

DEFORMACIÓN DEL CORDÓN PLEGADO DE VENTANA EN UN CONTEXTO GEODINÁMICO GLOBAL

Vizán H.^{1,2}, Prezzi C.¹, Van Zele M.A.¹, Geuna S.E.^{1,2}, Renda E.²

¹ IGEBA (U.B.A. - CONICET),

² Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

ABSTRACT

Two Gondwana paleogeographic reconstructions of two time spans (Late Carboniferous-Early Permian and Late Permian-Early Triassic) were made on the basis of paleomagnetic poles of different continents. Vectors of motions were determined between the reconstructions of both time spans and it was observed that they were similar to strain patterns recognized in four Argentinian Geological Provinces (including Ventana fold belt). It is analyzed a model that includes two slab pulls: one in northern Pangaea and the other one in the north margin of Paleotethys ocean. Both processes could be involved during the deformation of Ventana fold belt that would include lateral strike-slips along intra-continental faults.

Keywords: Gondwana, paleomagnetism, tironeos de losa, Pangaea, Paleotethys.

RESUMEN

Sobre la base de polos paleomagnéticos se realizaron dos reconstrucciones que corresponden a dos lapsos de tiempo (Carbonífero tardío-Pérmico temprano y Pérmico tardío-Triásico temprano). A partir de estas reconstrucciones se determinaron vectores de desplazamientos y se observó que éstos son similares a patrones de esfuerzos reconocidos en cuatro provincias geológicas argentinas (incluyendo el cordón plegado de Ventana). Se analizó un modelo que incluye dos “tironeo de losa”: uno en el margen norte de Pangea y otro en el margen norte del océano Paleotethys. Ambos procesos podrían estar involucrados en la deformación del cordón de Ventana que incluiría desplazamientos laterales en fallas de rumbo intracontinentales

Palabras Clave: Gondwana, paleomagnetismo, slab pulls, Pangaea, Paleotethys.

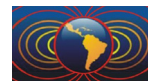
Introducción

Los procesos geodinámicos responsables de la deformación en el cordón plegado de Ventana han sido uno de los enigmas que ha despertado el interés de varios científicos de las ciencias de la Tierra (*i.e.* Ramos 1984, 2008, Pankhurst *et al.* 2006, Tomezzoli, 2012). Este enigma y el origen de Patagonia han estado estrechamente vinculados en diferentes propuestas que se han realizado.

Datos paleomagnéticos (*i.e.* Rapalini, Vilas, 1991) y de dataciones radiométricas (Pankhurst *et al.* 2006, Rapalini *et al.* 2013), inducirían a pensar que el Macizo Nordpatagónico formó parte de América del Sur desde por lo menos el Paleozoico temprano. Por lo cual, es necesario analizar un mecanismo que permita interpretar como fue la deformación del cordón de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, teniendo en cuenta que el macizo mencionado podría no haber sido alóctono sino que formaba parte de Gondwana durante los procesos diastróficos que llevaron al intenso plegamiento observado en dichas sierras (*i.e.* Harrington, 1980).

Reconstrucciones paleogeográficas de Gondwana

Para evaluar los procesos geodinámicos que causaron la deformación del cordón plegado de Ventana, se realizaron dos reconstrucciones paleogeográficas de Gondwana dentro de un lapso temporal en el que se encontraría comprendida la deformación de dicho cordón, sobre la base de datos paleomagnéticos compilados



de los trabajos de Geuna *et al.* (2010), Torsvik *et al.* (2012) y Clark, Lakie (2003). En estos trabajos ya se encontraban seleccionados polos paleomagnéticos (PPs) con altos factores de calidad (véase Van der Voo, 1993).

En una primera etapa los PPs de diferentes continentes que constituían Gondwana fueron reconstruidos a las coordenadas geográficas actuales de África utilizando los parámetros (polos de Euler) clásicos de Lawver, Scotese (1987). A prima facie se observó que sería posible que existieran dos poblaciones de PPs diferenciables que corresponderían a dos lapsos: 1) Carbonífero tardío – Pérmico temprano (aproximadamente entre 320 y 270 Ma) y 2) Pérmico tardío – Triásico temprano (aproximadamente entre 260 Ma y 240 Ma).

A partir de la reconstrucción de Gondwana de Lawver, Scotese (1987) se reconoció que tanto los límites entre antiguos cratones presentes en este supercontinente como el límite que separa los márgenes orientales de África y Madagascar de los de India y Antártida corresponden aproximadamente a circunferencias menores (véase fig. 1). Lo que coincide con los márgenes orientales de África y Madagascar también muestra un buen ajuste con el contacto entre el cratón del Rio de La Plata y parte de Patagonia. Los centros de las circunferencias menores mencionadas se encuentran en el noroeste de África prácticamente coincidiendo con las coordenadas geográficas de polos de Euler propuestos por diferentes autores (*i.e.*, Pindel, Dewey 1982) que consideran que las placas América del Sur y África se pueden dividir en dominios con movimientos independientes.

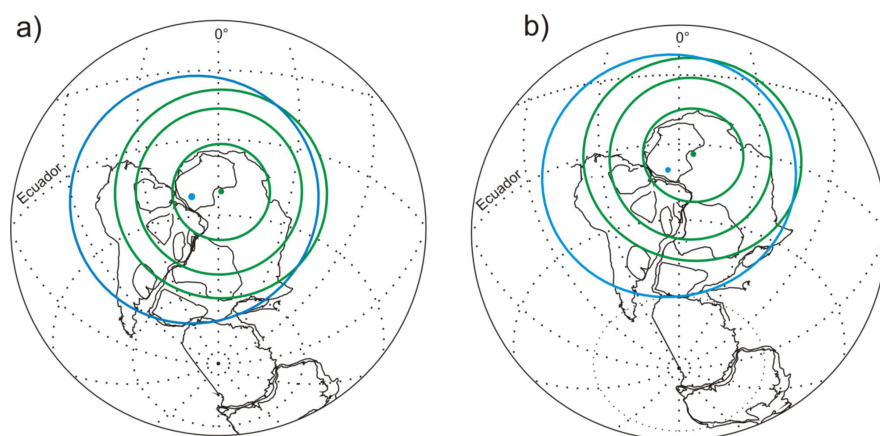


Figura 1. Reconstrucciones de Gondwana. a) Lapsos Carbonífero tardío – Pérmico temprano. b) Lapsos Pérmico tardío – Triásico temprano. Cratones con líneas entre cortadas. En colores verde y azul: circunferencias menores con sus centros, respectivamente.

Por lo cual, a fin de lograr un mejor ajuste entre los PPs compilados, se utilizaron los centros de los círculos menores mencionados como polos de Euler. En la Figura 2 se observan los promedios de los PPs compilados y reconstruidos en coordenadas actuales de África para los dos lapsos considerados en este estudio. Los PPs promedios de los diferentes continentes que formaban Gondwana en cada uno de los lapsos, presentan intervalos de confianza (A95) que se solapan pero se diferencian entre un lapso y el otro. Con los mismos polos de Euler que se lograron los ajustes entre los PPs de ambos lapsos, se realizaron las reconstrucciones de Gondwana de la Figura 1. El promedio de todos los PPs en coordenadas geográficas de África de cada uno de los lapsos, se utilizó para realizar cada una de las reconstrucciones absolutas de Gondwana considerando que África podría no haber tenido apreciables movimientos longitudinales desde que se formó Pangea (Torsvik *et al.*, 2008).

Las reconstrucciones absolutas de Gondwana (fig. 1) se utilizaron para obtener vectores de movimiento entre un lapso y el siguiente (fig. 3) considerando, en general, la ubicación geográfica de localidades reconocidas en los cratones suponiendo que éstos han sufrido escasa deformación a lo largo del tiempo geológico.

Los vectores de movimiento determinados presentan la misma orientación que los patrones de convergencia NNE, en coordenadas actuales de América del Sur, en diferentes áreas deformadas de Argentina (*i.e.*, Kleiman, Japas, 2009): 1) Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, 2) Bloque de San Rafael (Mendoza), 3) Sierra Grande (Río Negro), 4) Bloque de Chadileuvú (La Pampa).

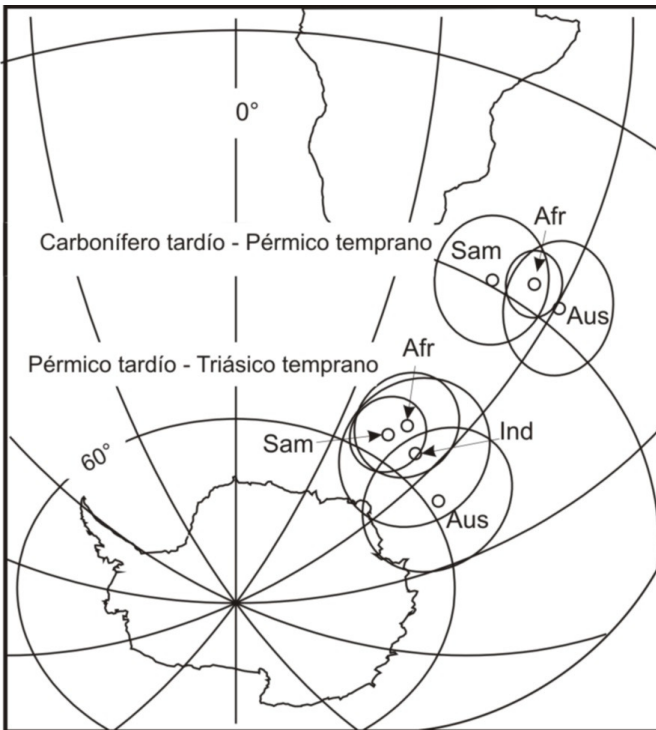
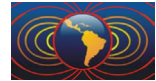


Figura 2. Polos paleomagnéticos promedio de diferentes continentes que formaban Gondwana para los lapsos de las reconstrucciones. Sam: Sudamérica, Afr: África, Aus: Australia, Ind: India.

De acuerdo con ello es posible entonces, que los vectores de movimiento determinados a partir de las reconstrucciones coincidan con direcciones de esfuerzos que provocaron la deformación de entidades geológicas como el cordón plegado de Ventana.

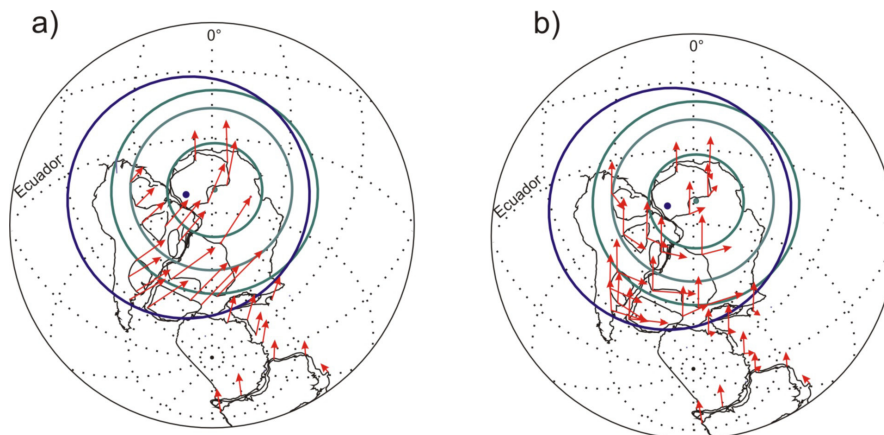
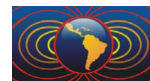


Figura 3. Reconstrucción de Gondwana para el lapso Carbonífero tardío – Pérmico temprano. a) con vectores de desplazamiento que surgen de comparar esta reconstrucción con la del lapso Pérmico tardío – Triásico temprano. b) Los vectores de la Fig.3a luego de su descomposición.

Modelo

Para la formación de Pangea la configuración interna de la Tierra habría sido distinta a la actual. De acuerdo con Zhong *et al.* (2007) en el manto habría existido una zona (de dimensión prácticamente hemisférica) de surgencia (upwelling) de material caliente (tramos ascendentes de celdas convectivas). En el hemisferio opuesto existirían uno o más extensos sumideros (downwellings) de tramos descendentes de celdas convectivas que habrían determinado el ensamble de Pangea (Zhong *et al.*, 2007). En otras palabras, en la zona donde se formó Pangea existirían procesos de subducción y consecuentes tironeos de losa (slab pulls). El amalgamamiento de Gondwana y Laurasia sería debido a un slab pull en el margen norte del océano Rheic (Scotese, 2001) y estando Pangea, además, rodeada por zonas de subducción (Zhong *et al.*, 2007). En el hemisferio opuesto se habría generado corteza oceánica, por lo que Scotese (2001) estima



que en esa zona existieron varias dorsales oceánicas. La colisión entre Gondwana y Laurasia habría cerrado la sección occidental del océano Rheic, quedando hacia oriente un mar denominado Paleotethys (Scotese, 2001).

Los vectores de movimiento determinados a través de las paleoreconstrucciones indicarían dos movimientos (fig. 3b): 1) un movimiento sur – norte de todo Gondwana y 2) una rotación antihoraria de dominios de Gondwana Occidental (GO: América del Sur y África) al sur del cratón del noroccidental de África. Es importante destacar que Tomezzoli (2009, 2012) ya había observado un gran movimiento latitudinal y antihorario de GO durante el intervalo Permo-Triásico.

Si se considera a Túnez como localidad de referencia para valorar el movimiento sur-norte, el mismo involucraría una velocidad de aproximadamente 25 cm/año para un lapso de 10 millones de años (entre los 270 y los 260 Ma, límites más joven y más antiguo de los dos lapsos de las reconstrucciones). Marcano *et al.* (1999) sobre la base de curvas de desplazamiento polar aparente han interpretado un movimiento polar verdadero entre el Pérmico y el Triásico que justificaría la velocidad calculada. Sin embargo, para Scotese (2001) existiría un movimiento sólo litosférico de toda Pangea hacia el norte y la subducción de corteza oceánica de este supercontinente, generaría arcos de islas más al norte de las costas europeas y norteamericanas analizadas por Marcano *et al.* (1999). Lawver *et al.* (2011) también consideran un movimiento litosférico de Pangea hacia el norte durante el Paleozoico tardío, y de esa manera explican cómo el terreno Yucón fue adosado a América del Norte. Si se calcula la velocidad de movimiento para la localidad de Túnez considerando un lapso de 45 millones de años (es decir entre los 295 y los 250 Ma, media de cada uno de los lapsos considerados en las reconstrucciones), la velocidad se reduce a aproximadamente a 6 cm/año. Esta velocidad es compatible con actuales derivas de placas, por lo cual y tomando en cuenta las propuestas de Scotese (2001) y Lawver *et al.* (2011) se considera como probable un movimiento litosférico hacia el norte durante los lapsos analizados en este trabajo.

Es de destacar que durante el Pérmico la fase orogénica San Rafael se registraría en diferentes localidades argentinas (*i.e.*, Kleiman, Japas 2009). Para Tomezzoli (2012) la fase orogénica San Rafael sería la consecuencia de las últimas etapas de ensamble de las distintas placas continentales acrecionadas a lo largo de todo el margen de Gondwana.

En este trabajo para analizar el movimiento antihorario de dominios de GO, se consideró la propuesta de Gutierrez Alonso *et al.* (2008) quienes sugieren que entre aproximadamente los 300 Ma y los 270 Ma, Pangea sería una única placa rodeada por zonas de subducción y presentaría otra subducción interna activa en el margen norte del océano Paleotethys.

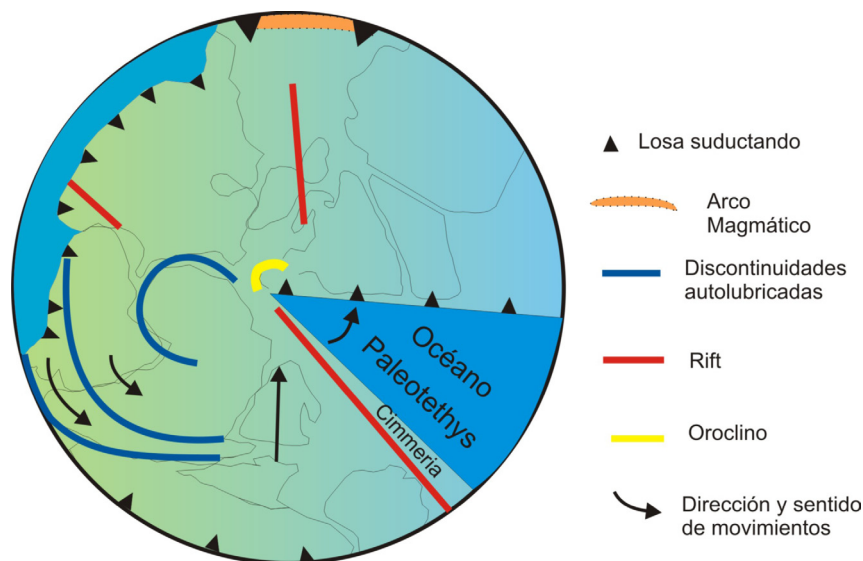


Figura 4. Modificada de Alonso Gutierrez *et al.* (2008). Modelo en el que se muestran los vectores de movimiento de Gondwana y Pangea. Los desplazamientos laterales entre los bloques separados por las zonas autolubricadas (antiguos márgenes de placas donde se instauraron fallas intra-gondwánicas) estarían involucrados en la deformación del cordón plegado de Ventana

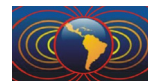


Es decir, durante el lapso mencionado y de acuerdo con Gutierrez Alonso *et al.* (2008), se habría producido una auto-subducción de Pangea (Pangea selfsubduction) con un slab pull en el margen norte de Paleothetys (fig. 4). Este slab pull provocaría en el interior de este supercontinente un régimen de esfuerzos homologable al denominado “principio de esfuerzos longitudinales y tangenciales” generando el oroclino Ibérico Cantábrico (Gutierrez Alonso *et al.*, 2008).

De acuerdo con lo mencionado precedentemente, es posible explicar que los procesos de deformación pérmicos que se reconocen en Argentina, (*i.e.* cordón plegado de Ventana) serían inducidos por un régimen de esfuerzos transmitidos a grandes distancias por la litósfera continental (Ziegler *et al.*, 1995) vinculados con el slab pull del océano Paleotethys. Las circunferencias menores representadas en las Figuras 1 y 3 corresponderían a suturas entre cratones o entre cratones y terrenos que se habrían acrecionado a Gondwana durante el Precámbrico o durante el Paleozoico temprano. Para Bercovici (1998) esas zonas son discontinuidades litosféricas que se auto-lubrican por asimilación de agua. A lo largo de las mismas se instalarían fallas transcurrentes o de rumbo intra-continetales con desplazamientos laterales. Parte de la subsidencia ocurrida en la cuenca de Claromecó podría deberse a una antigua losa subductada (Prezzi *et al.*, este volumen), allí podría ubicarse una discontinuidad litosférica como las que se señalan arriba. La auto-subducción de Pangea y su slab pull (tramo descendente de una convección poloidal) en el margen norte de Paleotethys (fig. 4) sería la responsable de un movimiento toroidal (*i.e.*, Bercovici, 1998) anti-horario de dominios de GO según un eje (o más de uno) en el noroeste de África (fig. 3) activándose desplazamientos laterales entre cratones, o entre cratones y terrenos de GO. Este mecanismo sería coherente con la propuesta cinemática-estructural de Japas (1989) para explicar la deformación del cordón de Ventana.

Referencias

- Bercovici D., 1998. Generation of plate tectonics from lithosphere-mantle flow and void –volatile self-lubrication. *Earth and Planetary Science Letters*, 154, 139-151.
- Clark D. A., Lakie M. A., 2003. Palaeomagnetism of the Early Permian Mount Leyshon Intrusive Complex and Tuckers Igneous Complex, North Queensland, Australia *Geoph. J. Inter.*, 153 (3), 523-547.
- Geuna S. E., Escosteguy L. D., Limarino, C. O., 2010. Paleomagnetism of the Carboniferous-Permian Patuía Formation, Paganzo basin, Argentina: implications for the apparent polar wander path for South America and Gondwana during the Late Palaeozoic. *Geologica Acta*, 8 (4), 373-397.
- Gutierrez Alonso G., Fernández Suarez J., Weil A., Murphy B., Nance D., Corfú F., Johnston S., 2008. Self-subduction of the Pangaeon global plate. *Nature Geoscience*, 1, 549-553.
- Harrington H., 1980. Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 21, 967-983.
- Japas, M. S., 1989. Análisis de la deformación en las Sierras Australes de Buenos Aires. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Buenos Aires*, 41, 193-215.
- Kleiman L., Japas M.S., 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S–36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Palaeozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473, 283–299.
- Lawver L., Scotese C., 1987. A revised reconstruction of Gondwana, in Gondwana Six: Structure, Tectonics, and Geophysics, *Amer. Geophys. Union, Monograph* 40, 17-23.
- Lawver L., Gahagan L., Norton I., 2011. Palaeogeographic and tectonic evolution of the Arctic region during the Palaeozoic. Spencer, A. M., Embry, A. F., Gautier, D. L., Stoupakova, A. V. & Sørensen, K. (eds) Arctic Petroleum Geology. *Geological Society, London, Memoirs*, 35, 61–77.
- Marcano C., Van der Voo R., Mac Niocaill C., 1999. True polar wander during the Permo-Triassic. *J. of Geodynamics*, 28:, 75-95.
- Pankhurst R. J., Rapela W., Fanning C. M., Márquez, M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews* 76, 235–257.
- Pindel J., Dewey J., 1982. Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of



- Mexico/Caribbean region. *Tectonics* 1 (2): 179-211
- Prezzi C., Vizán H., Van Zele M. A., 2013. Evolución de la Cuenca de Claromecó y su relación con la deformación de las Sierras Australes. *Latinmag* (este volumen).
- Ramos, V. A., 1984. Patagonia: Un continente paleozoico a la deriva? 9° Congreso Geológico Argentino, 2, pp. 311–325.
- Ramos, V. A., 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences* 26, 235–251.
- Rapalini, A. E., Vilas, J.F., 1991. Preliminary paleomagnetic data from the Sierra Grande Formation: tectonic consequences of the first mid-Paleozoic paleopoles from Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 4 (1–2), 25–41.
- Rapalini A. E., López de Luchi M., Tohver E., Cawood P., 2013 The South American ancestry of the North Patagonian Massif: geochronological evidence for an autochthonous origin? *Terra Nova*. doi: 10.1111/ter.12043.
- Scotese C., 2001. Atlas of Earth History, PALEOMAP Project, Arlington, Texas, 52 pp.
- Tomezzoli, R. N., 2009. The apparent polar wander path for South America during Permian-Triassic. *Gondwana Research*, 15, 209-215.
- Tomezzoli, R. N., 2012. Chilenia y Patagonia: un mismo continente alóctono a la deriva? *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (2), 220–237.
- Torsvik T. H., Muller R. D., Van der Voo R., Steinberger B., Gaina C., 2008. Global plate motion frames: toward a unified model. *Reviews of Geophysics* 46, 1–44.
- Torsvik T. H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P., van Hinsbergen D. J., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J. G., McCausland P.J., Cocks, L.R.M. 2012. Phanerozoic Polar Wander and Paleogeography. *Earth Science Reviews*, 114, 325-368.
- Van der Voo, R., 1993. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ziegler, P.A., Cloetingh, S., van Wees, J.R., 1995. Dynamics of intraplate compressional deformation: the Alpine foreland and other examples. *Tectonophysics*, 252, 7-59.
- Zhong S., Zhang N., Li Z., Roberts J., 2007. Supercontinent cycles, true polar wander, and very long-wavelength mantle convection. *Earth and Planetary Science Letters* 261, 551–564.