

PALEOMAGNETISMO Y FÁBRICA MAGNÉTICA DE IGNIMBRITAS DEL JURÁSICO SUPERIOR DEL SUR DE PATAGONIA

C.G. Puigdomenech^{1*}, E. Renda¹, R. Somoza¹, H. Vizán¹, G.K. Taylor²,
R. Fernández³, C. Rodríguez Amenabar⁴

¹ IGEBA, Buenos Aires, Argentina

² Plymouth University, Plymouth, U.K.

³ INREMI, La Plata, Argentina

⁴ IDEAN, Buenos Aires, Argentina

* e-mail: carlapuigdo@gmail.com

ABSTRACT

We report paleomagnetic and AMS results from seventeen sites of *ca* 153 Ma ignimbrites in the Deseado massif, southern Patagonia. AMS results are variable, with the magnetic fabric controlled by ferromagnetic minerals in some of the units and paramagnetic minerals in other units. Directional AMS data reveal the dominance of oblate to triaxial ellipsoids, that in most cases, can be used to explore the local direction of transport from the imbrication of the magnetic foliation and subordinately from the direction of the magnetic lineation.

Although the paleomagnetic results may not fully averaged out the secular variation of the paleofield, the computed time-averaged paleomagnetic vector yields a paleopole (Lat. 86° S, Long. 55° E, $dp=12^\circ$, $dm=16^\circ$) indistinguishable from Jurassic and Cretaceous poles of South America, strongly suggesting that Patagonia has been in its present-day position with respect to the main continent since at least the Late Jurassic. The paleomagnetic data point to a long period (*ca* 65 Ma.) of ultra-slow polar wander for South America. The results further indicate that \sim 155 Ma poles from South America (Patagonia) and North America are compatible with a GAD geometry of the paleofield if appropriate plate reconstructions are applied. The South American poles suggest nonoccurrence of a true polar wander episode in the Late Jurassic.

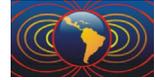
Keywords: Late Jurassic – Western Gondwana – Patagonia – Paleomagnetism - Ignimbrites - AMS

Introducción

La configuración del sudoeste de Gondwana para épocas previas al desmembramiento del supercontinente es motivo de controversias. Varios autores han propuesto que Patagonia, o al menos el sur de Patagonia (el macizo del Deseado), habría integrado un microcontinente que derivó desde el sur de África hasta adosarse definitivamente a América del Sur en algún momento entre el Jurásico y el Cretácico Temprano (ej. Marshall, 1994; MacDonald *et al.*, 2003; Martin, 2007). De interés para la evaluación de estos modelos tectónicos, los estudios paleomagnéticos han mostrado rotaciones tectónicas horarias en rocas triásicas del centro de la región del Deseado (Somoza *et al.*, 2008) y ausencia de rotaciones en rocas del Jurásico Tardío en el pie oriental de la Cordillera Patagónica (Iglesia Llanos *et al.*, 2003). Con el objetivo de mejorar el conocimiento de la integridad de la región y de la deformación asociada a la ruptura de Gondwana, se llevaron a cabo muestreos paleomagnéticos en ignimbritas de 153 Ma (edades concordantes K/Ar en biotita y SHRIMP en circón) que afloran en el centro de la región del Deseado (Echeveste *et al.*, 1999).

Unidades y muestreo

Se recolectaron muestras en 17 sitios que representan un bloque estructural de unos 2500 km² donde



afloran tres grandes mantos principales de ignimbritas (Las Lajas, Flecha Negra y Valenciana, Fig. 1) y varias ignimbritas subordinadas que en general subyacen a esas tres unidades principales. El muestreo fue orientado a representar la mayor cantidad posible de unidades, no obstante es posible que alguna de las unidades se haya muestreado en más de un sitio (ej. ignimbrita Flecha Negra representada por los sitios C5 y C9; Fig. 1). El control de la paleohorizontal se llevó a cabo mediante tobas intercaladas entre las unidades y mediante observación de la fábrica de compactación en las ignimbritas. Las unidades se disponen de manera subhorizontal en la mayoría de los sitios.

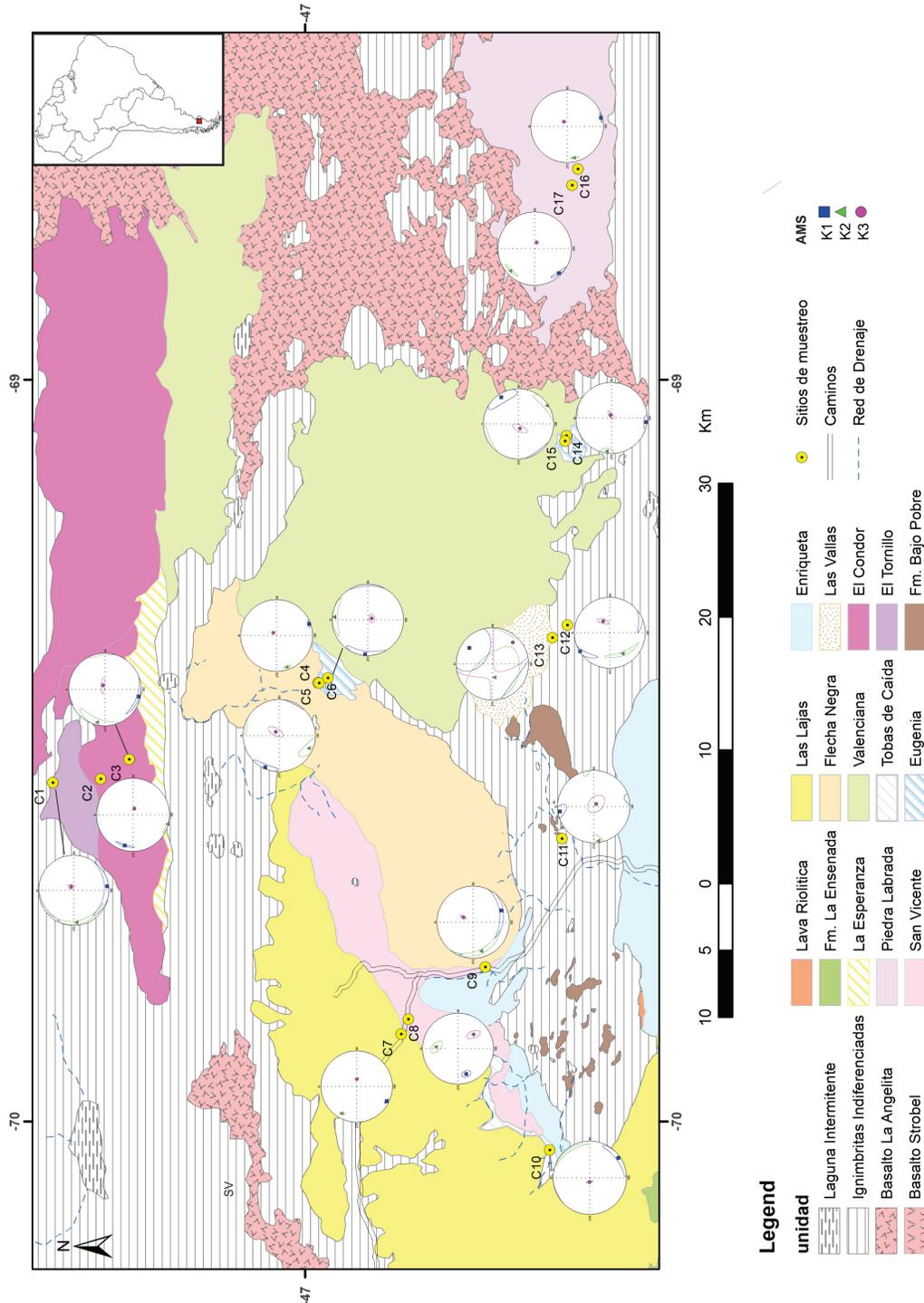
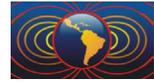


Figura 1. Geología del área de estudio, modificado de Echeveste *et al.* (1999). Se muestran los elipsoides de AMS obtenidos en cada uno de los sitios.



Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (AMS)

El valor de la susceptibilidad magnética total en algunos sitios es compatible con un predominio de minerales paramagnéticos, posiblemente biotitas (Fig. 2, sitios C3, C11 y C17). En estos sitios se observaron elipsoides oblatos (C3), prolados (C11) y triaxiales (C17). Tentativamente se considera que la imbricación del plano de foliación magnética es un indicador de la dirección local de transporte, con el plano inclinándose hacia la proveniencia. Asimismo, en estos sitios “paramagnéticos” se interpreta que la lineación magnética es mayormente una lineación de intersección que coincide con el eje rotacional de las láminas de biotita, y además se considera que este eje se dispone perpendicular a la dirección de transporte. De esta manera, una dispersión mayor de las biotitas alrededor del eje de rotación lleva a definir elipsoides prolados (C11), mientras que una dispersión menor define elipsoides triaxiales (C17). De acuerdo con el esquema descrito, en ambos casos la lineación magnética sería perpendicular a la dirección de transporte.

En otros sitios el valor de la susceptibilidad total apunta a una fábrica magnética dominada por minerales ferromagnéticos (Fig. 2, sitios C2, C4, C9, C8, C13). Tentativamente se asigna valor cinemático a la imbricación de la foliación magnética. La lineación magnética es, en general, paralela o perpendicular a la dirección de máxima inclinación del plano de foliación. Estudios anteriores mostraron que el eje k_1 en elipsoides de ignimbritas ferromagnéticas tiende a ser paralelo a la dirección local de transporte (Singer, 2014), lo cual podría aplicarse a la interpretación del elipsoide del sitio C2. La interpretación para el sitio C4 necesita más investigación, mientras que en el sitio C9 se observan 2 conjuntos de muestras cuyos k_1 se disponen unos paralelos y otros perpendiculares a la dirección de máximo hundimiento del plano de foliación magnética. La única diferencia que se detectó en este último sitio es que los especímenes cuyo k_1 es paralelo a la inclinación de la foliación muestran valores de anisotropía (P) un poco menores que aquellos cuyo K_1 se dispone paralelo al rumbo del plano de foliación, aunque la diferencia (valores de $P = 3.2$ vs. 4.6) no parece ser relevante.

El sitio C8 muestra un elipsoide triaxial con el plano de foliación cerca de la vertical. Es necesario realizar estudios adicionales para discutir sobre el origen de este elipsoide. Por su parte, el sitio C13 muestra una fábrica magnética muy desorganizada. Este sitio registra alteración de posible origen hidrotermal, seguramente asociada al evento volcánico que originó la ignimbrita. Es interesante destacar que el calentamiento artificial de estas muestras durante el proceso de desmagnetización progresiva redujo al 30% el valor de la susceptibilidad total del sitio, mejorando un poco el orden de la fábrica magnética (4 de 6 muestras calentadas definen un elipsoide oblatado con foliación horizontal, mientras que las 2 muestras restantes tienen foliaciones verticales subparalelas). El hecho de que el calentamiento redujo el valor de susceptibilidad y mejoró el ordenamiento de la fábrica magnética sugiere que el proceso hidrotermal generó magnetitas en ausencia de un campo de esfuerzos ordenador como para definir una fábrica magnética.

Paleomagnetismo

El comportamiento paleomagnético fue simple. En todos los casos se pudo definir una componente de alta coercitividad y alta temperatura de desbloqueo, que en algunos casos se observó luego de eliminar una componente viscosa. El agrupamiento intra-sitio de vectores es muy bueno, con la excepción del sitio C13, el cual exhibe un grupo de vectores definido por 3 muestras, otro grupo formado por 2 muestras y otra muestra en una dirección diferente. Cabe mencionar que este sitio es aquel que fue afectado por actividad hidrotermal (sitio C13 en Fig. 2, véase discusión arriba). En la mayoría de los sitios el principal portador de la remanencia es magnetita pobre en titanio, aunque una resistencia alta a la demagnetización por campos alternados en algunos sitios puso en evidencia la presencia de titanohematitas.

En trece sitios se observó una magnetización de polaridad reversa, lo cual guarda coherencia con la edad isotópica de 153 Ma, y sugiere que las ignimbritas estudiadas adquirieron sus remanencias durante el intervalo de polaridades predominantemente reversas que ocurrió entre aproximadamente 151 y 155 Ma, y

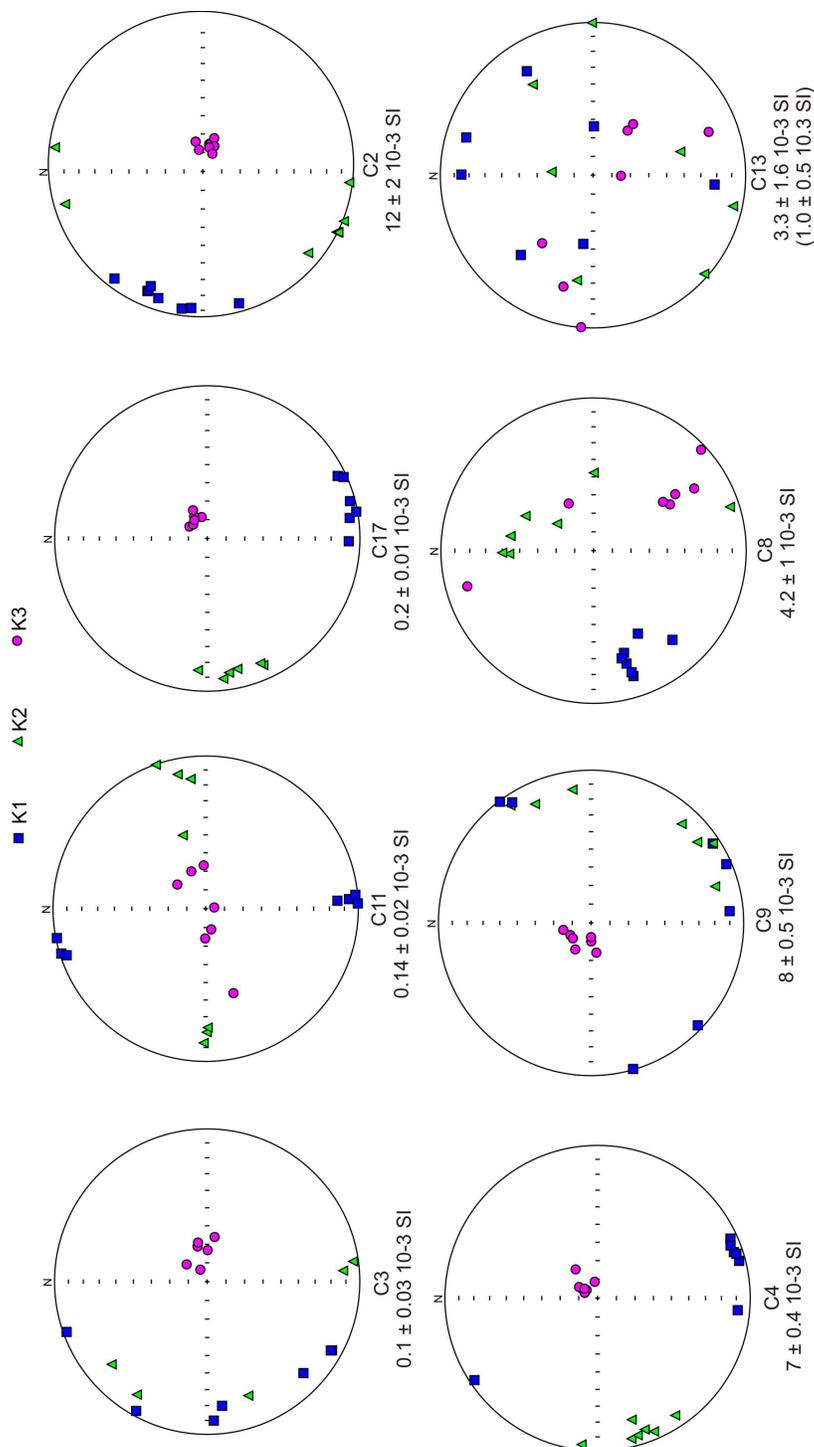
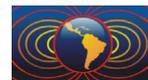
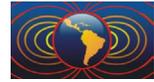


Figura 2. Tipos de fábricas magnéticas observados. Al pie de cada estereograma se muestra el valor medio de la susceptibilidad en el sitio y su desvío standard. Valores entre paréntesis para el sitio C13 corresponden a susceptibilidad luego de procesar las muestras térmicamente hasta 600°C

que es contenido en los crones M24 a M22 (Gradstein *et al.*, 2012).

La dispersión inter-sitio de vectores paleomagnéticos es moderada (Fig. 3a). Para obtener la mejor estimación del promedio temporal del campo paleomagnético se promediaron los resultados de la ignimbrita Flecha Negra y se descartó un sitio cuyo vector paleomagnético muestra una distancia mayor que 2σ de la dirección media. La dirección media obtenida y su estadística *fisheriana* asociada son: Dec = 175.1°, Inc = 63.7°, $\alpha_{95} = 9.3^\circ$, k = 16, n = 15. La posición del eje paleomagnético correspondiente a este paleocampo resulta Lat. 86° S, Long. 55° E, dp = 12°, dm = 16°.



El polo de las ignimbritas del macizo del Deseado es comparable con el que obtuvo Iglesia Llanos (2003) sobre ignimbritas de edad similar que afloran en el pie de la Cordillera Patagónica, unos 200 km al oeste de la zona de estudio, lo que sugiere integridad estructural del macizo del Deseado desde el Jurásico Tardío. Asimismo, el polo es idéntico a los polos de 145-125 Ma del NE de Brasil (ej. Ernesto *et al.*, 2003), sugiriendo integridad tectónica entre Patagonia y la zona cratónica de América del Sur desde ~155 Ma. Somoza y Zaffarana (2008) determinaron que América del Sur no experimentó movimiento perceptible con respecto al polo entre 125 y 90 Ma. Los resultados ahora disponibles permiten sugerir que este período de muy poca deriva polar perduró al menos unos 65 Ma. (155-90 Ma).

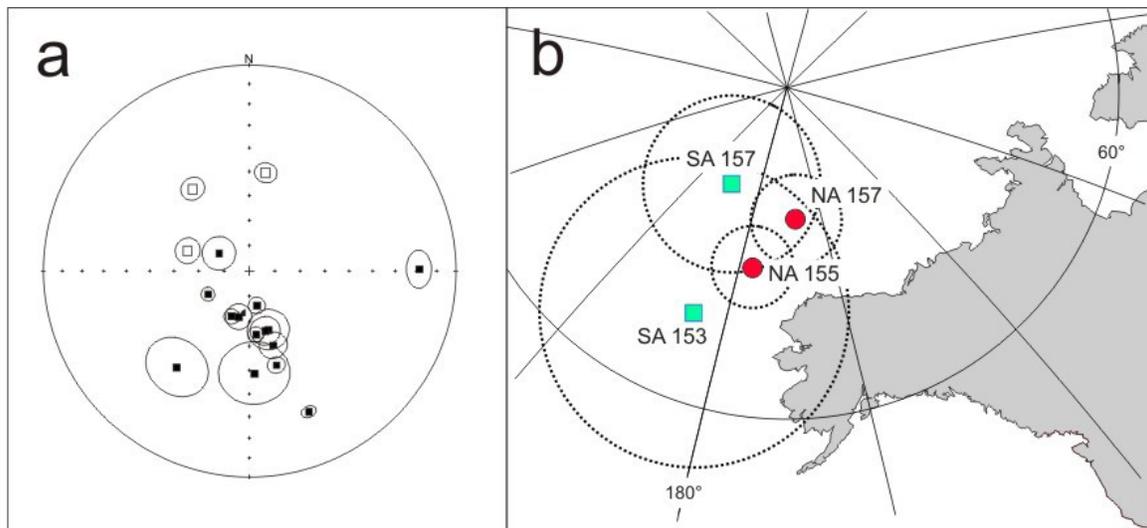


Figura 3. a) direcciones paleomagnéticas aisladas en los 17 sitios de muestreo de este trabajo. b) polos paleomagnéticos del Jurásico Tardío de América del Norte (círculos rojos, Kent *et al.*, 2015) y América del Sur (cuadrados verdes, Iglesia Llanos *et al.*, 2003 y este trabajo) en coordenadas de América del Norte. Los números indican las edades de los polos.

El campo geomagnético del Jurásico Tardío sobre las Américas

En general, hay dos factores que pueden llevar a conflictos entre modelos que proponen la curva de deriva polar (CDP) global: la selección de polos paleomagnéticos y las reconstrucciones que se aplican para llevar los polos a un sistema de coordenadas determinado. Uno de los problemas con la selección de polos paleomagnéticos surge de utilizar bases de datos globales (ej. *IAGA Global Paleomagnetic Database*) donde la falta de evaluación directa lleva a seleccionar datos repetidos, polos con dataciones obsoletas, polos de áreas móviles (ej. Torvik *et al.*, 2012). La evaluación de la aptitud paleomagnética de cada dato a usar (ej. Kent y Irving, 2010) reduce la posibilidad de que surjan los problemas mencionados arriba, pero la selección de algunos polos puede ser aún inadecuada si no se analiza la tectónica de la localidad de muestreo (ej. véase discusión sobre el Cretácico Tardío de América del Norte en Somoza, 2011).

Recientemente, Kent *et al.* (2015) determinaron dos polos paleomagnéticos sobre kimberlitas de 157-155 Ma que afloran en el este de Canadá. Con este resultado los autores discuten las posibles consecuencias que surgen de dos modelos de CDP globales cuando se observan en coordenadas de América del Norte. Uno de estos modelos predice una deriva pausada de América del Norte entre 180 y 140 Ma (Torsvik *et al.*, 2012), mientras que el otro predice una deriva rápida entre 160 y 145 Ma (Kent y Irving, 2010). Los nuevos resultados paleomagnéticos en Kent *et al.* (2015) muestran una afinidad mayor con la hipótesis de la deriva continental rápida, la cual estos autores interpretan en términos de movimiento de toda la Tierra sólida con respecto al eje de rotación del planeta (*true polar wander*, TPW).



La Figura 3b muestra que los polos del Jurásico Tardío de Patagonia son compatibles con sus contemporáneos de Canadá cuando se transfieren a América del Norte aplicando las reconstrucciones listadas por Torsvik *et al.* (2012). Asimismo, nuestra hipótesis de poca deriva polar de América del Sur sería incompatible con la propuesta de un evento de TPW durante el Jurásico Tardío para explicar la CDP de América del Norte. Esto es debido a que, por definición, la redistribución de masas que lleva a un evento de TPW requiere de una rotación del manto según un eje ecuatorial, mientras que la poca deriva polar observada en América del Sur solamente admitiría una rotación del continente según el eje paleomagnético. Pensamos que la CDP de América del Norte podría ser un producto exclusivo de la tectónica de placas.

Referencias

- Echeveste, H., Fernández, R., Llambías, E., Tessone, M., Schalamuk, I., Bellieni, G., Piccirillo, E., De Min, A., 1999. Ignimbritas tardías de alto grado en la Formación Chon Aike (Jurásico) Macizo del Deseado, Santa Cruz. In XIV Congreso Geológico Argentino, Actas 2, 182-185, Salta, Argentina
- Ernesto, M., Bellieni, G., Piccirillo, E. M., Marques, L. S., de Min, A., Pacca, I. G., Martins, G., Macedo, J.W.P., 2003. Paleomagnetic and Geochemical Constraints on the Timing and Duration of the CAMP Activity in Northeastern Brazil, in Hames *et al.* (eds), The Central Atlantic Magmatic Province: Insights from Fragments of Pangea. *AGU Geophys. Mon.*, 136, 129-149
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., Ogg, G.M., 2012. The Geologic Time Scale. Elsevier, 1144 pp.
- Iglesia Llanos, M. P., Lanza, R., Riccardi, A. C., Geuna, S. E., Laurenzi, M. A., Ruffini, R., 2003. Palaeomagnetic study of the El Quemado complex and Marifil formation, Patagonian Jurassic igneous province, Argentina. *Geophys. J. Int.*, 154, 599–617
- Kent, D. V., Irving, E., 2010. Influence of inclination error in sedimentary rocks on the Triassic and Jurassic apparent polar wander path for North America and implications for Cordilleran tectonics. *J. Geophys. Res.*, 115, B10103, doi:10.1110.11029/12009JB007205.
- Kent, D. V., Kjarsgaard, B. A., Gee, J. S., Muttoni, G., Heaman, L. M., 2015. Tracking the Late Jurassic apparent (or true) polar shift in U-Pb-dated kimberlites from cratonic North America (Superior Province of Canada). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 16, 983–994, doi:10.1002/2015GC005734.
- MacDonald, D., Gómez-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. Petrol. Geol.*, 20, 287-308
- Marshall, J. E. A., 1994. The Falkland Islands: A key in Gondwana paleogeography. *Tectonics* 13, 499-514.
- Martin, A. K., 2007. Gondwana breakup via double-saloon-door rifting and seafloor spreading in a backarc basin during subduction rollback. *Tectonophysics*, 445, 245–272
- Singer, S. E., 2014. Paleomagnetismo y anisotropía de la susceptibilidad magnética de ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna, Andes Centrales: su aplicación a la reconstrucción volcano-tectónica. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, 284 p.
- Somoza, R., 2011. The Late Cretaceous paleomagnetic field in North America: a South American perspective, *Can. J. Earth Sci.* 48, 1483-1488
- Somoza, R., Zaffarana, C. B., 2008. Mid-Cretaceous polar standstill of South America, motion of the Atlantic hotspots and birth of the Andean cordillera. *Earth Planet. Sci. Lett.* 271, 267-277
- Somoza, R., Vizán, H. Taylor G. K., 2008. Tectonic rotations in the Deseado Massif, southern Patagonia, during the breakup of Western Gondwana, *Tectonophysics*, 460, 178-185
- Torsvik, T. H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P. V., van Hinsbergen, D., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P. J. A., Cocks, R. M., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth Sci. Rev.*, 114, 325–368