



MODELADO MAGNÉTICO 2D DE LA ANOMALÍA TONA DEL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO

A. C. Pedraza De Marchi^{1,2*}, M. E. Ghidella^{3,*}, J. E. Franzese^{1,4}, J. L. Gómez^{2,5}

¹ Centro de investigaciones Geológicas, Diag. 113 y 64, La Plata, Argentina.

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque S/N, La Plata, Argentina.

³ Instituto Antártico Argentino, 25 de mayo 1143, San Martín, Buenos Aires, Argentina

⁴ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad nacional de la plata, Av. 122 y 60, La Plata, Argentina.

⁵ CONICET-YPF Tecnología, Av. del Petróleo Argentino, S/N, Berisso, Argentina.

*e-mail: cpedrazadm@cig.museo.unlp.edu.ar

ABSTRACT

ARGUS was a joint program between NRL (Naval Research Laboratory, U.S. Navy) and SHN (Servicio de Hidrografía Naval, Argentine Navy), whose objective was to carry out a detailed magnetic survey of the Argentine continental shelf. The acquisition of data was performed in two surveys, one in 1991 and another in 1993. A group of large positive anomalies in the southern Colorado basin have been called the Tona anomaly. The purpose of this work consists in carrying out 2D magnetic modelling of ARGUS lines crossing the Tona anomaly using an interactive program to estimate the vertex coordinates of the bodies and to use the Euler deconvolution to limit the depth of the sources. By the analysis of the results, we will make inferences about the bodies that compose the Tona anomaly. In addition, we will infer the possible link to the south Atlantic opening or a previous extensional episode.

Keywords: Tona anomaly, magnetic modelling, Argentine continental margin

RESUMEN

ARGUS fue un programa del NRL (Naval Research Laboratory, U.S. Navy) y el SHN (Servicio de Hidrografía naval, Argentina), cuyo objetivo fue desarrollar un relevamiento magnético detallado de la plataforma continental Argentina. Los datos fueron adquiridos en dos relevamientos, uno en 1991 y el otro en 1993. Un grupo de grandes anomalías positivas en el sur de la cuenca del Colorado han sido denominadas anomalía Tona. La propuesta de este trabajo consiste en realizar el modelado magnético 2D a lo largo de líneas ARGUS que atraviesan la anomalía Tona usando un programa interactivo para estimar las coordenadas de los vértices de los cuerpos y la deconvolución de Euler para limitar la profundidad de las fuentes. A partir del análisis de los resultados hacemos inferencias sobre los cuerpos que componen la anomalía Tona. Además se infiere una posible relación con la apertura del Atlántico Sur o un episodio extensional anterior.

Palabras Clave: Anomalía Tona, modelado magnético, margen continental Argentino

1. Introducción

La primera compilación de anomalías magnéticas del margen argentino fue realizada por Ghidella *et al.* (1993), utilizando datos del proyecto ARGUS (Kovacs *et al.*, 1993). Ghidella *et al.* (1995), realizaron una serie de procedimientos a los datos para obtener una grilla de anomalías magnéticas. Su análisis revela dos regiones marcadamente distinguidas separadas por la “Discontinuidad del Colorado” (DC, Figura 1a). En la zona norte tres lineaciones positivas son posibles marcadores de intensa actividad magmática en la apertura del margen continental pasivo. Una de estas lineaciones se relaciona con la anomalía G (Rabinowitz, 1979) y las otras dos se ubican en el borde de la plataforma y en la plataforma, ambas con una inclinación hacia la costa, haciéndose más intensas al sur de la cuenca del Colorado. Este patrón de alta intensidad



ha sido llamado “anomalía Tona” y se interrumpe abruptamente al llegar a la DC. Dicha denominación fue introducida por Ghidella *et al.* (1995) para describir esta conspicua anomalía magnética. M. Ghidella obtuvo el primer modelado bidimensional a lo largo de un perfil. Combinando el modelado magnético con la deconvolución de Werner (Werner, 1953) y luego comparando con un modelado magnético 3D llegó a una serie de conclusiones en la que se destacan que Tona tendría raíces profundas de 20 km y techos a 6 km [1], como fue también propuesto por Arecco *et al.* (2018). La propuesta de este trabajo es analizar el resultado de una serie de modelados magnéticos a lo largo de dos perfiles ARGUS que atraviesan la anomalía Tona y las implicaciones geológicas de este análisis.

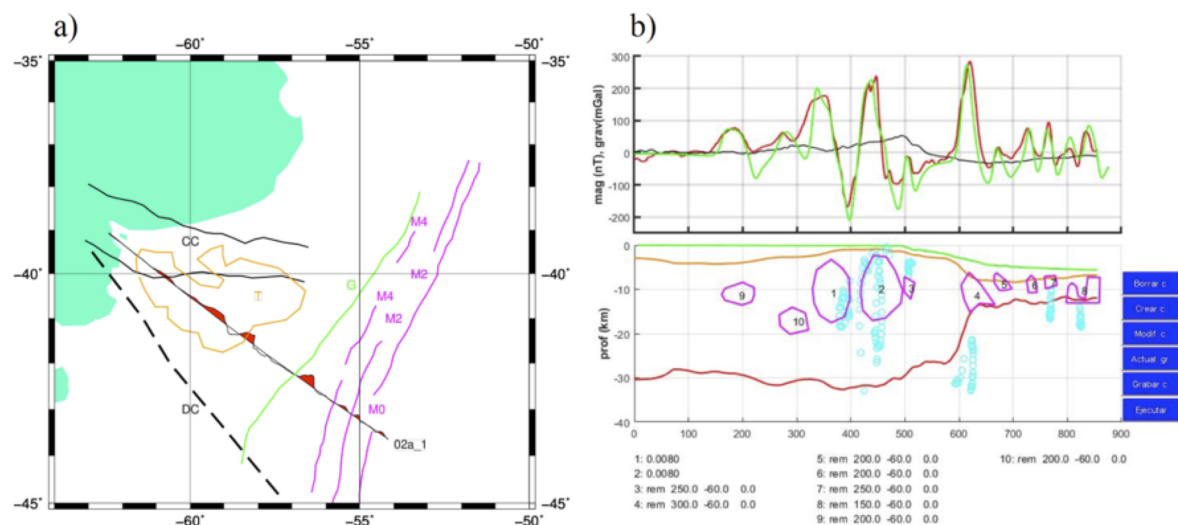


Figura 1. a) línea aérea ARGUS, campaña 1991, perfil 02a_1. Línea negra cortada indica la discontinuidad del colorado (DC), línea negra delimita la cuenca del Colorado (CC), línea verde la anomalía G (G), línea naranja contorno de la anomalía positiva Tona (T), líneas rosas alineaciones mesozoicas. **b)** Perfil modelado: panel superior, línea roja anomalía magnética observada, línea verde anomalía magnética modelada, línea negra anomalía de gravedad, panel inferior, círculos turquesa soluciones de Euler por ventanas móviles, líneas rosa cuerpos magnéticos propuestos, línea verde batimetría, línea naranja profundidad del basamento y línea roja Moho gravimétrico.

2. Datos magnéticos

El proyecto magnético ARGUS fue llevado a cabo durante dos series de vuelos en 1991 y en 1993. Ambas series fueron hechas a una velocidad y altitud de 399 km/h y 300 m, respectivamente. El campo magnético de intensidad total se midió usando un magnetómetro de precesión protónica que colecta datos cada 2s (240 m a lo largo de la traza). La primera serie se tomó en abril de 1991 en un área entre 35° a 45°. La segunda serie se tomó en septiembre de 1993 y rellena faltantes de datos de la serie 1991 extendiendo el área de estudio a 47° (Max *et al.*, 1999).

3. Anomalía magnética Tona

El grupo de grandes anomalías positivas Tona en el sur de la cuenca del Colorado se diferencian del resto de anomalías positivas del mismo dominio debido a su relieve magnético (Max *et al.*, 1999). Estos autores relacionan los valores de la anomalía Tona con la similitud superficial de los altos magnéticos en el dominio lo cual sugeriría que las anomalías revelan la presencia de rocas volcánicas o plutónicas en la base de la cubierta sedimentaria. Estos altos son comparables en relieve y valor en nT con el alto magnético de complejos básicos vistos en la anomalía G, localmente en corteza oceánica y en algunos de los volcanes



restringidos en Tierra. Las anomalías de Tona presentan valores más altos y una forma más definida que la anomalía G y se habrían generado conjuntamente (LaBrecque *et al.*, 1989) durante la carga tectónica extensional de la ruptura de la corteza en la apertura (Ghidella *et al.*, 1995).

De acuerdo con Zambrano y Urien (1970) las erupciones mesozoicas muy desarrolladas en la Patagonia y oeste de Argentina no se conoce que hayan ocurrido en la cuenca del Colorado. Aparecen en la superficie acuñándose cerca del límite sur lo que podría indicar las fuentes de la anomalía Tona. Otra interpretación es que esta anomalía fuese causada por flujos de lava a través de fallas de despegue, formadas en los procesos de *rift* y que estos flujos parecen haberse acumulado contra una barrera impuesta por las implicaciones de la discontinuidad del Colorado (Ghidella *et al.*, 1995). Además no hay suficientes evidencias de que estas anomalías se relacionen con un episodio extensional anterior ya que sólo se conocen rocas volcánicas de edad Jurásica alojadas en la cuenca Orange en África (Macdonald *et al.*, 2003).

De acuerdo con Urien *et al.* (1981) las erupciones mesozoicas no ocurrieron en asociación con los sedimentos mesozoicos de Rio Negro y el alto estructural de Tona. Es improbable que las anomalías magnéticas positivas de Tona marquen solo la posición de rocas plutónicas o volcánicas posteriores a los sedimentos del Cretácico Inferior. Estas anomalías son de gran amplitud pero baja frecuencia. Esto contrasta con los patrones magnéticos sobre rocas volcánicas de la plataforma patagónica, donde grandes cuerpos volcánicos ocurren con anomalías de alta frecuencia sobre centros volcánicos locales y diques profusos. Se ha sugerido que el patrón de baja frecuencia se deba a la presencia dominante de roca básica plutónica más que volcánica. Sin embargo, análisis de la segunda derivada vertical muestran patrones de alta frecuencia señalando un carácter volcánico y episódico (Arecco *et al.*, 2018).

Según Max *et al.* (1999) la fuerte anomalía positiva podría relacionarse con intrusiones básicas pero no con una superficie volcánica o actividad ígnea al oeste del edificio volcánico de la anomalía G. Además no hay altos de gravedad como los que se esperarían para grandes cuerpos ígneos básicos. La identificación ígnea del tipo de anomalía puede rechazarse debido a la posición en la corteza. La profundidad de las fuentes parece ser muy profunda para ser un nivel ígneo o roca volcánica y muy somera para ser cuerpos de subplacado basáltico. Una de las líneas marinas de datos sísmicos de reflexión (Franke *et al.*, 2001) atraviesa la zona y es totalmente transparente dentro del basamento, o sea que los cuerpos que generan a Tona no tienen reflectores asociados dentro del basamento.

4. Modelado magnético

Se utilizó un programa interactivo para modelar perfiles magnéticos. La interfaz del programa permite picar los vértices de los cuerpos, cargar la anomalía observada y calcular la anomalía magnética para una serie de cuerpos resolviendo el algoritmo de Talwani & Heirtzler (1964). Además pueden cargarse las interfaces batimetría, basamento y Moho derivado del modelado gravimétrico POGM (process-oriented gravity modelling) (Watts *et al.*, 1999; Watts, 2001; Pedraza De Marchi *et al.*, 2017) para ayudar con la interpretación de la localización de los cuerpos y la anomalía de gravedad para identificar posibles contrastes de densidad en los cuerpos propuestos.

Se modelaron dos perfiles, uno al que hemos llamado perfil base (02a_1), corresponde a un perfil previamente interpretado por Ghidella *et al.* [1] el que hemos reproducido y modificado (Figura 1) y el otro corresponde a un perfil consecutivo (Figura 2).

Se utilizó el método de Euler (Reid *et al.*, 1990; Durrhein, 1998; Thomson, 1982) con ventanas móviles dado que normalmente sirve para la ubicación de los cuerpos magnéticos. El diseño del tamaño de la ventana se obtuvo al comparar con las soluciones del método de Werner del perfil base. Los perfiles se extienden más al SE de Tona, pasando por la anomalía G y llegando a la zona oceánica donde aparece la secuencia mesozoica.

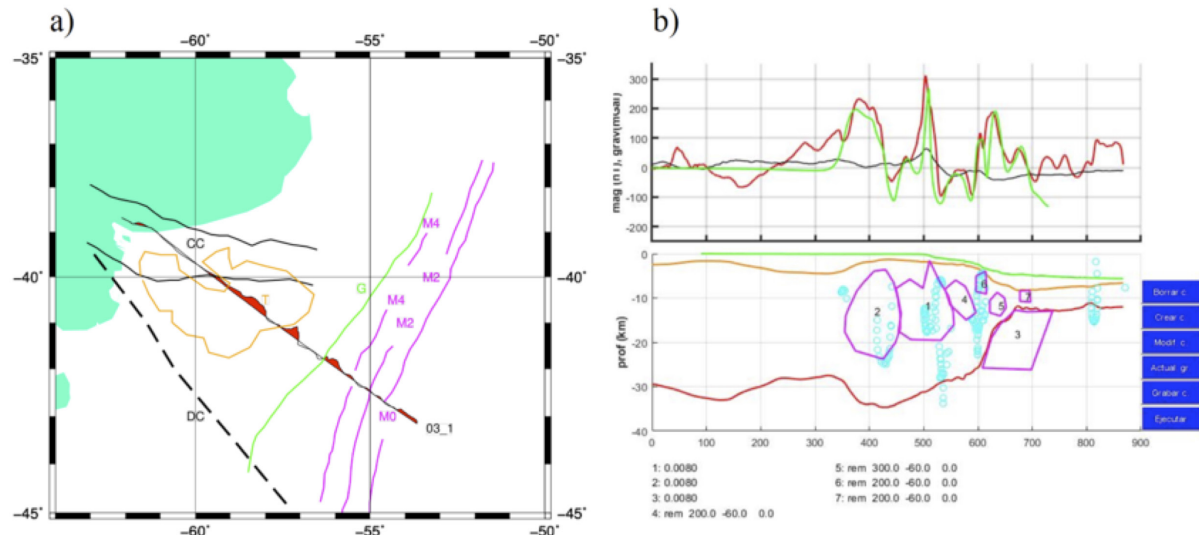
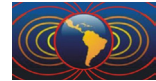


Figura 2. a) línea aérea ARGUS, campaña 1991, perfil 03_1. Línea negra cortada indica la discontinuidad del colorado (DC), línea negra delimita la cuenca del Colorado (CC), línea verde la anomalía G (G), línea naranja contorno de la anomalía positiva Tona (T), líneas rosas alineaciones mesozoicas. b) Perfil modelado: panel superior, línea roja anomalía magnética observada, línea verde anomalía magnética modelada, línea negra anomalía de gravedad, panel inferior, círculos turquesa soluciones de Euler por ventanas móviles, líneas rosa cuerpos magnéticos propuestos, línea verde batimetría, línea naranja profundidad del basamento y línea roja Moho gravimétrico.

La Tabla 1 muestra las propiedades de los cuerpos del perfil 02a_1. Los dos cuerpos más grandes, los asociados a Tona (cuerpos 1 y 2), tienen magnetización inducida con susceptibilidad igual a 0.008 en cgs o 0.100 en SI, lo cual corresponde a una magnetización de 2.1 Am^{-1} ; estos valores indicarían una composición basáltica para las rocas. El cuerpo correspondiente a la anomalía G (cuerpo 4) también es fuertemente magnético. Este cuerpo se ubica en la zona de las cuñas volcánicas detectada por reflectores sísmicos (Hinz *et al.*, 1999). En dicho trabajo ha sido modelado con magnetización total aun mayor (5 Am^{-1}), pero menor profundidad (10 km en lugar de 14 km). Algo análogo podría ocurrir con las fuentes de Tona: ser menos profundas y con mayor magnetización. El máximo de la respuesta gravimétrica para el cuerpo3 (perfil 02a_1) y cuerpo1 (perfil03_1) representa el típico efecto de borde de los márgenes continentales (Watts *et al.*, 1999; Watts, 2001) más que un cambio de densidad de los cuerpos o su efecto podría estar superpuesto.

Tabla 1. Parámetros de los cuerpos modelados del perfil base (02a_1)

Cuerpo	Susceptibilidad	Campo inductor (nT)	Inclinación (°)	Declinación (°)	Magnetización (Am^{-1})
1	Inducida	2600	-40.6	-0.94	2.1
2	Inducida	2600	-40.6	-0.94	2.1
3	Remanente		-60	0.0	2.5
4	Remanente		-60	0.0	3.0
5	Remanente		-60	0.0	2.0
6	Remanente		-60	0.0	2.0
7	Remanente		-60	0.0	2.5
8	Remanente		-60	0.0	1.5
9	Remanente		-60	0.0	2.0
10	Remanente		-60	0.0	2.0



La Tabla 2 muestra las propiedades de los cuerpos del perfil 03_1. Los dos cuerpos asociados a Tona (cuerpos 1 y 2), se encuentran más próximos y podrían estar fallados o corresponder a un solo cuerpo y se extienden a mayor profundidad que el perfil 02a_1. El cuerpo correspondiente a la anomalía G (cuerpo 5) se halla por encima de un cuerpo que puede interpretarse como un subplacado magmático (Franke *et al.*, 2007).

Tabla 2. parámetros de los cuerpos modelados del perfil 03_1

Cuerpo	Susceptibilidad	Campo inductor (nT)	Inclinación (°)	Declinación (°)	Magnetización (Am ⁻¹)
1	Inducida	2600	-40.9	-1.83	2.1
2	Inducida	2600	-40.9	-1.83	2.1
3	inducida	2600	-40.9	-1.83	2.1
4	Remanente		-60	0.0	2.0
5	Remanente		-60	0.0	3.0
6	Remanente		-60	0.0	2.0
7	Remanente		-60	0.0	2.0

6. Conclusiones

Los valores de magnetización de 2.1 Am⁻¹ utilizados para modelar la anomalía Tona indicarían una composición basáltica para las rocas. Sin embargo los cuerpos modelados parecen ser muy profundos para ser rocas volcánicas, y muy someros para ser cuerpos subplacados de la corteza inferior. Además no hay indicios en la anomalía de gravedad que indiquen un cambio de densidad de las rocas dado que los máximos que aparecen se relacionan con el típico efecto de borde de los márgenes continentales. Estos cuerpos podrían ser intrusivos con una composición similar a la de la corteza (¿fusión de la corteza?). Los valores de los cuerpos de la anomalía magnética Tona muestran intensidades similares a los de la anomalía G y se ha propuesto que ambas anomalías se generaron en conjunto durante la carga tectónica extensional de la ruptura de la corteza en la apertura. Existen más líneas ARGUS que atraviesan Tona por lo que un análisis más acabado de modelado magnético a lo largo de todas ellas conduciría a mejores indicios sobre su rol en la apertura del Atlántico y se planea realizar a futuro.

Agradecimientos

La anomalía de aire libre es de dominio público [2] (Sandwell, 1997; Sandwell, 2009). Los mapas se han dibujado usando el software libre GMT [3] (Wessel and Smith, 1998).

Referencias

- Arecco, M. A., Larocca, P. A., Ruiz, F., Carnero A. T., Ramos, V. A., 2018. Application of magnetic method on the Argentine continental shelf between 35°S and 48°S, *Geofísica Internacional* 57, 3, 175-195.
- Durrheim, R. J., Cooper, R. J., 1998. EULDEP: A Program for the Euler Deconvolution of Magnetic And Gravity Data, *Computer & Geosciences* 24, 6, 545-550.
- Franke, D., S. Neben, K. Hinz, H. Meyer, H. A. Roeser, B. Schreckenberger, 2001. The Argentine continental margin: deep seismic profiling. 2001 Margins Meeting at Kiel, Germany, abstracts volume, p. 61.
- Franke, D., Neben, S., Ladage, S., Schreckenberger, B., Hinz, K., 2007. Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin of Argentina/Uruguay, South Atlantic, Elsevier, *Marine Geology*, 244, 46-47.
- Ghidella, M.E.; Max, M.; Kovacs, L.; Ronda, C., 1993. "Magnetic anomalies on the argentine platform from 35°S to 45°S". IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) 7th Scientific Assembly, Buenos Aires, agosto de 1993.



- Ghidella M.E., Paterlini C.M., Kovacs L.C., Rodriguez G.A., 1995. Magnetic Anomalies on the Argentine Continental Shelf. 4th International Congress of the Brazilian Geophysical Society SBGf / First Latin American Conference SEG/ULG RIO'95 - Rio de Janeiro, August 20-24.
 - Hinz, K., S. Neben, B. Schreckenberger, H. A. Roeser, M. Block, K. Goncalves de Souza y H. Meyer, 1999. The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup. *Marine and Petroleum Geology* 16, 1-25.
 - Kovacs, L.; Rodríguez, E.A.; Ghidella, M.E.; Paterlini, M.; Ronda, C.; Valladares, J.; Vetere, H., 1993: "ARGUS: an aeromagnetic survey of the Argentine platform". IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) 7th Scientific Assembly, Buenos Aires, agosto de 1993.
 - LaBrecque, J.L., 1989, Conjugate Margins of Southern South Atlantic. Report to Hunt Petroleum.
 - Macdonald, D., Gomez-Perez, I., Franzese, J., Spalletti, L., Lawver, L., Gahagan, L., Dalziel, I., Thomas, C., Trewin, N., Hole, M., Paton, D., 2003. Mesozoic break-up of SW Gondwana: implications for regional hydrocarbon potential of the southern South Atlantic. *Mar. Pet. Geol.* 20, 287–308. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(03\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(03)00045-X).
 - Max M.D., Ghidella M. E., Kovacs L. C., Paterlini C. M., Valladares J.A., 1999. Geology of the Argentine continental shelf and margin from aeromagnetic survey. *Marine and petroleum geology* 16, 41-64.
 - Pedraza De Marchi A. C., Ghidella M. y Tocho C., 2017. 3D process oriented gravity modelling of the Argentine continental margin, *Journal of South American Earth Sciences* 81, 177-188, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.11.015>
 - Rabinowitz, P. D. y J. LaBrecque, 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. *Journal of Geophysical Research* 84, 5973-6002.
 - Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millett A. J., Somerton I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics* 55, 80–91, doi:10.1190/1.1442774.
 - Sandwell, D., 1997. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry, *Journal of Geophysical research* 102, B5, 10,039-10,054.
 - Sandwell, D., 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, 2009.
 - Talwani M., Heirtzler, J. R., 1964. Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional bodies of arbitrary shape, in Parks. G. A., Ed., *Computers in the mineral industries*, Part 1: Stanford Univ. Pub], Geological Sciences, 0, 464-480.
 - Urien, C. M., Zambrano, J. J., & Martins, L. R., 1981. The basins of southeastern South America (southern Brazil, Uruguay & eastern Argentina) including the Malvinas Plateau and southern South Atlantic paleogeographic evolution. In: W. Volkheimer, & E. A. Muxacchio, (Eds.). *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*. Contribución del comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico al il Congreso Latinoamericano de Paleontología, Porto Alegre, 1981, v. 1, pp. 45-125.
 - Thompson D. T., 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics* 47, 31–37, doi:10.1190/1.1441278.
 - Watts, A. B. and J. D. Fairhead, 1999. A process-oriented approach to modeling the gravity signature of continental margins, *The Leading Edge*, no. 18, p. 258-263.
 - Watts, A. B., 2001. *Isostasy and Flexure of the Lithosphere*, Cambridge University Press.
 - Werner, S., 1953. Interpretation of magnetic anomalies of sheet like bodies: *Sveriges Geologisk Underser* C.C, Arabok, 43 (6).
 - Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1991. Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU* 72, 441.
 - Zambrano, J.J. & V.M. Urien, 1970: Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off the Atlantic Shore, *Journal of Geoph. Res.* 75, No. 8.
- [1] <http://www.martagh.com.ar/mararg/pict2002/Interpretacion/index.html>, 2019.
 - [2] http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi, 2019.
 - [3] <http://gmt.soest.hawaii.edu/>, 2019.