Euler deconvolution method allowed computing the sources depth of the conspicuous Tona anomaly from 12000 m to 20000 m. Besides, the NE-trending profile based on a 2D gravimetric inversion model, allowed the identification of a mafic body along the Patagonia-Gondwana offshore boundary. This body could be an imbrication of the mafic-ultramafic rocks in contact with metamorphic basement rocks. The tilt angle showed contacts with different directions on both sides of the anomaly on the NE edge offshore with Gondwana, denoting an accretion of two blocks of distinct origin.

Keywords: Patagonia Terrane; Tona magnetic anomaly; magnetometry; analytic signal; Euler deconvolution.

RESUMEN

En este trabajo se presentan nuevos datos de anomalías magnéticas totales (TMA) provenientes de estudios oceanográficos y se aplicaron técnicas clásicas de resalto para proporcionar información sobre potenciales suturas entre Patagonia y Sudamérica en la corteza continental. Se reportan los resultados de la aplicación de la señal analítica y el ángulo *tilt* - en 3D. Con el fin de conocer las profundidades de las fuentes que dan origen a las anomalías, se calculó la deconvolución 2D de Euler y un modelo de inversión gravimétrica 2D en el borde *offshore* del NE de la Patagonia. Se elaboró una grilla con los datos oceanográficos y de la grilla global EMAG2, de modo que, el modelo resultante posea celdas uniformes y regulares. El método de la señal analítica mostró un alto contraste entre el cratón del Río de la Plata y el bloque Patagonia, revelando la conexión entre el arco magmático septentrional de la Patagonia, en la corteza continental, con la Zona de Transferencia de Fractura de Colorado en la corteza oceánica; esta característica coincide con el límite NE de la Patagonia. El método de deconvolución de 2D Euler permitió calcular la profundidad de las fuentes de



la conspicua anomalía Tona desde 12.000 m a 20.000 m. Un perfil de orientación N-E, basado en un modelo de inversión gravimétrico 2D, permitió la identificación de un cuerpo máfico-ultramáfico en contacto con rocas del basamento metamórfico a lo largo del borde offshore Patagonia-Gondwana. El ángulo *tilt* mostró contactos con direcciones diferentes a un lado y al otro del borde NE *offshore* con Gondwana, denotando una acreción de dos bloques de distinto origen.

Palabras Clave: Terreno Patagonia; anomalía magnética Tona; magnetometría; señal analítica; deconvolución de Euler.

1. Introducción

El origen del terreno Patagonia es un tema controversial; durante el siglo XX han persistido dos hipótesis contrarias, una sugiere que la Patagonia siempre ha sido parte de Gondwana (Dalla Salda *et al.*, 1990) y la otra que es un terreno alóctono y que ha colisionado con Gondwana (Ramos, 2008). El estudio de los campos potenciales, como la gravedad y el magnetismo, pueden jugar un rol importante en el estudio de las estructuras de la corteza, incluyendo las formaciones antiguas y profundas. Los estudios llevados a cabo por Max *et al.* (1999), caracterizando dominios magnéticos, no encontraron las fuentes que producen la anomalía positiva Tona.

Utilizando la metodología sugerida por Arecco *et al.* (2016 *b*) para la determinación de la ubicación de estructuras profundas, se aplicaron los filtros señal analítica (SA) y el ángulo *tilt* (TDR); la SA permite resaltar los cambios de susceptibilidad de fuentes superficiales, mientras el TDR, que es un filtro ecualizador, tiende a igualar la amplitud de las anomalías, tanto someras como profundas. Además, se utilizaron la deconvolución de Euler y el modelado gravimétrico de inversión 2D que permitieron calcular la profundidad de las fuentes de las anomalías y recrear un modelo tectónico de la zona de estudio. De modo que aplicando múltiples métodos a una misma área se mejora la credibilidad de los resultados. Para este trabajo se han utilizado datos de campañas oceanográficas cedidas por la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental y se han completado con la grilla global EMAG2 (Meyer *et al.*, 2016) disponible en <https://data.noaa.gov/dataset/emag2-earth-magnetic-anomaly-grid-2-arc-minute-resolution>.

2. Marco geológico

La configuración estructural de la plataforma continental argentina está conformada por dos grandes bloques, al norte por el cratón del Río de la Plata y al sur por el terreno Patagonia. El cratón del Río de la Plata es el resultado de la amalgama de diferentes bloques continentales que se han fusionado durante eventos orogénicos paleoproterozoico entre de 2100 a 1900 Ma (Varela *et al.*, 1988). Este cratón limita al sur con la cuenca del Colorado.

El terreno Patagonia ha sido considerado una micro placa independiente de Gondwana, que en el lapso Paleozoico Temprano-Medio sufrió una colisión frontal con Gondwana, produciendo una faja plegada en el sistema de Ventania al SW de la provincia de Buenos Aires (Ramos *et al.*, 2014). Al SW de dicha faja, se interpreta una zona de deformación, como la parte interna de un orógeno del Paleozoico Superior, que la aplicación de filtros matemáticos a la grilla de anomalías magnéticas sugiere que corresponde con una discontinuidad abrupta en la porción noreste de la Patagonia, como se trata posteriormente.

3. Metodología

La señal analítica (SA) fue desarrollada en 3D por Nabighian (1984), esta técnica muestra a través de máximos relativos zonas donde se producen contactos entre cuerpos de distinta susceptibilidad magnética. La amplitud del módulo $|SA|$ está dada por (1),



$$|SA| = \sqrt{\left(\frac{dTMA}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dTMA}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dTMA}{dz}\right)^2} \quad (1)$$

donde $dTMA/dx$, $dTMA/dy$ son las derivadas horizontales y $dTMA/dz$ es la derivada vertical del TMA.

El ángulo *tilt* (TDR) en una técnica introducida por Miller y Singh (1994) para detectar contactos, permite apreciar fuentes más profundas que la SA por tratarse de un filtro de ganancia. La expresión del TDR está dada por la expresión (2),

$$TDR = \tan^{-1} (VDR / THDR), \quad (2)$$

donde VDR y $THDR$ son respectivamente las derivadas horizontal y vertical del TMA . Donde TDR es cero, este indica un borde o contacto.

La deconvolución de Euler en 2D se basa en la resolución de la ecuación homogénea de Euler (Thompson, 1982) dada por la expresión (3),

$$(x - x_0) \frac{\partial TMA}{\partial x} + (z - z_0) \frac{\partial TMA}{\partial z} + \eta TMA = 0 \quad (3)$$

donde (x_0, z_0) es la solución de la ecuación; η es el índice estructural (SI), que está relacionado formas geométricas simples de la fuente (0.5= falla; 1= dique; 2= dipolos; 3 esfera).

Para superar el problema de la ambigüedad en los modelos de inversión, se usó información sísmica de Franke *et al.* (2006) y Ewing *et al.* (1964). Para la inversión se utilizó el programa Grav-Modeler basado en el algoritmo de Talwani *et al.* (1959). En el modelado gravimétrico 2D se asumieron bloques corticales simples basados en trabajos previos en la zona llevados a cabo por Ramos *et al.* (2014).

4. Resultados

El filtro de señal analítica resalta las fuentes más someras y superficiales enmascarando las fuentes profundas, de modo que principalmente se observan cambios de susceptibilidad en el basamento cristalino magnetizado. La SA (Fig. 1) muestra una gran diferencia en los patrones de amplitudes y frecuencias a un lado y al otro del borde NE de Patagonia. Mientras que al norte de este límite se muestran conspicuos los altos de basamento de Tandil y Martín García y las anomalías G (Rabinovich, LaBecque, 1979) y Tona (Ghidella *et al.*, 1995), al sur de este límite las amplitudes caen abruptamente a excepción de una alineación *offshore* cuyas amplitudes se muestran alineadas con el arco magmático septentrional del terreno Patagonia.

La anomalía magnética Tona y la anomalía G fueron cartografiadas nuevamente según datos modernos. La anomalía G coincide con las cuñas buzantes (SDR) hacia el mar (Hinz *et al.*, 1999) a excepción de la zona al sur del borde NE de Patagonia

A partir de la aplicación del TDR (Fig. 2) se diferencian dos grandes áreas por su patrón de amplitudes y frecuencias en corteza continental. Al norte del límite patagónico los bordes se orientan en dirección NE y al sur del límite patagónico la orientación de los bordes es W-E. En el margen continental del cratón del Río de la Plata los bordes de las fuentes que producen la anomalía G se orientan en dirección NE al igual que las alineaciones magnéticas de fondo oceánico adyacentes por la orientación de sus respuestas, la correspondiente a la corteza continental muestra respuesta en bajas 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. Se pueden ver numerosos pasajes por cero con una alineación general noroeste-sudoeste, paralela al margen continental. En particular

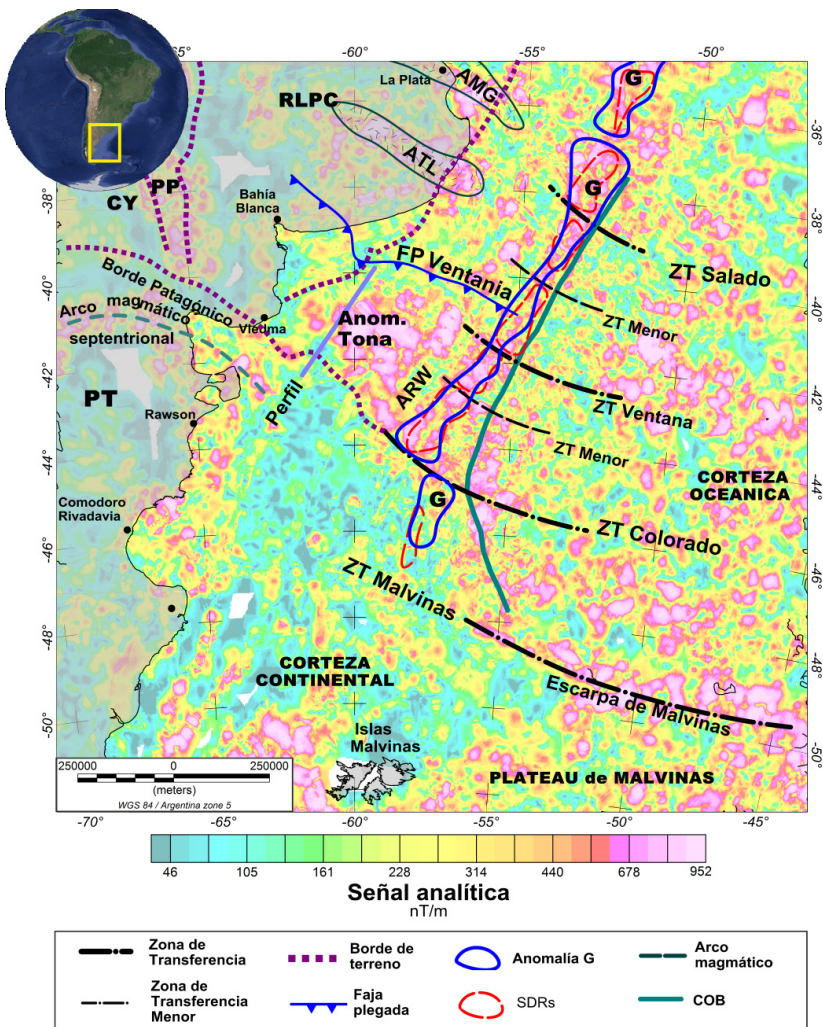
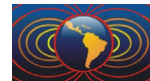


Figura 1. Señal analítica de Campo Magnético Total (TMA). La ubicación del perfil transversal a la anomalía Tona se indica en línea llena (en cian). Se delinearon las principales zonas de transferencia (líneas a trazos) (Franke *et al.*, 2007) y el COB (línea verde) (Arecco *et al.*, 2016 a); Abreviaturas: PT: terreno Patagonia; PP: terreno Pampia; CY: terreno Cuyania; COB: borde continental oceánico; G: anomalía magnética G; Anom.Tona: anomalía Tona; AMG: alto de Martín García; ATL: alto de Tandil; ARW: alto de Rawson.

entre los 43° S y 44° S se pueden observar contactos bien nítidos a partir de la respuesta de alta frecuencia.

Los resultados de la deconvolución de Euler se muestran en la Figura 3. Se efectuó la deconvolución sobre el perfil transversal a la anomalía Tona (Fig. 1), para los índices estructurales SI = 0.5 (contacto) y SI = 1 (falla). Si bien se corrieron ventanas de 12, 27 y 40 km en la Figura 3 se muestran los resultados de 27 km. El método arrojó resultados en corteza superior compatibles con fallas y la sutura Patagonia-Gondwana. En el perfil se graficó la profundidad de la cuenca del Colorado (línea a trazos) y se interpretaron soluciones como las profundidades de estructuras correspondientes a la sutura Patagonia-Gondwana, estructuras del SO de Gondwana y sedimentos paleozoicos y contactos de la fuente de la anomalía Tona.

El modelo gravimétrico 2D (Fig. 4) está basado en una sección estructural a través de los gondwanides del norte de Patagonia presentado por Ramos *et al.* (2014), del cual se tomó la sutura Patagonia-Gondwana, una alternancia de capas sedimentarias del Paleozoico con granitos de Gondwana (cuñas de acreción?), y fallas de despegue generadas durante la fase de acreción. (Además, el modelo gravimétrico tomó la profundidad del Moho controlado por sismica de Arecco *et al.*, (2016 a). El modelo gravimétrico por inversión ajustó la gravedad calculada a la observada con menos de 2.5 mGal de diferencia, mostrando el terreno Patagonia (izq.)

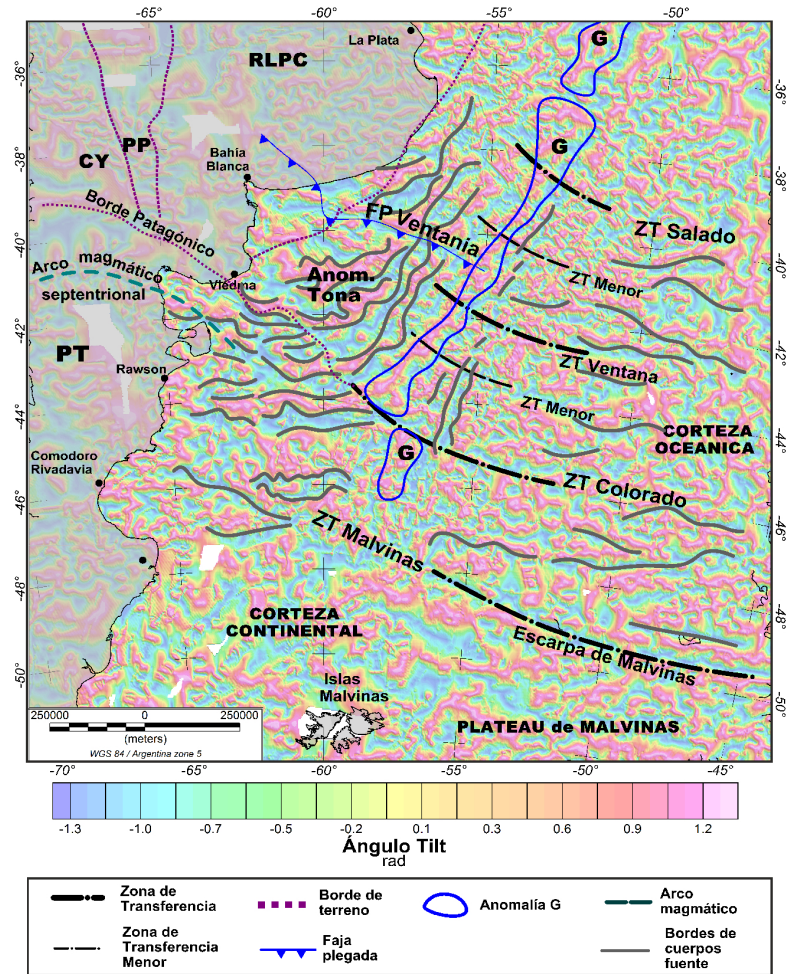


Figura 2. Ángulo tilt (TDR) de Campo Magnético Total (TMA). El valor cero indica los bordes de los cuerpos fuente, están resaltados con líneas continuas (líneas en gris)

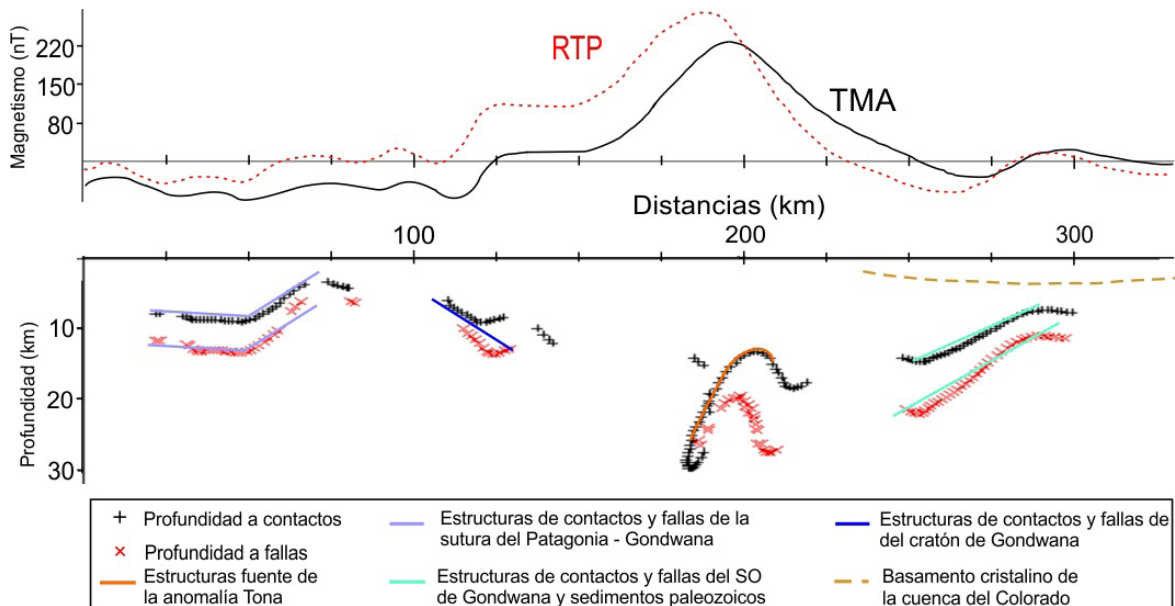


Figura 3: Deconvolución de Euler de un perfil transversal a la anomalía Tona (ver Fig. 1). Arriba: anomalías magnéticas (TMA) y su reducción al polo (RTP); Abajo: soluciones de Euler.



5. Discusión y conclusiones

Uno de los resultados relevantes del presente análisis basado en la señal analítica y el ángulo tilt es la expresión del arco magmático Paleozoico al norte de Patagonia. Este arco, del Paleozoico tardío, se relaciona con el desplazamiento hacia el norte del terreno de Patagonia, antes de su colisión con el Gondwana occidental. Esta zona de debilidad controló el desarrollo de la cuenca de Colorado durante el Mesozoico y pudo haber controlado la extensión en la corteza oceánica de la Zona de Fracturas de Colorado.

El modelo de inversión gravimétrica 2D permitió la identificación de un cuerpo máfico-ultramáfico a lo largo de la sutura Patagonia-Gondwana hasta casi la superficie. Este cuerpo podría ser una imbricación de la sutura localizada en las rocas del basamento.

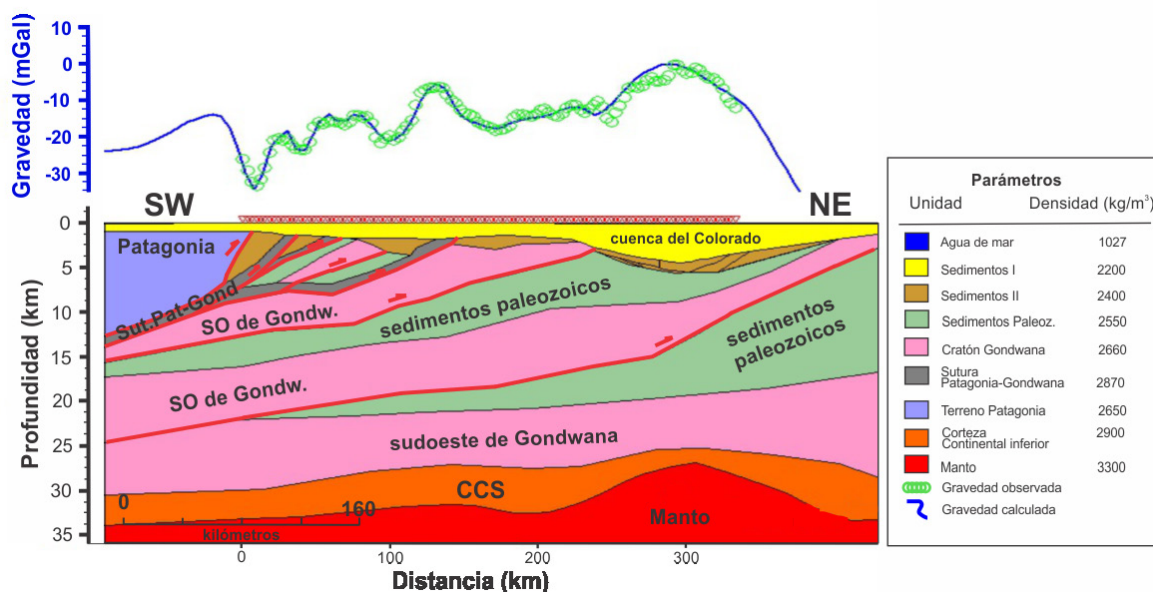
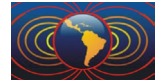


Figura 4: Modelo gravimétrico 2D y modelo estructural. Abreviaturas: **Sut. Pat-Gond:** Sutura Patagonia-Gondwana; **CCI:** corteza continental inferior.

Agradecimientos: a las siguientes instituciones, al Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, al Instituto Geofísico Sismológico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, a la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental por facilitar medios, datos e información y al Instituto Universitario Naval por financiar este trabajo a través del Proyecto PID, B-ESCM-016/16, Caracterización geofísica y geodésica de la plataforma y borde continental a través del análisis de datos oceanográficos y métodos potenciales en el Atlántico Sur (60°W - 40°W).

Referencias

- Arecco, M.A. *a.*, Ruiz, F., Pizarro, G., Giménez, M. Martínez, M.P., Ramos, V.A., 2016. Gravimetric determination of the continental–oceanic boundary of the Argentine continental margin (from 36°S to 50°S), *Geophys. J. Int.* 204, 366–385.
- Arecco, M.A. *b.*, Larocca, P.A., Oreiro, F., Pizarro, G., Ruiz, F., 2016. 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, in Fourth Biennial Meeting of Latinmag, Sao Paulo, Brasil, 6, A03, São Paulo, Brasil, noviembre 2015.



- Dalla Salda, L., Cingolani, C., Varela, R., 1990. The origin of Patagonia. *Comunicaciones, Una revista de geología andina* 41, 55-61.
- Ewing, M., Ludwig, W.J., Ewing, J.I., 1964. Sediment Distribution in the Oceans: The Argentine Basin, *J. Geophys. Res.* 69, 10, 2003–2032.
- 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.
- Franke, D., Neben, S., Schreckenberger, B., Schulze, A., Stiller, M., Krawczyk, C.M., 2006. Crustal structure across the Colorado Basin, offshore Argentina, *Geophys. J. Int.* 165, 850–864.
- Ghidella, M.E., Paterlini, M., Kovacs, L.C., Rodríguez, G. 1995. Magnetic anomalies on the Argentina Continental Shelf, in: 4th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and 1st Latin American Geophysical Conference. Expanded abstracts, 269–272, Río de Janeiro.
- 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.
- 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.
- Meyer, B., Saltus R., Chulliat A., 2016. EMAG2: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution) Version 3. National Centers for Environmental Information, NOAA. Model. doi:10.7289/V5H70CVX.
- 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., 1984. Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations, *Geophysics* 49, 780–786.
- Nabighian, M.N., Grauch, V.J.S., Li, Y., Peirce, J.W., Phillips, J.D., 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., 2008. Patagonia: A paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences* 26, 235–251.
- Ramos, V.A., Chemale, F., Naipauer M., Pazos, P.J. 2014. A provenance study of the Paleozoic Ventania System (Argentina): Transient complex sources from Western and Eastern Gondwana. *Gondwana Research* 26, 719-740.
- Talwani, M., Worzel, J.L., Landisman, M., 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, *J. Geophys. Res.* 64, 1, 49–59.
- Thompson, D.T., 1982. EDULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics* 47, 1, 31–37.
- Varela, R., Cingolani, C., Dalla Salda, L., 1988. Geocronología Rb-Sr en granitoides del basamento de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina, in Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 291-305, Bahía Blanca, Argentina, mayo 1988..