

APLICACIÓN DEL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN EL MARGEN ARGENTINO

GRAVIMETRIC METHOD APPLICATION IN THE ARGENTINE MARGIN

María Alejandra Arecco^{1,2}, Guillermo Pizarro^{3,4}, Francisco Ruiz³

¹ Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas. Fac. de Ingeniería, Univ. de Buenos Aires. Argentina.

² Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa. Argentina.

³ Instituto Geofísico-Sismológico Volponi (IGSV), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

⁴ Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

E-mail: marecco@fi.uba.ar

RESUMEN

La detección de cuñas basálticas reflectoras inclinadas hacia el mar (seaward-dipping reflectors, SDRs) fue un hallazgo significativo para determinar el borde del margen pasivo volcánico argentino, ya que permite establecer la naturaleza continental de la corteza que los contiene. En este trabajo, se desarrolla una herramienta que permite mostrar la extensión natural del continente y la ubicación del borde entre la corteza continental y oceánica (COB). Se implementaron dos procesos diferentes sobre las anomalías gravimétricas: i) la aplicación de filtros y técnicas de resalto a las anomalías de Bouguer (AB) y ii) el modelado gravimétrico 2D. En el primer proceso se aplicaron: la señal analítica (SA), el ángulo tilt (TDR) y el gradiente horizontal del ángulo tilt (TDR_THDR). En el segundo, se realizó un modelado gravimétrico 2D. El modelo 2D permite una clara visualización de las complejas estructuras en el margen. El análisis conjunto del modelaje 2D y las características de las curvas obtenidas desde las técnicas de resalto han permitido identificar el COB y extrapolarlo a todo el margen para su clara delimitación.

Palabras clave: Señal analítica, tilt, derivada del tilt, COB, modelo gravimétrico 2D.

ABSTRACT

The detection of the reflector basalt wedges inclined towards the sea (seaward-dipping-reflectors, SDRs) was a significant finding to determine the edge of the Argentine passive volcanic margin, one that allows determining the continental nature of the crust that contains them. This research develops a tool to demonstrate the natural extension of the continent and the location of the continental and oceanic crust boundary (COB). We implemented two different processes for gravimetric anomalies: i) the application of filters and enhancement techniques to Bouguer anomalies (BA), and ii) 2D gravity modeling. In the first process is applied using the analytical signal (AS), the tilt angle (TDR) and the horizontal gradient of the tilt angle (TDR_THDR). In the second process, we generated a 2D gravity model that allowed for a clear visualization of complex structures in the margin. A joint analysis of 2D modeling and characteristics of the curves obtained from enhancement techniques have identified the COB and extrapolated it to the entire range for its clear delineation.

Keywords: Analytic Signal, tilt, TDR_THDR, COB, 2D gravimetric model.

INTRODUCCIÓN

La formación del margen continental argentino, desde 36° S hasta 50° S, se inició aproximadamente en el período Cretácico inferior (~130 Ma) durante la apertura del súper continente Gondwana, la cual tuvo lugar de sur a norte, con aperturas aparentes entre Argentina/Uruguay y Sudáfrica/Namibia (~desde 126 hasta 137 Ma). Esta apertura supuso una compleja combinación de rift y fallas, antes y durante la ruptura del Atlántico meridional, la cual fue acompañada de intensa actividad volcánica (White y Mckenzie, 1989; Hinz et al., 1999; Franke et al., 2007) y una posterior expansión del fondo oceánico. En particular el margen continental argentino, en la zona de estudio, está compuesto por dos tipos de márgenes uno es de tipo pasivo volcánico (MPV) y otro es de tipo cizallado (MCZ). El primero está caracterizado por: i) ser estrecho, entre 60 y 120 km, ii) presentar cuñas basálticas inclinadas hacia el mar (Hinz et al., 1999, iii) poseer cuerpos sub-placados de alta velocidad (7.8-8 km/s) (Schnabel et al., 2008), cuencas de rift y aulacogénicas (Ramos, 1996) y iv) presentar fracturas de

transferencia (Franke et al., 2007). El segundo está caracterizado por: i) una extensa escarpa (1100 km) correspondiente a la zona de falla de Malvinas-Agulhas (Ramos, 1996) con un rechazo de aproximadamente 2000 m, ii) una zona de fractura de transferencia que separa dos basamentos, uno alto y liso hacia el sur y el otro bajo y rugoso hacia el norte, en coincidencia con máximas profundidades al lecho marino y iii) el extremo sur de la cuenca Argentina.

En este trabajo, se presenta la aplicación del método gravimétrico sobre las anomalías gravimétricas a partir de la aplicación de técnicas de resalto a las anomalías de Bouguer y el modelado gravimétrico 2D, con el objetivo de mostrar la extensión natural del continente y la ubicación del borde entre la corteza continental y oceánica.

ÁREA DE ESTUDIO

La zona estudiada comprende el margen continental argentino entre 35° S hasta 52° S y 60° O hasta 45° O, es decir, desde el Río de la Plata hasta la escarpa de Malvinas y desde el borde de la plataforma hasta más allá del talud y emersión continental. En esta zona se ven involucrados dos tipos de márgenes continentales de distintas características: uno es del tipo pasivo volcánico (MPV) que se desarrolla en sentido NE-SW (Ramos, 1996; Hinz et al., 1999; Franke et al., 2007) y el otro es del tipo de cizalla o transcurrente (MCZ), que se desarrolla en sentido W-E aproximadamente a los 49° S sobre la Fractura de Malvinas (Rabinowitz y LaBrecque, 1979; Ramos, 1996). Dichos márgenes están incluidos en la placa sudamericana. La configuración tectónica regional del margen argentino está compuesta por varias placas tectónicas que componen los sistemas de expansión oceánica de América del Sur, África y Antártida (Ghidella et al., 2007). La Figura 1 muestra un mapa de ubicación de la zona de estudio, un mapa batimétrico (Fuente: www.geomapapp.org) y una vista en 3D (Fuente: www.topex.ucsd.edu).

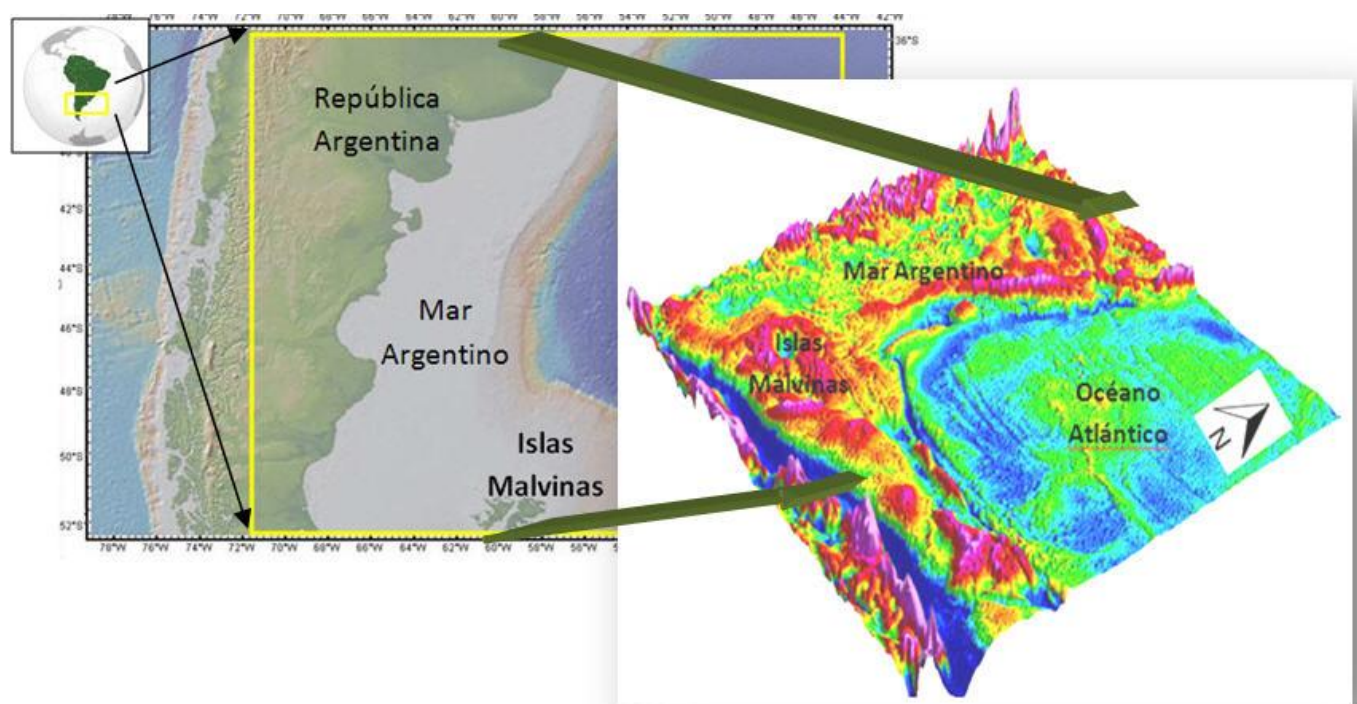


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Batimetría de la Plataforma Continental Argentina (ETOPO2v2). Derecha, grilla en 3D de las anomalías de aire libre (AAL) basadas en altimetría satelital de la zona en estudio (Sandwell y Smith, 2009).

Figure 1. Location map of the studied area. Bathymetry of the Argentine Continental Shelf (ETOPO2v2). Right 3D grid of free air anomalies (FAA) from satellite altimetry of the study area (Sandwell & Smith, 2009).

DATOS Y MÉTODOS

En el presente estudio se utilizó la grilla digital de anomalías de aire libre (AAL) versión 18.1 con resolución 1x1 minuto de arco, obtenida desde el método de altimetría satelital (Sandwell y Smith, 2009). Desde las AAL se calcularon las AB corregidas por la topografía del fondo marino (AB_{CTerr}), con dicho propósito se utilizó la grilla ETOPO2v2 (www.ngdc.noaa.gov). Para normalizar las anomalías gravimétricas con el fin que sólo contengan las contribuciones de la corteza media e inferior se les descontó el efecto gravimétrico producido por las cuencas sedimentarias obteniéndose la anomalía de Bouguer con corrección geológica (AB_{CG}) (Pizarro et al., 2012). Se aplicaron sobre estas últimas anomalías gravimétricas las técnicas de resalto como la señal analítica, el tilt, y la derivada horizontal del tilt y además, se efectuó un modelo gravimétrico 2D.

Señal Analítica

Esta técnica de realce de anomalías ha sido desarrollada por Nabighian (1972; 1974) en 2D. En 1984, este autor, generalizó la señal analítica 2D al dominio en 3D y demostró que la transformada de Hilbert de cualquier campo potencial satisface las relaciones de Cauchy-Riemann.

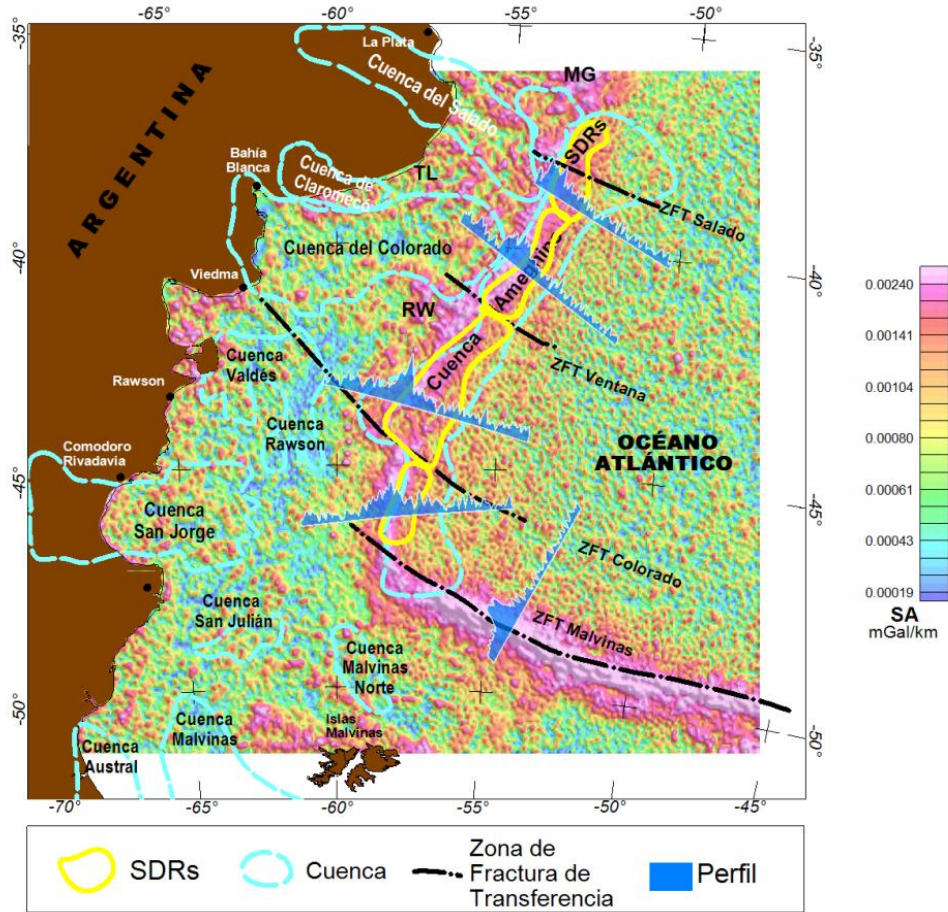


Figura 2. Mapa del módulo de la Señal Analítica (SA) y sus perfiles abatidos transversales al margen. Los perfiles (amarillo) muestran con mayor detalle las amplitudes. El borde de la corteza continental está indicado por los máximos (magenta). Las ZFT del Colorado y Malvinas desvían las alineaciones tanto de los SDRs (negro) como los máximos.

Figure 2. Map of the Analytic Signal module (AS) and transverse profiles folded down. Profiles (yellow) show in more detail the amplitudes. The edge of the continental crust is indicated by means of the maximum values (magenta). The ZFT of the Colorado and Malvinas turn aside the alignments so much of the SDRs (black) as the maximums.

Roest et al. (1992) amplió la definición de la señal analítica del campo potencial $\phi(x, y)$ medido en un plano horizontal a 3D, según lo expresa Beiki (2010) y mostró que la amplitud de la señal analítica $A(x, y)$ está dada por la ecuación (1), llamada también gradiente total por Nabighian (2005). Resulta muy útil para resaltar los bordes de las estructuras mediante las máximas amplitudes que indican la ubicación de los bordes de cuencas sedimentarias o fallamientos del basamento. Dicha técnica ha sido usada para resaltar los bordes de las estructuras de la cuenca de Bermejo y Sierra de Valle Fértil por Lince-Klinger et al. (2008) o fallas en el basamento subyacente (Lyatsky et al., 2004).

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

Dónde: $\partial \phi(x, y)/\partial x$; $\partial \phi(x, y)/\partial y$; $\partial \phi(x, y)/\partial z$ son las derivadas parciales de AB_{CG} .

La Señal Analítica en 3D, aplicada a las AB_{CG} , resulta eficiente para mostrar las áreas donde se producen cambios de densidades; en este caso particular, la franja de amplitudes máximas (colores cálidos, Figura 2)

muestra una área relacionada con la parte baja del talud continental, casi tan ancha como el área de las SDRs, en el MPV, que interpretamos como la zona del borde entre la CC y la CO, donde es sub-paralela a la costa. En forma análoga, en el MCZ, dicha franja de amplitudes máximas corre paralela a la Escarpa de Malvinas mostrando la ubicación del borde entre cortezas.

Además en el mapa de la Figura 2, se muestran sobre la plataforma a través de fajas de amplitudes máximas, más delgadas que en los márgenes continentales, los bordes costa afuera de las cuencas del Colorado, Salado, San Jorge y Austral del área de estudio.

Si bien lo más destacado en el mapa de la SA es el borde continental y los bordes de las cuencas citadas, 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.

El ángulo tilt

Esta técnica de resalto fue introducida como una nueva herramienta de interpretación para detectar contactos, por Miller y Singh (1994). Aplicada sobre la grilla de AB_{CG} según la ecuación (2) (Verduzco et al., 2004) arroja resultados más precisos de los bordes respecto de los mostrados en la SA.

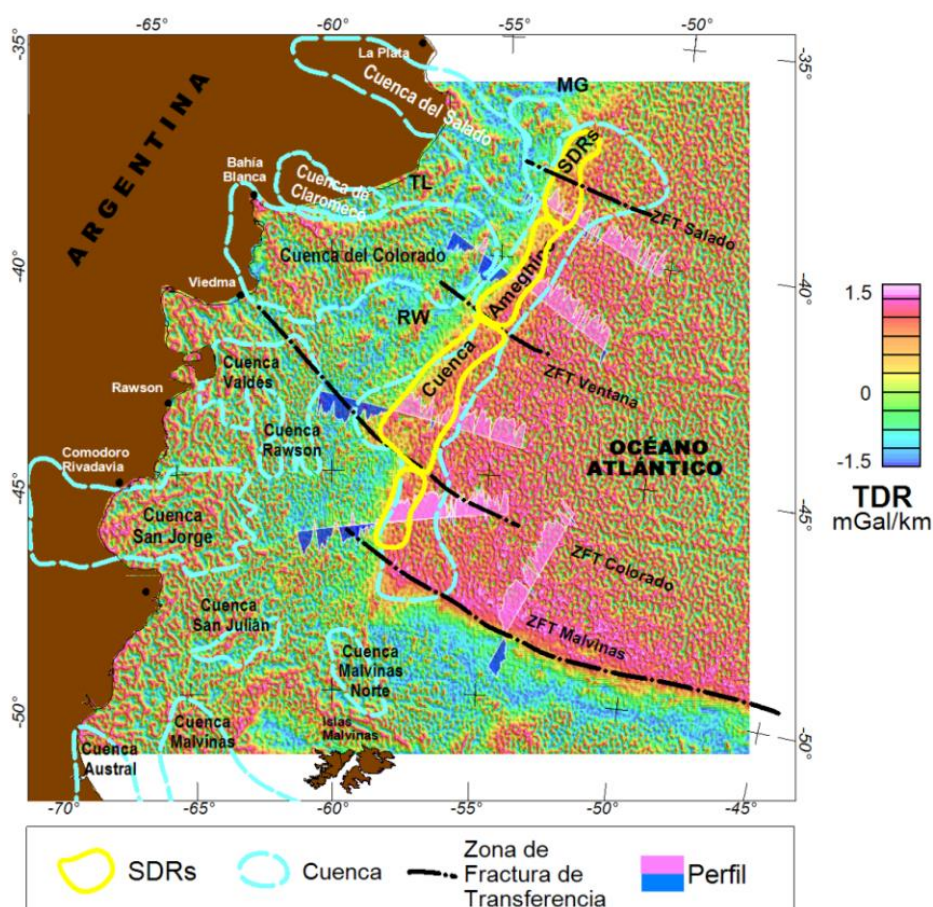


Figura 3. Mapa del tilt en el margen continental argentino y perfiles transversales. El borde continental se muestra entre valores negativos (colores fríos) hacia el continente y valores positivos (colores cálidos) hacia el mar. Se observan los bordes de las cuencas del Colorado y Claromecó; en menor medida se aprecian también los bordes de las cuencas Malvinas Norte, San Jorge y que el tilt es sensible a las zonas de fractura de transferencia de Ventana, Colorado y Malvinas. En los perfiles abatidos del MPV se observa el detalle del pasaje por cero del tilt el cual ajusta en el lado occidental de los SDRs; en el perfil del MCZ se ve claramente que el pasaje por cero del tilt, ajusta con la escarpa de Malvinas.

Figure 3. Tilt map in the Argentine continental margin and transverse profiles. The continental margin is shown between negative values (cool colors) towards the mainland and positive values (warm colors) towards the sea. The edges of Claromecó and Colorado basins are observed; to a lesser extent also are appreciated the edges of the Malvinas Norte basin, San Jorge and that the tilt is sensitive to the transference fracture zones of Ventana, Colorado and Malvinas. The MPV downcast profiles show the detail of the tilt zero passage, which fits on the western side of the SDRs; in the MCZ profile it is clear that the zero passage of the tilt fits with the Malvinas Escarpment.

Verduzco et al. (2004) y Cooper y Cowan (2006), demostraron que esta magnitud pasa por cero cuando está por encima del borde de la fuente. En este trabajo aplicamos el método para estudiar la ubicación de los contactos

entre las estructuras que componen la plataforma y el borde continental. Esta técnica se aplicó a la AB_{CTerr} cuyos resultados se pueden ver en el mapa de la Figura 3.

Esta técnica permite destacar fuentes de baja densidad emplazadas en la corteza continental de composición, principalmente granítica (colores fríos o negativos) con respecto a las fuentes oceánicas representadas por rocas principalmente básicas con mayor densidad (colores cálidos o positivos). En este mapa (Figura 3) se aprecia un fuerte contraste entre las cortezas continental y oceánica en el margen continental en el pasaje por cero del TDR. También se observan los bordes de las cuencas del Salado, Claromecó, Colorado, Valdes, San Jorge y Malvinas Norte. Por otra parte, el TDR es sensible a alineaciones este-oeste relacionadas con la apertura del margen, marcadas en el mapa como: ZFT de Malvinas, Colorado, Ventana y Salado y alineaciones del fondo oceánico.

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

Dónde: VDR es el gradiente vertical y THDR es el gradiente horizontal de AB_{CG} .

La derivada horizontal del tilt

Los resultados del tilt (TDR) que no sean adyacentes a cero tendrán una escasa representación en el mapa (Cooper y Cowan, 2006), es por ese motivo que se aplicó la derivada horizontal total del tilt (TDR_THDR) con la finalidad de mejorar la interpretación y dar una ubicación más acertada a los bordes como muestran Verduzco et al. (2004).

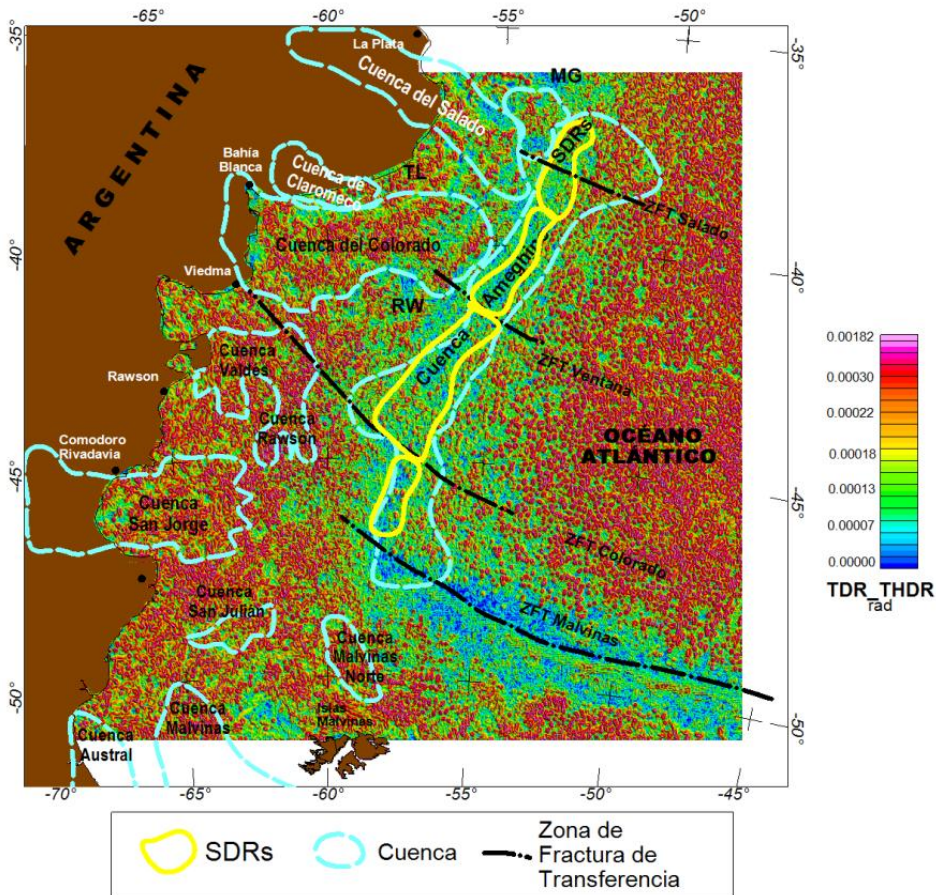


Figura 4. Mapa de la derivada horizontal del tilt en el margen continental. Las amplitudes máximas muestran claramente la diferenciación entre CC y CO. Los bordes de las cuencas Salado, Colorado y Malvinas Norte son apreciados; en menor medida se observan algunos bordes de las cuencas Valdes, Rawson y San Jorge. Se identifican los altos de basamento; los valores más altos se registran en la ZFT de Colorado y Malvinas.

Figure 4. Map of the horizontal derivative of the tilt on the continental margin. The maximum amplitudes clearly show the differentiation between CC and CO. The edges of the Salado, Colorado and North Malvinas basins are appreciated; to a lesser extent, some edges of the basins of Valdes, Rawson and St George are observed. The basement highs, the highest values are recorded in Colorado and Malvinas ZFT.

Dichos autores sugieren usar la TDR_THDR como un detector de bordes o contactos para mejorar los resultados obtenidos por el TDR. Esta derivada horizontal total del TDR está definida por la ecuación (3):

$$\text{TDR_THDR} = \sqrt{\left(\frac{\partial \text{TDR}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{TDR}}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

Donde: $\partial \text{TDR} / \partial x$ y $\partial \text{TDR} / \partial y$ son las derivadas parciales del TDR.

Este filtro es independiente del rumbo de las fuentes que provocan las anomalías, realiza las mismas a través de la derivada, la raíz cuadrada hace que el resultado sea siempre positivo, de modo que funciona como un control automático de ganancia (AGC) (Verduzco et al., 2004) y tiende a aumentar la frecuencia de las anomalías en una grilla respecto del tilt. Es más fácil de interpretar que el tilt, ya que es una forma útil de filtro paso alto del campo potencial, de modo que realiza las fuentes más someras respecto de las más profundas.

En el mapa de la Figura 4 se graficó la grilla de las amplitudes del TDR_THDR y perfiles transversales para mostrar la diferencia, de la respuesta dada por este filtro, a ambos lados de la faja de los SDRs; la amplitud y frecuencia aumentan hacia el Este de esta faja, e indicarían la rugosidad topográfica de la corteza puramente oceánica, mientras que hacia el Oeste de los SDRs la amplitud y frecuencia decrecen, y revelarían la presencia de cuerpos profundos de la corteza de transición; estas características en la respuesta de este filtro se verán demostradas en el modelo 2D la Figura 6.

Modelo gravimétrico 2D

En este trabajo se calculó un modelo gravimétrico 2D empleando el algoritmo de Talwani et al. (1959). Se ajustaron por inversión las características físicas y geométricas de las fuentes que provocan las anomalías a partir de imágenes de sísmica de refracción tomadas de Schnabel et al. (2008). En el modelado se utilizó un programa interactivo, GravModeler de Geotool y LaCoste & Romberg. Se consideraron como restricciones los datos del fondo marino, la interpretación sísmica del basamento cristalino y las cuñas de los SDRs, tomados de Schnabel et al. (2008) y el espesor cortical obtenido por inversión gravimétrica 3D dado por Pizarro et al. (2012).

Esta técnica ha sido utilizada con éxito en la caracterización de la cuenca sedimentaria de Ischigualasto-Villa Unión (Ruiz e Introcaso, 1999).

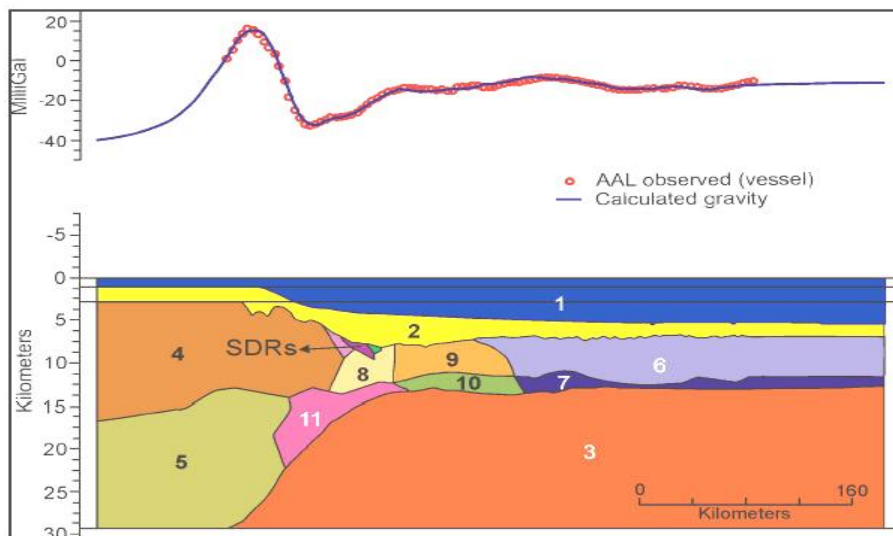


Figura 5. Modelo gravimétrico 2D del MPV correspondiente a aproximadamente 40° S. La denominación y densidades de las unidades se detallan en la Tabla 1.

Figure 5. 2D gravimetric model corresponding to approximately 40° S. The denomination and densities of the units are listed in Table 1.

La arquitectura del modelo se muestra en la Figura 5; en este se diferenciaron tres tipos de corteza: continental, de transición (COT) y oceánica; a su vez se distingue la corteza continental superior e inferior, la corteza de transición continental superior e inferior con profusión de diques intruidos (Franke et al., 2010) o zona de diques de intrusión magmática, la corteza oceánica superior e inferior; como así también la presencia de un cuerpo subplacado de alta velocidad (Schnabel et al. 2008). También, se pudo confirmar el estrechamiento de la corteza dado por Pizarro et al. (2012) y verificar el angostamiento de ~29 a 6 km que se produce en la COT.

Las densidades consideradas para cada estructura se detallan en la Tabla 1. Estas se obtuvieron del análisis de velocidades (V_p) de líneas sísmicas y fueron convertidas a densidad mediante la relación de Gardner et al. (1974) y la recopilación de relaciones empíricas entre velocidad y densidad de Brocher (2005). En particular la densidad

del paquete sedimentario se obtuvo a partir de calcular el promedio ponderado de los espesores de las capas componentes y sus velocidades intervállicas.

En la parte superior de la Figura 5 se muestra el ajuste de la curva (azul), respuesta gravimétrica del modelo con los datos discretos de las anomalías de aire libre (AAL) (círculos), el cual presenta un RMS (root mean square) inferior a 2.5 mGal.

El COB se ubica entre las unidades de las cortezas: continental de transición superior-inferior (unidades 9-10) y la corteza oceánica superior inferior (unidades 6-7).

Nº	Unidades	Densidad (g/cm ³)
1	Fondo marino	1.03
2	Sedimentos	2.40
3	Manto	3.30
4	Corteza Continental Superior	2.67
5	Corteza Continental Inferior	2.92
6	Corteza Oceánica Superior	2.87
7	Corteza Oceánica Inferior	2.93
		2.75
	SDRs	2.77
		2.78
8	Zona de diques de intrusión magmática	2.80
9	Corteza Continental de Transición Superior	2.76
10	Corteza Continental de Transición Inferior	2.87
11	Cuerpo de alta velocidad	3.09

Tabla 1. Densidades utilizadas en las unidades del perfil de la Figura 5.

Table 1. Densities used in the units of the profile in Figure 5.

RESULTADOS

Los resultados son concluyentes dado que la ubicación del COB en el modelo 2D es coincidente con la detección de los contactos realizado por las técnicas de filtrado. Esto puede ser observado claramente en el gráfico de los perfiles de los filtros y del modelo gravimétrico (Figura 6).

En el perfil de la SA se observa, hacia la izquierda, el valor máximo del perfil (Máx). Este máximo muestra la mayor amplitud y longitud de onda de todo el perfil, señalando el contacto entre la CC y el cuerpo subplacado; la tendencia descendente (Dso) junto a la tendencia horizontal (ZCn) indican un cambio lateral o la presencia de un contacto representado por la intersección de ambas rectas de las tendencias citadas, donde, además, se produce uno de los mínimos más importantes de la SA y en el modelo 2D se ve el contacto entre las unidades 9-10 y 6-7.

Repitiendo la metodología propuesta y determinando el COB sobre una sucesión de perfiles transversales como el perfil de las Figuras 5 y 6, a lo largo del margen argentino, tanto MPV como el MCZ, se obtiene una alineación que indica la separación entre la CC y la CO. En la Figura 7 se muestra sobre el mapa de AAL dicha alineación del COB.

CONCLUSIONES

En general, el resultado de la aplicación del método gravimétrico determinó un COB caracterizado por un estrechamiento cortical variando de ~29 a ~6 km de espesor en la corteza continental de transición, de acuerdo con la profundidad de la discontinuidad de Mohorovicic (Pizarro et al., 2012) visto en el modelo 2D.

Además, en este trabajo se mostró la eficiencia del empleo de técnicas de resalto junto a los modelos 2D respaldado en la geometría de las estructuras obtenidas a través de la sísmica de refracción. Se comprobó la validez de la señal analítica y del ángulo tilt para marcar la ubicación de los contactos profundos (16–22 km) entre corteza continental inferior–subplacado y de las unidades de la corteza continental superior y la corteza de transición superior. En particular el ángulo tilt resultó capaz de señalar el contacto, pasando por cero, entre las unidades 9-6 y entre las unidades 10–7 a 7.5 km y 11.25 km de profundidad respectivamente.

Por otra parte, se mostró que la mayor parte del adelgazamiento se produce entre las cortezas continental y de transición, en la cual se sitúa el mayor espesor sedimentario, por debajo las cuñas basálticas inclinadas hacia el mar, la zona de diques de intrusión magmática y parte del cuerpo subplacado.

Como conclusión se puede inferir que el método gravimétrico ajustado a través de la sísmica de refracción es un medio efectivo y económico para la demostración de la prolongación natural del continente.

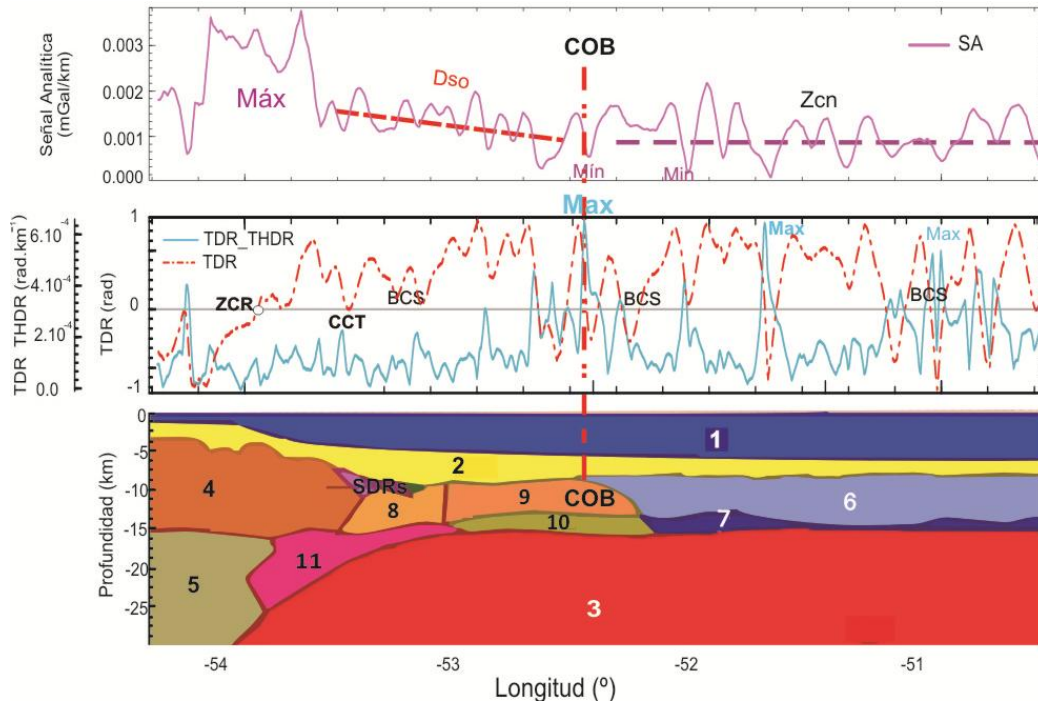


Figura 6. Gráfico de los filtros y el modelo 2D. Línea vertical (rojo) señala el COB (borde continental oceánico) Arriba: señal analítica. Máx (máximo) finalización de la CC; Dso (descenso): zona de transición cortical; Min (mínimo): finalización de la transición – inicio de la CO; ZCn (zona constante): CO; Centro: ángulo tilt (rojo) y su derivada horizontal (cyan); ZCR (zona de contacto regional): contacto entre la CC y la de transición; Máx (máximo): contactos entre unidades de corteza de transición y oceánica (derivada horizontal del tilt); CCT (corteza continental de transición): borde corteza continental-transición; COB (borde continental oceánico); BCS (bordes cuerpos superficiales): contactos superficiales; Abajo: modelo 2D; SDRs (reflectores inclinados hacia el mar) cuñas.

Figure 6. Graphic of the filters and 2D model. Vertical line (red) indicates the COB (continental oceanic boundary). Top: analytic signal. Max (maximum) ending of the CC; Dso (downward) crustal transition zone; Min (minimum): ending of the transition - beginning of the OC; ZCn (constant region): OC; Centre: tilt angle (red) and its horizontal derivative (cyan); ZCR (regional contact zone): contact between the CC and the transition; Max (maximum): contacts between units of transitional and oceanic crust (horizontal derivative tilt); CCT (transitional continental crust) continental crust edge-transition, COB (continental oceanic boundary); BCS (shallow bodies contact) surface contacts; Bottom: 2D model; SDRs (seaward-dipping reflectors) wedges.

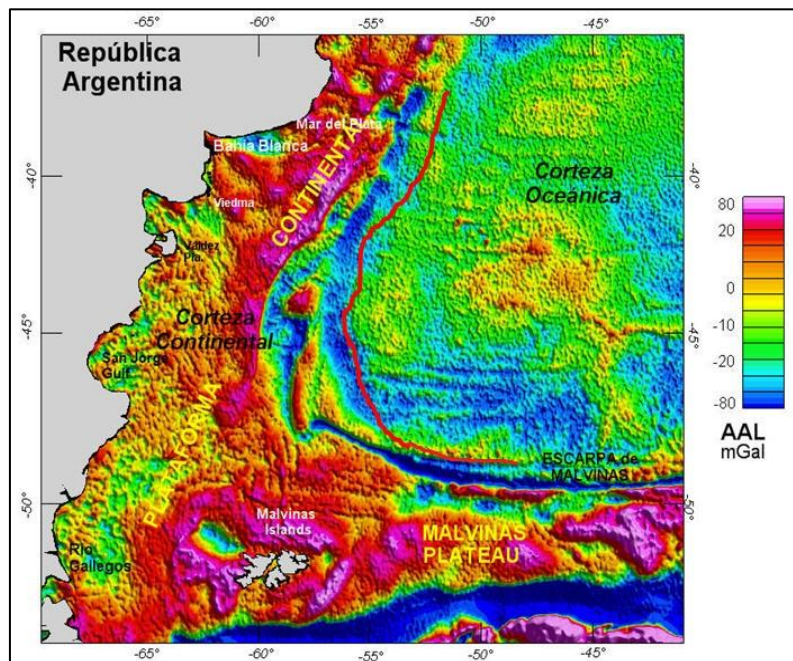


Figura 7. Mapa de ubicación del COB. Se muestra la ubicación del COB sobre la grilla de AAL (Sandwell y Smith, 2009) mediante una línea sub-paralela a los márgenes (rojo).

Figure 7. Location map of the COB. The location of the COB is shown on FAA's grid (Sandwell and Smith, 2009) by means of a line sub-parallel to the margins (red).

REFERENCIAS

- Beiki M., (2010). Analytic signals of the gravity gradient tensor and their application to Euler deconvolution. EGM 2010 International Workshop, Adding new value to Electromagnetic, Gravity and Magnetic Methods for Exploration. Capri, Italy, April 11-14.
- Brocher T. M., (2005). Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95 (6): 2081-2092.
- Cooper, G.R.J. y Cowan, D.R., (2006). Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, 32: 1585–1591.
- 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., Ladage, S., Schnabel, M., Schreckenberger, B., Reichert, C., Hinz, K., Paterlini, M., de Abelleira, J., Siciliano, M., (2010). Birth of a volcanic margin off Argentina, South Atlantic. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11 (2), Q0AB04.
- Gardner, G.H.F., Gardner, L., Gregory, A.R., (1974). Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophysics*, 39: 770–780.
- Ghidella, M.E., Lawver, L.A., Gahagan, L.M., (2007). La Ruptura de Gondwana y la Apertura del Atlántico Sur: Revisión de Modelos de Tectónica de Placas. VI Simposio Argentino y III Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas. Buenos Aires, Argentina, Septiembre 10-14.
- 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.
- Lyatsky H., Pana, D., Olson, R., Godwin, L., (2004). Detection of subtle basement faults with gravity and magnetic data in the Alberta Basin, Canada: A data-use tutorial. *The Leading Edge*. December 2004: 1282-1288.
- Lince Klinger, F., Giménez, M.E., Martínez, M.P. y Introcaso, A., (2008). Las estructuras de la cuenca de Bermejo y sierra de Valle Fértil a partir de los métodos deconvolución de Euler y señal analítica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (2): 281–287.
- Miller, H. G., and V. Singh, (1994). Potential field tilt—A new concept for location of potential field sources: *Journal of Applied Geophysics*, 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., (1974). Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section. *Geophysics*, 39 (1): 85-92.
- Nabighian, M.N., (1984). Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations. *Geophysics*, 49 (6): 780-786.
- Nabighian, M.N., Grauch, V.J.S., Hansen, R.O., LaFehr, T.R., Li, Y., Peirce, J.W., Phillips, J.D., Ruder, M.E., (2005). The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70 (6): 33ND-61ND.
- Pizzarro, G., Ruiz, F., Arecco, M.A., Martínez, M.P., Giménez, M.E., (2012). Modelo de moho gravimétrico para las cortezas continental y oceánica argentinas calculado desde datos gravimétricos satelitales. COMTEC, Conferencia Microsoft, Fortaleza, Brasil, Julio 14.
- Rabinowitz, P. and J. Labrecque, (1979). The mesozoic South Atlantic ocean and evolution its continental margin. *Journal of Geophysical Research*, 84 (B11): 5517–6002.
- 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, 21: 385-404.
- Roest W. R., J. Verhoef and M. Pilkington, (1992). Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57 (1): 116-125.
- Ruiz, F. y Introcaso, A., (1999). Un modelo gravimétrico 3D de la profunda cuenca sedimentaria de Ischigualasto-Villa Unión (San Juan y la rioja)-Argentina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 17 (1): 3-11.
- Sandwell, D.T. y Smith, W.H.F., (2009). Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research*, 114, B01411. doi: 10.1029/2008JB006008.
- Schnabel, M., Franke, D., Engels, M., Hinz, K., Neben, S., Damm, V., Grassmann, S., Pelliza, H., Dos Santos, P.R., (2008). The structure of the lower crust at the Argentine continental margin, South Atlantic at 44°S. *Tectonophysics*, 454: 14–22.
- Talwani, M., Worzel, J.L., Landisman, M., (1959). Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research*, 04 (1): 49-59.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M., (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge* February: 116-119.

White, R. y McKenzie, D., (1989). Magmatism at Rift Zones: The Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. *Journal of Geophysical Research*, (94) B6: 7685-7729.

Recibido: 15-7-2013
Aceptado: 18-12-2013