



LA FORMACIÓN DEL GONDWANA: CIERTAS RESTRICCIONES PALEOMAGNETICAS

Augusto E. Rapalini¹ y Leda Sánchez Bettucci²

¹ Instituto de Geofísica Daniel Valencio (INGEODAV), Departamento de Ciencias Geológicas, Fac. Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA, Buenos Aires. rapalini@gl.fcen.uba.ar

² Area Geofísica y Geotectónica, Instituto de Geología y Paleontología, Facultad de Ciencias, Univ. Nac. de la República, Montevideo, 11400, Uruguay, leda@fcien.edu.uy

Keywords: Paleomagnetism, Rodinia, Gondwana, Paleogeography, Proterozoic

INTRODUCCIÓN

Según Hoffman (1991), el Neoproterozoico habría estado caracterizado por la ruptura del supercontinente Rodinia, la dispersión de sus bloques constituyentes y la formación del Gondwana al finalizar la era. Rodinia habría existido entre los 1000 y 750 Ma y habría estado integrado por Laurentia en el centro, con los bloques que posteriormente integrarían Gondwana, Báltica y Siberia distribuidos en su periferia. Este supercontinente se habría comenzado a desintegrar hacia los 750 Ma, aproximadamente, produciéndose una reorganización global de las placas tectónicas a finales del Proterozoico, dando origen a la formación del Gondwana (Rogers et al., 1995). Han sido múltiples los modelos propuestos para la formación del Gondwana (e.g. Brito Neves y Cordani, 1991, Brito Neves et al., 1999, Trompette, 2000, Meert, 2001, entre otros) sin que se haya alcanzado consenso.

La inexistencia de fondos oceánicos preservados y de trazas de puntos calientes así como la escasez del registro fósil dificultan los estudios paleogeográficos en el Proterozoico. Estas limitaciones provocan que el paleomagnetismo sea esencial para las reconstrucciones paleogeográficas proterozoicas. La base de datos paleomagnéticos precámbricos es pequeña, inhomogénea y de confiabilidad discutible (Meert, 2001), si bien en la última década la misma se ha visto sensiblemente mejorada en calidad. Una reciente recopilación de la información paleomagnética disponible ha sido también provista por Meert (2001).

Uno de los bloques cratónicos particularmente conflictivo respecto a la posición que ocupaba en Rodinia y su posterior evolución es el cratón del Río de la Plata (RP, Dalla Salda et al., 1988, Basei et al., 2000). La ubicación de RP en Rodinia ha sido supuesta casi siempre considerando la inexistencia de movimientos relativos entre este bloque y Amazonia (AM) en el Neoproterozoico. Numerosos trabajos recientes sugieren lo contrario (véase Cordani et al., 2000). Del mismo modo muchas reconstrucciones para el Vendiano no dan cuenta del terreno Pampia (Ramos et al., 1993), yuxtaponiendo el margen occidental de RP con el oriental de Laurentia (ej. Dalziel et al., 1994). Varios autores han postulado la existencia de un océano entre Pampia y RP para finales del Proterozoico (Kraemer et al., 1995). Rapela et al. (1998) han sugerido que el mismo se cerró en el Cámbrico (ca. 530 Ma). La obtención de la curva de desplazamiento polar aparente (CDPA) neoproterozoica de RP ayudaría a solucionar algunas incógnitas mayores: i) cuál fue la posición de RP en Rodinia, ii) la edad de su separación y de su anexión al Gondwana, iii) su comportamiento cinemático entre ambos eventos y iv) la relación con los bloques corticales que lo rodean.

POLOS PALEOMAGNÉTICOS NEOPROTEROZOICOS DE RP Y OTROS BLOQUES GONDWANICOS

En la Figura 1 se observan los polos paleomagnéticos neoproterozoicos para RP. Ellos son: SA1 (Sierra de las Animas 1, ca.520 Ma, Sanchez Bettucci y Rapalini, 1997, 2001),

SA2 (Sierra de las Animas 2, ca. 551 Ma, Sanchez Bettucci y Rapalini, 1997, 2001), LB (Los Barrientos, ≤ 600 Ma, Rapalini y Rapela, 1999), CA (Campo Alegre, ca. 595 Ma, D'Agrella y Pacca, 1988) y PH (Playa Hermosa, ca. 600 Ma?, Sanchez Bettucci y Rapalini, 2001). Dos polos paleomagnéticos publicados previamente son probables remagnetizaciones: Formación Arroyo del Soldado (Sanchez Bettucci y Rapalini, 1998) y Formación La Tinta (Valencio et al., 1980). Los 5 polos describen una curva que ha sido interpretada como la CDPA de RP entre los 600 y 520 Ma aproximadamente. Los polos CA y PH indican la posición polar para aproximadamente los 600 Ma, mientras que SA2 y LB representan posiciones polares de alrededor de 550 Ma. Obsérvese la coincidencia de estos dos polos con otros de igual edad de otros bloques gondwánicos (Meert y Van der Voo, 1996). Esto corrobora la propuesta de estos autores de que la mayor parte del Gondwana estaba ya formado para esa edad, si bien aún faltan polos coetáneos de algunos bloques del Gondwana Occidental (Amazonia, Africa Occidental, Kalahari).

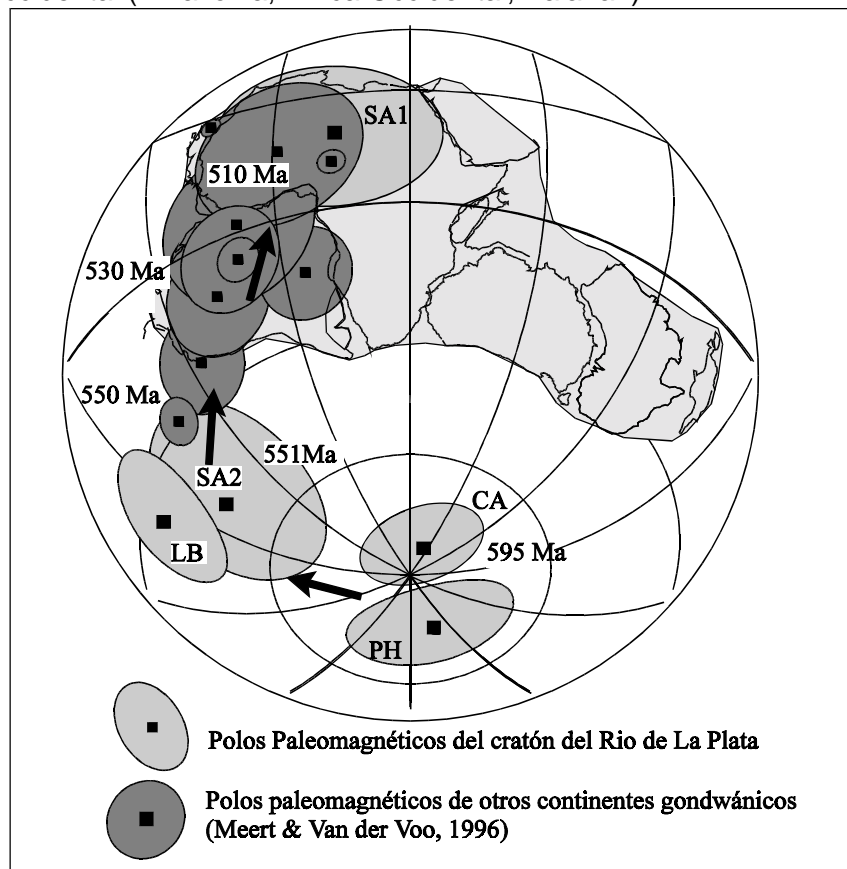


Fig.1: Polos paleomagnéticos neoproterozoicos de RP y del Gondwana. Vease el texto

Los polos de 600 Ma para RP coinciden con dos de similar edad (BS y NB, Saradeth et al, 1989, Fig.2a) del cratón del Nilo Occidental (WN) y con uno de Arabia (AJ, Kellog y Beckmann, 1983). Esto sugiere que RP, WN y Arabia (AR) tenían para los 600 Ma una posición relativa similar a la del Gondwana, es decir, es probable que formaran una sola placa. Otro polo de similar edad corresponde a la diorita de Adma (AD, Morel 1981) que es discordante con los anteriores (Fig.2a), coincidiendo en cambio con los del Cámbrico tardío –Ordovícico temprano. Esto podría indicar una remagnetización de dicha edad. Sin embargo, es posible que se trate de una magnetización primaria dado que volcanitas de similar edad en la misma región han dado una posición polar similar con polaridad opuesta (Morel, 1981). En ese caso, el polo AD está indicando que el cratón del Africa Occidental (WA) se hallaba separado de los bloques mencionados anteriormente. En este caso la única vinculación posible entre AR, WN y RP es a través del cratón de Congo- Sao Francisco (C-SF), lo que sugiere que todos ellos estaban unidos a los 600 Ma. Esto

concuera con Brito Neves et al (1999) y Campos Neto (2000) quienes han propuesto la colisión entre RP y C-SF alrededor de 620 Ma.

Se acepta generalmente que AM y WA se comportaron como un bloque único en el Neoproterozoico (Trompette, 2000; Villeneuve y Corneé, 1994). Esto no ha sido aún examinado mediante paleomagnetismo, pero si se acepta, implicaría que después de los 600 Ma ocurrió una colisión mayor en el proceso de formación del Gondwana. Esta habría involucrado a una placa compuesta por WA y AM (proto Gondwana Occidental) y otra, a la que llamaremos Gondwana Central (Arabia - WN - C-SF - RP). Esta hipótesis es una variante de las propuestas por Trompette (2000) y Meert (2001). Es también posible que el terreno Pampia (Ramos et al. 1993) fuese parte de proto-Gondwana Occidental (Brito Neves et al., 1999). Alkmim et al. (2001) ha propuesto recientemente que la colisión entre AM y RP-C-SF fue un evento tardío en la formación del Gondwana. Desde un punto de vista paleomagnético la edad de la colisión entre proto Gondwana Occidental y Gondwana Central sólo puede ser restringida como más joven que los 600 Ma, aunque en la mayoría de los modelos la colisión entre los bloques mayores ya debiera haber concluido para los 550 Ma. El final de la formación de Gondwana posiblemente no ocurrió hasta comienzos del Cámbrico (ca. 530 Ma) cuando Pampia habría colisionado con RP (Rapela et al., 1998).

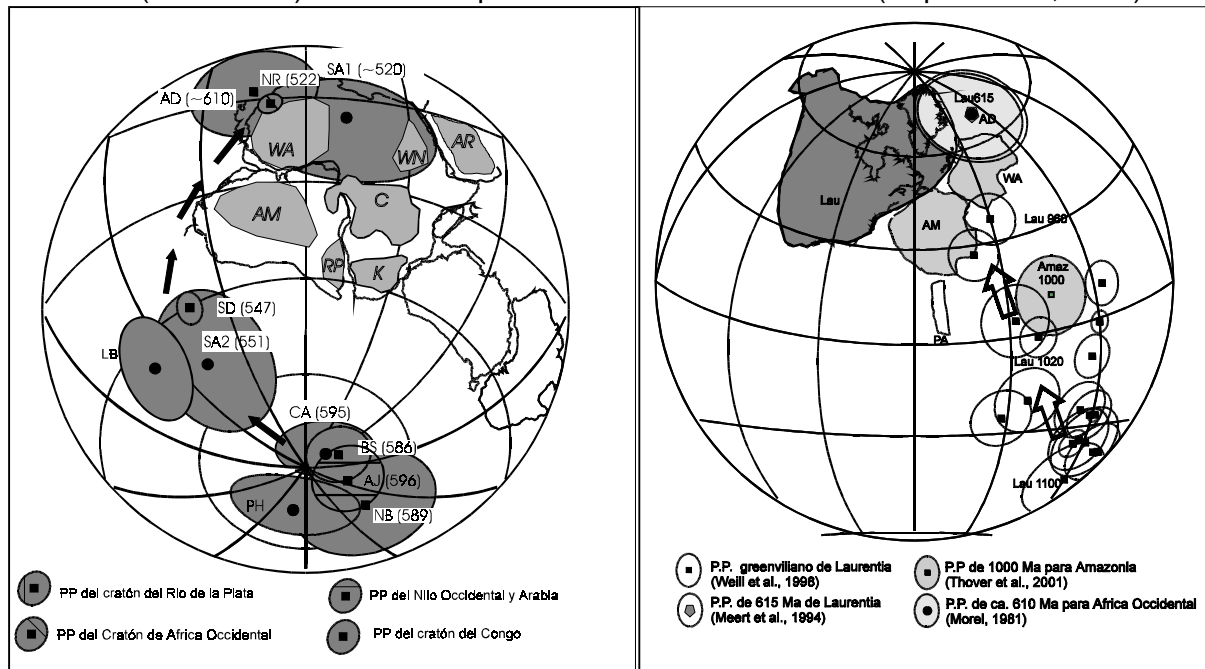


Fig.2:a) Comparación entre polos paleomagnéticos neoproterozoicos de diferentes bloques de Gondwana Occidental; b) Comparación del polo AD de Africa Occidental y un polo de 1000 Ma de Amazonia con polos de similar edad de Laurentia con la paleoreconstrucción propuesta. Más referencias en el texto

El polo AD señala una paleolatitud muy alta para WA en el Vendiano. Lo mismo ha sido propuesto para Laurentia (Meert et al., 1994), sugiriendo que proto Gondwana Occidental y Laurentia estaban próximos. En particular es posible que aun se mantuviesen unidos como en Rodinia. En la Figura 2b se presenta una paleoreconstrucción entre ambos bloques que permite un ajuste perfecto entre el polo AD y el polo de referencia de Laurentia para los 615 Ma (Meert et al., 1994) y una muy buena yuxtaposición entre los actuales márgenes oeste de WA y NO de Laurentia. Este ajuste implica una rotación antihoraria de WA y AM respecto de las reconstrucciones clásicas de Rodinia (por ejemplo, Hoffman, 1991), y ha sido recientemente propuesta en forma independiente para los 1000 Ma por Thover et al. (2001) a partir de un paleopolo de AM. Como se observa en la Fig. 2b, esta reconstrucción produce una buena coincidencia entre el polo de 1000 Ma de AM y otros coetáneos de Laurentia.

LA FORMACION DEL GONDWANA: UNA HIPOTESIS ESPECULATIVA

En la figura 3 se presentan dos posibles reconstrucciones paleogeográficas para los 600 Ma, basadas en la información paleomagnética disponible. La diferencia entre las figuras 3a y b está en la posición de proto-Gondwana Occidental. La Fig. 3a presenta la reconstrucción basada en la superposición del polo AD de WA y el polo de 615 Ma para Laurentia. La posición en el globo ha sido reconstruida para una posición intermedia entre los polos laurénticos de 615 y 580 Ma (Meert et al., 1994). La posición de Báltica está tomada de Dalziel et al. (1994). Gondwana Central ha sido posicionado en función del polo CA (D'Agrella y Pacca, 1988) y Gondwana Oriental en base a los polos paleomagnéticos de ca. 600 Ma de las formaciones Elatina y Yaltipena de Australia (Sohl et al., 2000). Pampia ha sido posicionado como un apéndice de Amazonia (Brito Neves et al., 1999), pero desplazado de la posición relativa actual hacia el oeste (coordenadas actuales). Esto implicaría un significativo desplazamiento relativo levógiro de Pampia previo a su acreción al margen gondwánico y podría explicar su anexión más tardía. Esta reconstrucción sugiere la existencia de un gran océano entre los restos de Rodinia y el Gondwana Central para los 600 Ma. La posición de Kalahari no está restringida paleomagnéticamente.

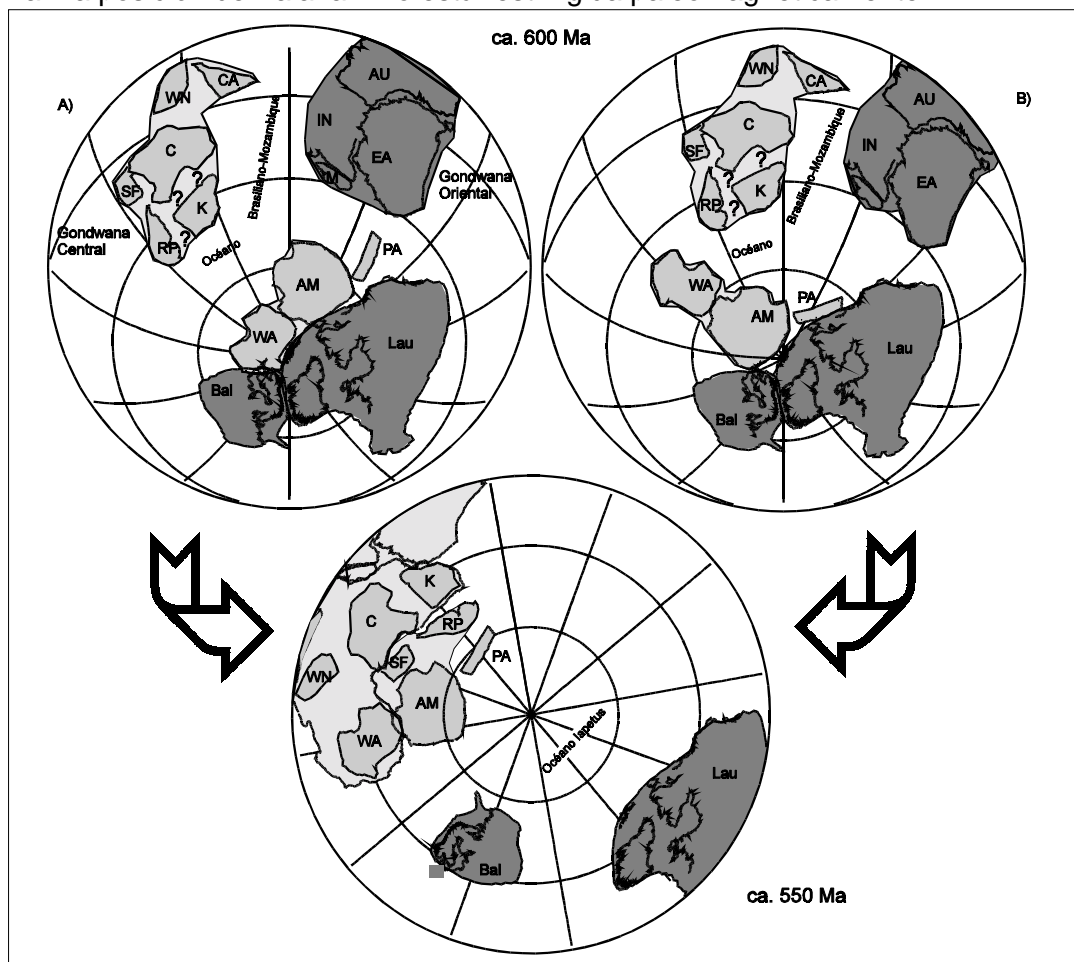


Fig.3: a) paleoreconstrucción propuesta para los 600 Ma; b) reconstrucción alternativa para los 600 Ma., c) paleoreconstrucción propuesta para los 550 Ma. Detalles en el texto.

Una paleoreconstrucción alternativa para los 600Ma es presentada en la figura 3b. Aquí la posición relativa entre WA-AM y Laurentia es similar a la propuesta por Dalziel et al. (1994) e implica descartar como válido el polo AD para WA. En este caso el occidente de AM y Pampia constituyen el margen conjugado de Laurentia durante la apertura del lapetus



y no se requiere ningún desplazamiento relativo entre ambos bloques de América del Sur. Esto implica un océano menor entre Gondwana Central y proto Gondwana Occidental.

En la reconstrucción de la fig. 3c, correspondiente a 550 Ma, los bloques gondwánicos han sido posicionados de acuerdo al polo SD de 547 Ma (Meert y Van der Voo, 1996), mientras que la ubicación de Laurentia está basada en el polo de referencia para los 550 Ma (Meert et al., 1994) y Báltica en la posición de 550 Ma propuesta por Smethurst et al. (1998). La formación del Gondwana hacia los 550 Ma implica la separación y deriva veloz de Laurentia, Báltica y proto Gondwana Occidental entre los 600 y 550 Ma. El desplazamiento de Laurentia hacia latitudes ecuatoriales produce la apertura del Iapetus. Proto Gondwana Occidental también se desplaza hacia latitudes más bajas pero en dirección opuesta, mientras que Gondwana Central sufre una importante rotación antihoraria cerrando parte del océano Brasiliano. Por su parte Gondwana Oriental se desplaza hacia el norte y rota en sentido horario para cerrar el océano Mozambique. El terreno Pampia se encuentra para los 550 Ma aproximándose al margen del recientemente integrado Gondwana. No existen restricciones paleomagnéticas para que la colisión entre Gondwana Central y proto Gondwana Occidental ocurra hacia los 550 Ma, ya que el polo más antiguo de este bloque coincidente con otros de Gondwana Central es de 522 Ma (NR, Briden et al., 1993; Fig. 2a). De todos modos las evidencias geológicas sugieren que cualquier océano existente entre WA-AM y Gondwana Central ya había sido cerrado para fines del Proterozoico (ca. 550 Ma, Villeneuve y Corneé, 1994, Brito Neves et al., 1999). La hipótesis propuesta puede proveer una solución al dilema alrededor del hipotético supercontinente de Pannotia (Powell, 1995), que implica una breve conexión entre Laurentia y Gondwana durante el Vendiano. Esta hipótesis se basa en evidencia geológica de una posible conexión entre el margen oriental de Laurentia y el occidental de América del Sur, (véase por ejemplo Dalziel et al., 1994). Este modelo podría permanecer en pie considerando que Pannotia es tan solo el continente austral de las figuras 3a o 3b. Como ya se mencionara, la edad para la separación de proto Gondwana Occidental y Laurentia y su colisión con Gondwana Central están restringidas muy vagamente aún por los datos paleomagnéticos.

REFERENCIAS

- Alkmim, F., Marshak, S. y Fonseca M.A., 2001. Assembling West Gondwana in the Neoproterozoic: clues from the Sao Francisco craton region, Brazil. *Geology*, 29, 4 : 319-322.
- Basei, M., Siga Jr., O., Masquelin, H., Harara, O.M., Reis Neto, J.M. y Preciozzi Porta, F., 2000. The Dom Feliciano Belt and the Rio de la Plata Craton: tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. En: *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro: 311-334.
- Briden, J.C., McClelland, E., Rex, D.C., 1993. Proving the age of a paleomagnetic pole: the case of the Ntonya ring structure, Malawi. *Journal Geophysical Research.*, 98 : 1743-1749.
- Bruto Neves, B.B. y Cordani, U.G., 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*. 53: 23-40.
- Bruto Neves, B.B., Campos Neto, M.C. and Fuck, R.A., 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*. 22(3): 155-166.
- Campos Neto, M.C., 2000. Orogenic systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in SouthEastern Brasil. En: *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro: 335-365.
- Cordani, U.G., Sato, K., Teixeira, W., Tassinari, C. y Basei, M., 2000. Crustal evolution of the South American platform. En: *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro: 19-40.
- D'Agrella, M.S.F. y Pacca, I.G. 1988. Paleomagnetism of the Itajai, Castro and Bon Jardim Groups from southern Brazil. *Geophysical Journal*. 93: 365-376.
- Dalla Salda, L.H., Bossi, J. y Cingolani, C.A., 1988. The Rio de la Plata cratonic region of Southwestern Gondwanaland. *Episodes*, 11 (4), 263-269.
- Dalziel, I.W.D., Dalla Salda, L.H. y Gahagan, L.M., 1994. Paleozoic Laurentia-Gondwana interaction and the origin of the Appalachian-Andean mountain system. *Geological Society America Bulletin*. 106: 243-252.



- Hoffman, P.F., 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out?. *Science*. 252: 1409-1412.
- Kellogg, K.S. y Beckmann, G.E.J.; 1983. Paleomagnetic investigations of Upper Proterozoic rocks in eastern Arabian Shield, Kingdom of Saudi Arabia. *Bull. Fac. Earth Sci. King Abdullaziz Univ.*, 6, 483-500.
- Kraemer, P.E., Escayola, M.P. y Martino, R.D., 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30°40'-32°40'). *Revista Asociación Geológica Argentina*. 50 : 47-59.
- Meert, J.G., 2001. Growing Gondwana and rethinking Rodinia: a paleomagnetic perspective. *Gondwana Research*. 4(3): 279-288.
- Meert, J.G., Van der Voo, R. y Payne, T.W., 1994. Paleomagnetism of the Catoctin volcanic province: a new Vendian-Cambrian apparent polar wander path for North America. *Journal Geophysical Research*. 99, B3: 4625-4641.
- Meert, J.G. y R. Van der Voo, 1996. Paleomagnetic and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ study of the Sinyai dolerite, Kenya: implications for Gondwana assembly. *Journal Geology*. 104: 131-142.
- Morel, P., 1981. Paleomagnetism of a Pan-African diorite: a Late Precambrian pole for western Africa. *Geophys. Journal Royal. Astronomical Society*. 65: 493-503.
- Powell C.McA., 1995. Are Neoproterozoic glacial deposits preserved on the margins of Laurentia related to the fragmentation of two supercontinents? *Comment. Geology*. 23: 1053-1054.
- Ramos, V.A., Vujovich, G., Mahlburg Kay, S. y McDonough M., 1993. La orogénesis de Greenville en las Sierras Pampeanas Occidentales: la Sierra de Pie de Palo y su integración al supercontinente proterozoico. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas*. 3: 343-357.
- Rapalini, A.E. y Rapela, C.W., 1999. New preliminary paleomagnetic data from latest Proterozoic - early Paleozoic rocks from the Rio de la Plata craton. *International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG-99), Birmingham, UK, Abstracts* : A.309
- Rapela, C., Pankhurst, R., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C.M., 1998. The Pampean orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. *Geol. Soc. of London, Sp. Public.*, 142 : 181-217.
- Rogers, J.J.W., Unrug, R. y Sultan, M., 1995. Tectonic assembly of Gondwana. *Journal Geodynamics*. 19(1): 1-34.
- Sanchez Bettucci, L. y A.E. Rapalini; 1997. Preliminary paleomagnetic data from the Sierra de las Animas Complex, Uruguay, and their implications in the Gondwana assembly. *Terranes Dynamics'97, Christchurch, New Zeland, Ext. Abstr.*, 154-156
- Sanchez Bettucci, L. y A. Rapalini; 1998. La curva de desplazamiento polar aparente neoproterozoica del cratón del Rio de La Plata. *II Congreso Uruguayo Geología, Actas*: 14-15.
- Sanchez Bettucci, L. y A.E. Rapalini; 2001. Paleomagnetism of the Sierra de Las Animas Complex, Southern Uruguay: Its Implications In The Assembly Of Western Gondwana. *Precambrian Research*. (en prensa).
- Saradeth, S., H.C. Soffel, P. Horn, D. Muller-Sohnius y A. Schult; 1989. Upper Proterozoic and Phanerozoic pole positions and potassium-argon (K-Ar) ages from the East Sahara craton. *Geophysical Journal*. 97: 209-221.
- Smethurst, M.A., A. Khramov, y S. Pisarevsky, 1998. Palaeomagnetism of the Lower Ordovician Orthoceras Limestone, St. Petersburg, and a revised drift history for Baltica in the Early Paleozoic. *Geophys. J. Internat.*, 133 : 44-56.
- Sohl, L.E., Christie-Blick, N., Kent, D.V., 2000. Paleomagnetic polarity reversals in Marinoan (ca. 600 Ma) glacial deposits of Australia: Implications for the duration of low-latitude glaciation in Neoproterozoic time. *Geological Society America Bulletin*. 111(8): 1120-1139.
- Tohver, E., Van der Pluijm, V., Van der Voo, R., Scandolaro, J., Rizzotto, G., 2001. Reconstructing Rodinia: the view from Amazonia. *Eos, Trans. AGU*, 82 (20), Abstract, S129.
- Trompette, R., 2000. Gondwana evolution, its assembly at around 600 Ma. *Earth and Planetary Sciences*. 330: 305-315.
- Valencio, D. A., A.M. Sinito & J. F. Vilas; 1980. Paleomagnetism of Upper Precambrian rocks of the La Tinta Formation, Argentina. *Geophysical Journal Royal Astronomical Society*. 62: 563-575.
- Villeneuve, M. y Corneé, J.J., 1994. Structure, evolution and paleogeography of the West African craton and bordering belts during the Neoproterozoic. *Precambrian Research*. 69: 307-326.