



REVISIÓN DE LA CURVA DE DERIVA POLAR APARENTE DE GONDWANA DURANTE EL PALEOZOICO SUPERIOR, IMPLICANCIAS SOBRE LA CONFIGURACION DE PANGEA

Leandro C. Gallo^{1*}, Renata N. Tomezzoli¹, Alejandra Dalenz Farjat², Roberto M. Hernández²

¹ Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires IGEBAs, CONICET

² GEOMAP S.A, Salta, Argentina

*e-mail: lengallo@gmail.com

ABSTRACT

In order to build an apparent polar wander path (APWP) we have undertaken a rigorous selection of paleomagnetic poles (PP) belonging to Gondwana (South America, Africa, Antarctica and Australia) from the Carboniferous to the Triassic. The APWP has 78 PP obtained from sedimentary rocks corrected for inclination shallowing, from sedimentary rocks with syn or post-tectonic magnetizations, the age of the magnetization is restricted and from igneous rocks that are regarded as free from any inclination shallowing bias. The use of PP from all around Gondwana shows geometrically that they would not be substantially affected by inclination shallowing. Visual consistency obtained for each age range supports the construction of this Paleozoic APWP. The results allow a tectonic model for the evolution consistent with a B type Pangea configuration for the Permian and a subsequent transition to Pangea A during the Upper Permian and Triassic.

Keywords: Upper Paleozoic, Pangea, Apparent Polar Wander Path, Paleomagnetism

RESUMEN

Se realizó una selección rigurosa de polos paleomagnéticos (PP) pertenecientes al Gondwana (Sudamérica, África, Antártida y Australia) desde el Carbonífero hasta el Triásico con el objetivo de construir una curva de deriva polar aparente (CDPA) compuesta. La CDPA obtenida cuenta con 78 PP provenientes de rocas sedimentarias corregidos por errores de inclinación, de rocas sedimentarias portadoras de magnetizaciones sin o post-tectónicas, donde la edad de la magnetización se encuentra acotada y de rocas ígneas que se consideran libres de errores de inclinación. La utilización de PP provenientes de todo el Gondwana demuestra geoméricamente que los mismos no estarían afectados significativamente por errores de inclinación. La coherencia visual obtenida para cada intervalo de tiempo soporta la construcción de la CDPA propuesta para el Paleozoico Superior. Los resultados permiten realizar un modelo tectónico para la evolución de Pangea consistente con la configuración tipo Pangea B para el Pérmico y una posterior transición hacia Pangea A durante el Pérmico superior y el Triásico.

Palabras clave: Paleozoico Superior, Pangea, Curva de deriva polar aparente, Paleomagnetismo

La CDPA de Gondwana y el conflicto sobre Pangea

La CDPA de Gondwana Occidental desde el Carbonífero (≈ 358 Ma) hasta el Permo-Triásico (≈ 245 Ma) es objeto de numerosos debates (Torsvik, Van der Voo, 2002; McElhinny *et al.*, 2003; Muttoni *et al.*, 2003; Brandt *et al.*, 2009; Tomezzoli, 2009; Domeier *et al.*, 2012, entre otros), sobre los diferentes modelos de Pangea. Desde la publicación de la primer CDPA de Sudamérica (Vilas, 1981) se observó que los polos carbonífero-pérmicos se ubican en una curva de "tendencia oriental" que implican la ocupación de Gondwana Occidental en latitudes bajas durante el Pérmico inferior (Fig. 1; Tomezzoli, 2009; Rapalini *et al.*, 2006). Si bien no conforman la totalidad, muchos de los paleopolos que sostienen esta curva provienen de rocas sedimentarias.

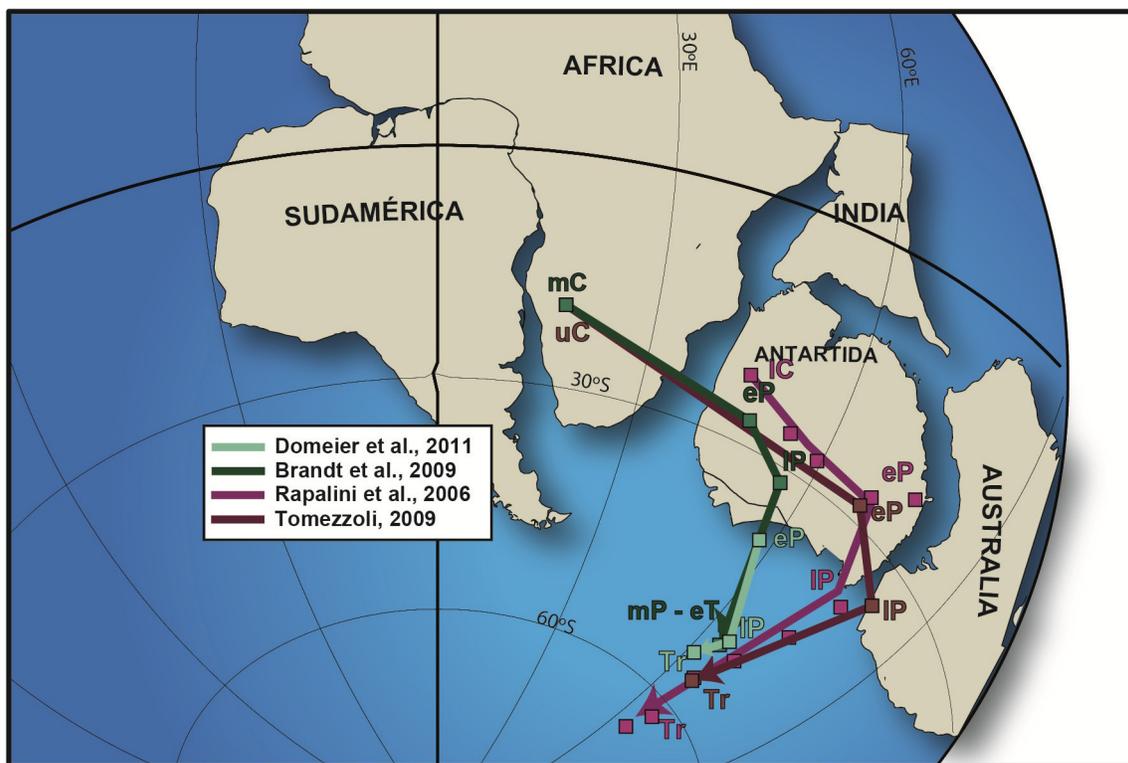


Figura 1. Recorrido de algunas de las CDPA's propuestas para Sudamérica en coordenadas de Sudáfrica rotadas siguiendo los parámetros de Torsvik *et al.*, 2012 . Los tonos verdes corresponden a CDPA's compatibles con una configuración tipo Pangea A y los tonos morados corresponden a las CDPA's compatibles con una configuración tipo Pangea B

Al reconstruir Pangea A (Pangea Wegeneriana) durante el Pérmico inferior con los polos paleomagnéticos disponibles en la actualidad se da una superposición continental entre Laurasia y Gondwana. Una opción posible para reconciliar esta superposición es configurar los continentes en Pangea B, donde Gondwana se encuentra en una posición oriental con respecto a Laurasia (Irving, 1977; Muttoni *et al.*, 2003). Sin embargo, la mayor parte de los geocientistas están de acuerdo con que antes del comienzo de la ruptura de Pangea, la configuración Pangea A sería la correcta para tiempos Jurásicos, donde el NO de África se encuentra ubicado adyacente al margen Atlántico de Norte América (Van der Voo, 2005; Stampfli *et al.*, 2013). Considerando estos factores, la transformación de Pangea B en Pangea A durante el Pérmico, precisa de una zona de mega-cizalla dextral que de acuerdo con Irving (1977) tendría ≈ 3000 km (ver discusión sobre Pangea en Aubele *et al.*, 2012 y Domeier *et al.* 2012). La “crítica falta de evidencia de esta mega-cizalla” (Domeier *et al.*, 2012) condujo al cuestionamiento de la calidad de los datos paleomagnéticos del Carbonífero-Pérmico y hasta se pone en duda el principio básico del método paleomagnético aceptado durante más de 50 años, de que el campo geomagnético fue efectivamente dipolar, axial y geocéntrico a través del Fanerozoico, poniendo en cuestionamiento todos los resultados paleomagnéticos de rocas pre-mesozoicas (Torsvik, Van der Voo, 2002).

Estudios paleomagnéticos recientes en rocas del Paleozoico superior, proponen una CDPA más corta y por lo tanto, compatible con Pangea A (Fig. 1; Brandt *et al.*, 2009; Domeier *et al.*, 2011). En la construcción de tales curvas, gran parte, sino todos los PP previos, debieron ser descartados, tanto aquellos que portaban magnetizaciones sin-tectónicas o post-tectónicas. De esta manera, la base de datos se ve significativamente reducida.

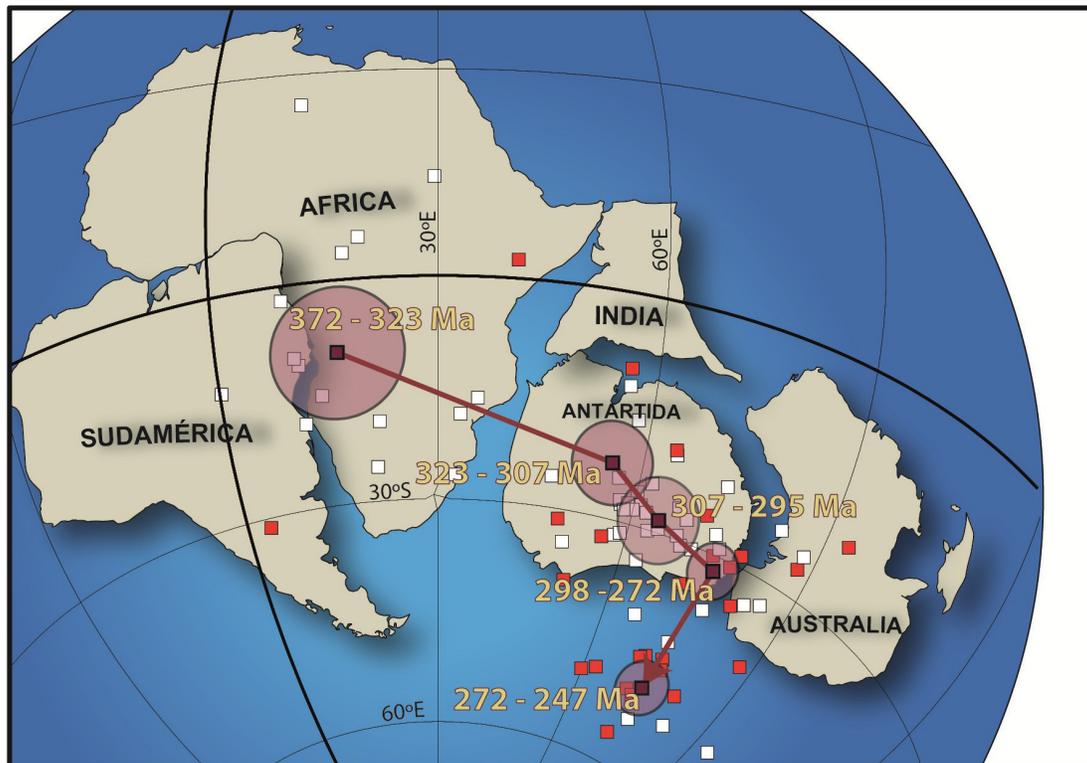


Figura 2. Polos paleomagnéticos seleccionados para la construcción de la CDPA que se muestra en color rosado. Los cuadrados son los PP utilizados para la construcción de la misma, los rojos pertenecen a rocas ígneas o sedimentarias corregidas por errores de inclinación; cuadrados blancos representan los PP provenientes de rocas sedimentarias.

Recientemente, Domeier *et al.* (2012), retoman el trabajo de Rochette y Vandamme (2001) y subrayan que los errores de inclinación de las rocas sedimentarias se traducen en registros paleolatitudinales imprecisos, proponiendo que los mismos son los causantes de la superposición cortical existente entre Laurasia y Gondwana. Con el objetivo de minimizar los errores de inclinación, los últimos trabajos (Domeier *et al.*, 2012; Torsvik *et al.*, 2012; Torsvik, Cocks, 2013) simplifican el problema y aplican un único factor de aplastamiento $f=0.6$ para todas las rocas sedimentarias, sean portadoras de MRD, MRpD, MRQu acotadas en el período de tiempo, MRQu adquiridas millones de años después de la depositación y rocas sedimentarias corregidas por errores de inclinación a partir de diferentes métodos por sus autores (i.e. Rapalini *et al.*, 2006; Brandt *et al.*, 2009). De esta manera, se elimina la superposición de los continentes en Pangea A, ya que Laurasia y el resto de Gondwana Occidental se ubican en hemisferios diferentes, por lo tanto, al aumentar las inclinaciones, ambos cratones se mueven hacia sus respectivos polos en sentido opuesto.

Construcción de la CDPA de Gondwana

Se realizó una selección rigurosa de polos paleomagnéticos (PP) pertenecientes al Gondwana (Sudamérica, África, Antártida, India y Australia) desde el Carbonífero hasta el Triásico con el objetivo de construir una curva de deriva polar aparente (CDPA) compuesta (Tabla 1).

La CDPA obtenida (Fig. 2; Tabla 1) cuenta con 93 PP rotados a coordenadas de Sudáfrica siguiendo los parámetros de rotación de Torsvik *et al.* (2012). Proviene tanto de rocas sedimentarias corregidas por errores de inclinación, de rocas sedimentarias con magnetizaciones sin o post-tectónicas, donde la edad de la magnetización se encuentra acotada y de rocas ígneas que se consideran libres de errores de inclinación.

En este estudio, todos los paleopolos provenientes de rocas sedimentarias ayudan a constreñir y sostener la



ubicación de aquellos de rocas ígneas. Encontramos que los polos seleccionados para Sudamerica, África y Australia portan una coherencia significativa para cada rango de tiempo entre el Carbonífero y el Pérmico. Usamos este criterio para sostener la construcción de una CDPA compuesta para Gondwana durante el Carbonífero-Pérmico.

Tabla 1. Referencias: Lat, Long = latitud y longitud del polo medio. A95 = radio del círculo del 95% de confianza del polo medio. N = número de paleopolos.

Edad Central (Ma)	Rango Etario (Ma)	Lat (°)	Long (°)	A95 (°)	N	Australia	Africa	Sudamérica	Madagascar	Arabia
259.5 Ma	272 - 247	-49.1	73.2	3.6	12	1	4	7		
285 Ma	298 - 272	-31.9	75.3	3.6	20	11	3	6		
301 Ma	307 - 295	-28.4	64.3	5.6	15	5	6	2	1	1
315 Ma	323 - 307	-22.7	55.5	5.5	16	6	10			
347.5 Ma	372 - 323	-9.7	16.5	8.9	15	11	4			

En relación a los errores de inclinación en la construcción de la CDPA, intentamos un abordaje diferente al propuesto en trabajos anteriores, en los que se optó por descartar todos los polos provenientes de rocas sedimentarias (Brandt *et al.*, 2009; Domeier *et al.*, 2011; Yokoyama *et al.*, 2014) reduciendo de manera drástica la cantidad de paleopolos y en otros, se aplicó una corrección única de $f = 0.6$ para todas las rocas sedimentarias (Domeier *et al.*, 2012; Torsvik *et al.*, 2012; Torsvik, Cocks, 2013). En este trabajo realizamos un enfoque alternativo, con el objetivo de no descartar la extensa base de datos de Gondwana construida durante más de 50 años, se utilizaron todos los polos de rocas sedimentarias. Al mismo tiempo, se sostiene que la corrección por un único factor de aplastamiento a todo el universo, tan complejo y extenso de rocas sedimentarias, incurre necesariamente en sesgos latitudinales. Para reducir estos sesgos latitudinales, se incluyeron estudios paleomagnéticos cuyas localidades de muestreo provienen de longitudes antípodas (*i.e.* Sudamérica y Australia). Los PP penecontemporáneos obtenidos en longitudes antípodas, si estuvieran afectados por compactación y consecuentemente errores de inclinación, deberían tender a alejarse en direcciones opuestas y el resultado sería la dispersión y el no agrupamiento de los PP pertenecientes a un mismo rango etario. Sin embargo, hay un agrupamiento marcado de los PP pertenecientes a Gondwana para todos los rangos etarios, con lo cual se descartaría la influencia de los errores de inclinación, cabiendo destacar que los polos provenientes de rocas ígneas libres de errores de inclinación (colores rojos en la Fig. 2) comparten la misma posición.

Comparacion de las CDPA's de Gondwana y Laurasia.

La mayor parte de los de los geocientistas están de acuerdo con que antes del comienzo de la ruptura de Pangea, la configuración Pangea A sería la correcta para tiempos Triásicos-Jurásicos, donde el NO de África se encuentra ubicado adyacente al margen atlántico de Norte América (Van der Voo, 2005).

Cuando la CDPA de Laurasia (Cocks, Torsvik, 2011) es rotada a coordenadas del NO de África con los parámetros de rotación de Bullard *et al.* (1965) en la configuración Pangea A y comparada con la CDPA propuesta en este trabajo (Tabla 1), las dos curvas solo comparten las posiciones pérmicas superiores - triásicas. Cuando se comparan ambas CDPA's en coordenadas del NO africanas en una configuración tipo Pangea B con los parámetros de rotación propuestos por Morel e Irving (1981), se observa una congruencia en los polos del Carbonífero y del Pérmico inferior. Esto confirma que la configuración Pangea A, no puede ser extrapolada al intervalo Carbonífero-Pérmico inferior y que la configuración de tipo Pangea B sería la correcta para hasta el Pérmico superior donde comenzaría la transformación hacia la Pangea A.



Conclusiones

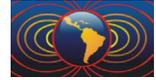
Se realizó una selección rigurosa de polos paleomagnéticos (PP) pertenecientes al Gondwana (Sudamérica, África, Antártida, India y Australia) desde el Carbonífero hasta el Triásico con el objetivo de construir una curva de deriva polar aparente (CDPA) compuesta (Tabla 1). La CDPA obtenida (Fig. 2) cuenta con 78 PP provenientes de rocas sedimentarias corregidas por errores de inclinación, de rocas sedimentarias con magnetizaciones sin o post-tectónicas, donde la edad de la magnetización se encuentra acotada y de rocas ígneas que se consideran libres de errores de inclinación. Incluimos en la base de datos propuesta, estudios paleomagnéticos cuyas localidades de muestreo provienen de longitudes antípodas (*i.e.* Sudamérica y Australia). Los PP obtenidos en longitudes antípodas descartarían la influencia de los errores de inclinación. Los resultados permiten realizar un modelo tectónico para la evolución de Pangea tal como fue planteado por Muttoni *et al.*, (2003), consistente con la configuración tipo Pangea B para el Pérmico y una posterior transición hacia Pangea A durante el Pérmico superior y el Triásico.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con la colaboración y logística de XR-GeoMap y financiado con los Proyectos de Investigación UBACyT 894, PICT 2272 y Proyecto de Vinculación Tecnológica “Ing. E. Mosconi”.

Referencias

- Aubele, K., V. Bachtadse, G. Muttoni, A. Ronchi, M. Durand, 2012. A paleomagnetic study of Permian and Triassic rocks from the Toulon-Cuers Basin, SE France: Evidence for intra-Pangea block rotations in the Permian. *Tectonics*, 31 (3), 1-14, TC3015, doi: 10.1029/2011TC003026.
- Aubele, K., V. Bachtadse, G. Muttoni, A. Ronchi, M. Durand, 2009. Paleomagnetism of the Santa Fé Group, central Brazil: Implications for the late Paleozoic apparent polar wander path for South America. *Journal of Geophysical Research*, 114 (B2), 1–19.
- Bullard, E., Everett, J. E., Smith, A. G., 1965. The fit of the continents around the Atlantic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 258 (1088), 41-51.
- Cocks, L.R.M., Torsvik, T. H., 2011. The Palaeozoic geography of Laurentia and western Laurussia: A stable craton with mobile margins. *Earth-Science Reviews*, 106 (1-2), 1–51.
- Domeier, M., R. Van der Voo, E. Tohver, R. N. Tomezzoli, H. Vizan, T. H. Torsvik, J. Kirshner, 2011. New Late Permian paleomagnetic data from Argentina: Refinement of the apparent polar wander path of Gondwana. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12 (7), 1–21.
- Domeier, M., Van der Voo, R., Torsvik, T. H., 2012. Paleomagnetism and Pangea: The road to reconciliation. *Tectonophysics*, 514, 14–43.
- Irving, E. , 1977. Drift of the major continental blocks since the Devonian. *Nature*, 270, 304-309.
- McElhinny, M.W., Powell, C.M., Pisarevsky, S. a., 2003. Paleozoic terrances of eastern Australia and the drift history of Gondwana. *Tectonophysics*, 362 (1-4), 41–65.
- Morel, P., Irving, E., 1981. Paleomagnetism and the evolution of Pangea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 86 (B3), 1858-1872.
- Muttoni, G., Kent, D. V., Garzanti, E., Brack, P., Abrahamsen, N., Gaetani, M., 2003. Early Permian Pangea “B” to Late Permian Pangea “A”. *Earth and Planetary Science Letters*, 215 (3-4), 379–394.
- Rapalini, A.E., Fazzito, S. y Orué, D., 2006. A new late Permian paleomagnetic pole for stable South America: The independencia group, eastern Paraguay. *Earth, Planets and Space*, 58 (10), 1247–1253.
- Rochette, P., Vandamme, D., 2001. Pangea B: An artifact of incorrect paleomagnetic assumptions? *Annali di Geofisica*, 44 (3), 649–658.
- Stampfli, G. M., Hochard, C., Vérard, C., Wilhem, C., 2013. The formation of Pangea. *Tectonophysics*, 593, 1–19.



- Tomezzoli, R.N., 2009. The Apparent Polar Wander Path for South America during the Permian–Triassic. *Gondwana Research*, 15 (2), 209–215.
- Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P., van Hinsbergen, D.J.J., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J., Cocks, L.R.M., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114 (3-4), 325–368.
- Torsvik, T. H. y Cocks, L. R. M., 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, 24 (3-4), 999–1030.
- Torsvik, T. H. y Van der Voo, R., 2002. Refining Gondwana and Pangea palaeogeography: Estimates of Phanerozoic non-dipole (octupole) fields. *Geophysical Journal International*, 151 (3), 771–794.
- Van der Voo, R., 2005. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus oceans. Cambridge University Press.
- Vilas, J. F. ,1981. Palaeomagnetism of South American rocks and the dynamic processes related with the fragmentation of Western Gondwana. *Paleoreconstruction of the Continents*, 106-114.
- Yokoyama, Brandt, E. D, Tohver E., Trindade, R. I. F., 2014. Palaeomagnetism of the Permo-Triassic Araguainha impact structure (Central Brazil) and implications for Pangean reconstructions. *Geophysical Journal International*, 198 (1), 154–163.