

## RECONSTRUCCION Y EVOLUCION DEL CONTINENTE GONDWANA (\*)

JUAN F. A. VILAS

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires

Los últimos datos paleomagnéticos obtenidos de rocas del Paleozoico Superior y Mesozoico provenientes de América del Sur y Africa han brindado un volumen de información tal que permiten la utilización de técnicas de computación apropiadas para comparar y definir el mejor ajuste de estos continentes. Esto posibilita simultáneamente la obtención de una reconstrucción paleogeográfica de América del Sur y Africa y la definición de la curva de desplazamiento polar aparente desde el Paleozoico Superior hasta el Mesozoico Superior común a ambos continentes, la que es utilizada como patrón para el Supercontinente Gondwana.

Sobre la base de la curva de desplazamiento polar mencionada y la información proveniente de la propagación del fondo de los océanos asociada con los continentes Australia, Antártida e India, se analizan los polos paleomagnéticos asignados al Paleozoico Superior y Mesozoico de Australia, Antártida, India y Madagascar. Este análisis permite obtener una reconstrucción paleogeográfica del supercontinente Gondwana similar a la lograda por Du Toit y sugerir que este supercontinente existió hasta el Jurásico Superior. El origen del Atlántico Sur tuvo lugar en el Cretácico Inferior tardío. Los movimientos relativos entre Africa, India y Madagascar habrían comenzado en el Cretácico Superior - Terciario, Inferior. El último episodio de la fragmentación fue la separación de Australia y Antártida en el Cenozoico Medio.

The Upper Palaeozoic and Mesozoic palaeomagnetic data for South America and Africa, allow us to use computing techniques to evaluate and define the best fitting of these continents. This defines a palaeogeographic reconstruction of the South American - African block and the common Upper Palaeozoic - Lower Mesozoic apparent polar wandering curve for these continents. This is used as a standard apparent polar wandering curve for the Gondwana Supercontinent.

On the basis of the standard polar wandering curve and the sea-floor spreading data associated with Australia, Antarctica and India, the Upper Palaeozoic and Mesozoic palaeomagnetic poles of Australia, Antarctica, India and Madagascar are evaluated and analyzed. This suggests a reconstruction of the Gondwana Supercontinent similar to that presented by Du Toit.

Gondwana existed in Late Jurassic time. The origin of the South Atlantic occurred in late Early Cretaceous time. The relative movements between Africa, India and Madagascar started in Late Cretaceous - Early Tertiary time. The last episode of the fragmentation of Gondwana was the separation of Australia and Antarctica in Middle Cenozoic time.

(\*) Informe por invitación

## INTRODUCCION

La existencia en el pasado geológico de un supercontinente formado por los continentes del hemisferio Sur y la India al que se lo denominó Gondwana es una hipótesis que permite explicar la distribución actual de los rastros dejados por las glaciaciones continentales, la distribución y evolución de paleofaunas y la distribución actual de tipos peculiares de rocas en estos continentes (Wegener, 1924). Esta hipótesis fue la base de la teoría de la deriva continental, pues su aceptación implica que han existido grandes movimientos horizontales entre los distintos bloques continentales. En las últimas décadas, nuevas líneas de investigación en las ciencias de la Tierra han jugado un papel relevante en la teoría de la deriva continental, entre ellas el paleomagnetismo y los estudios geológicos y geofísicos realizados en las fosas oceánicas han brindado un valioso aporte al conocimiento de la dinámica y los movimientos de los diferentes bloques que cubren el globo terrestre. Los estudios paleomagnéticos, bajo ciertas condiciones, permiten obtener para un período dado dentro de la escala geológica la posición relativa de un bloque continental respecto del polo paleogeográfico. Cuando el continente mencionado está referido al sistema de coordenadas actuales quedará definido también en este sistema el polo paleogeográfico al que se lo denomina polo paleomagnético. Cuando se cuenta con varios polos paleomagnéticos con edades semejantes ellos deberán estar ubicados próximos entre sí, es decir definir una misma población la que tendrá una distribución de Fisher (1953); a éste tipo de conjunto de polos paleomagnéticos se lo denomina grupo de edad. Cuando el bloque continental permanece estacionario respecto del polo geográfico durante un período dado dentro de la escala geológica, a éste se ha convenido en denominarlo período de desplazamiento polar casi estático; los polos paleomagnéticos con edades comprendidas en el mismo deberán pertenecer a una misma población con distribución de Fisher; se dice entonces que estos polos paleomagnéticos definen un grupo de tiempo. Si se cuenta para un mismo bloque con polos paleomagnéticos con edades comprendidas en un lapso geológico considerable, la curva que los une cronológicamente definirá el movimiento aparente del polo paleogeográfico (paleomagnético) respecto de éste bloque; a esta curva se la denomina curva de desplazamiento polar aparente. Si se dispone para un mismo período geológico, de las curvas de desplazamiento polar aparente de varios bloques continentales es posible obtener una reconstrucción de la posición relativa de los mismos si se superponen los tramos de curvas de desplazamiento polar que son semejantes y coetáneos. De esta manera se obtiene un supercontinente con su curva de desplazamiento polar que es común para todos los continentes que lo constituyen; el síntoma que indica el inicio de la fragmentación de éste es cuando alguna de las curvas de los continentes que lo integran comienzan a separarse de la curva común.

La teoría de la propagación del fondo oceánico (Dietz, 1961 y 1966; Hess, 1965), establece los desplazamientos horizontales realizados por bloques de corteza y parte superior del manto durante el Mesozoico y Cenozoico, los que pueden ser descriptos en primera aproximación por la rotación de bloques rígidos que como casquetes esféricos han girado alrededor de polos de rotación dados, así el movimiento de un punto cualquiera de un casquete esférico estará materializado por arcos de circunferencia centrados en el polo de rotación respectivo (Morgan, 1968); de este modo todos los puntos de un mismo bloque tendrán igual velocidad angular. Los bloques sólo sufren deformaciones a lo largo de las crestas de las cordilleras oceánicas centrales, en las fosas oceánicas y áreas de mayor compresión donde dos ó más bloques convergen en su movimiento y a lo largo de los límites

comunes a dos bloques hacia ambos lados de los cuales los mismos tienen movimientos diferenciales entre si.

## LA INFORMACION PALEOMAGNETICA

Los polos paleomagnéticos que pueden ser utilizados para obtener reconstrucciones continentales son aquellos que han sido definidos sobre la base del magnetismo remanente de rocas que fueron sometidas a pruebas de estabilidad magnética, con edades bien definidas y que cubran un intervalo que asegure que se han eliminado las variaciones paleoseculares. Los polos paleomagnéticos de los continentes gondwánicos que satisfacen mejor estas condiciones son aquellos cuyas edades son Paleozoico Superior o más jóvenes, (Valencio, 1973). Sin embargo, cuando estos polos son utilizados para obtener la reconstrucción del Gondwana en el Paleozoico Superior y definir los episodios de su fragmentación en el Mesozoico y Cenozoico aparecen incoherencias entre los mismos y entre éstos y la información geológica, paleontológica y de la propagación del fondo de los océanos, (Vilas y Valencio, 1970; Valencio y Vilas, 1972; Valencio, 1973). La manera más adecuada para definir estas incoherencias es mediante la determinación de una curva polar patrón la que es obtenida sobre la base de los polos paleomagnéticos más confiables de algunos de los continentes gondwánicos. Recientemente, Valencio y Vilas, 1975; Valencio et al, 1976 a, b y Vilas y Valencio 1976, han indicado la buena coherencia que existe en las posiciones de los polos paleomagnéticos de América del Sur y el Africa cuyas edades van desde el Paleozoico Tardío al Mesozoico Tardío (lapso  $\approx$  250 m.a.) cuando estos son comparados en la reconstrucción de América del Sur y Africa unidos por sus litorales Atlánticos (Gondwana Occidental). Por esta razón es que se utilizara como curva de desplazamiento polar patrón para el Gondwana a la obtenida del mejor agrupamiento de los polos paleomagnéticos costáneos de América del Sur y Africa. Este análisis se hizo por medio de un programa especial y una computadora electrónica (Aranoa et al, 1976); el movimiento de rotación de América del Sur respecto del Africa así definido está caracterizado por un polo de rotación ubicado en  $29^{\circ}W$   $52^{\circ}N$  y un ángulo de rotación de  $53.5^{\circ}$  (cuadro 1). La reconstrucción y curva de desplazamiento polar así obtenida para estos dos continentes es la mostrada en la Figura 1. Las posiciones polares medias de edad Permocarbónica (PC) están definidas por cinco polos paleomagnéticos de América del Sur asignados al Carbónico Superior y cuatro polos paleomagnéticos del Africa asignados al Carbónico Superior y al Pérmico Inferior, (Valencio et al, 1975; Vilas y Valencio, 1976). Las posiciones medias de los polos paleomagnéticos con edades comprendidas dentro del lapso Pérmico Medio - Jurásico (período casi estático; 14 polos para América del Sur y 21 para Africa) están individualizados por P-J (Valencio y Vilas, 1975). El grupo de edad Cretácico Inferior temprano (Kit) está definido por el promedio de 4 polos para América del Sur y dos para Africa. El grupo individualizado por Ki está formado por el promedio de dos polos de edad Cretácica Temprana para el Africa y de tres polos para América del Sur que definen un período casi estático desde el Cretácico Inferior tardío al Cretácico Superior, (Vilas y Valencio, 1976). Los grupos K y Ks del Africa marcan las posiciones de los grupos formados por los promedios de tres polos paleomagnéticos de edad Cretácica y tres de edad Cretácica Tardía respectivamente. El fin de la curva de desplazamiento polar patrón para el Gondwana Occidental y el comienzo de la separación de América del Sur y el Africa está individualizado por Ki; ello es consecuencia de que los polos paleomagnéticos Africanos más jóvenes que Cretácico

Inferior tardío definen un neto desplazamiento polar (curva de trazos en Figura 1) mientras que los de América del Sur permanecen en el mismo lugar, (período de desplazamiento polar casi estático Cretácico Inferior tardío - Cretácico Superior). De acuerdo a lo expuesto, la curva de desplazamiento polar patrón está indicando que el bloque América del Sur - Africa se estuvo alejando del polo sur durante el lapso abarcado desde el Carbónico Superior al Pérmico Inferior, este movimiento habría finalizado en el Pérmico Inferior tardío o Pérmico Medio temprano con el inicio de un período de desplazamiento polar casi estático el que se prolongó hasta el Jurásico. En el Jurásico Superior tardío o en el Cretácico Inferior temprano, se inició un nuevo episodio de desplazamiento polar relativo para el bloque América del Sur - Africa el que habría finalizado en el Cretácico Inferior tardío.

Los datos paleomagnéticos de la isla de Madagascar (Embleton y McElhinny, 1975; McElhinny y Embleton, 1976 y Razafindrazaca et al, 1976) permiten definir para ésta un rápido desplazamiento polar relativo el que habría ocurrido en el Paleozoico Superior. En efecto, las posiciones de los polos paleomagnéticos del Grupo Sakoa asignado al Carbónico Superior - Pérmico Inferior ( $PC_1$  en Figura 2) y el Grupo Sakamena asignado al Pérmico Superior - Triásico Medio definen para este lapso un rápido desplazamiento polar para Madagascar. De acuerdo a la información actualmente disponible, no es posible discernir si desde el Pérmico Superior al Jurásico esta isla tuvo un período de desplazamiento polar casi estático, pues no es posible establecer si los polos paleomagnéticos del Grupo Sakamena y del Grupo Isalo, (Triásico - Jurásico) definen un grupo de tiempo. Sin embargo, aceptada para Madagascar una curva de desplazamiento polar neopaleozoica similar a la de América del Sur - Africa, se puede interpretar que estos polos paleomagnéticos forman un grupo de tiempo; en la Figura 2 se ha representado el promedio de dichos polos paleomagnéticos (P-J). Puede observarse en ésta figura el desplazamiento polar aparente para Madagascar ( $24^\circ$ ) definido por las posiciones polares  $PC_1$  y P-J, desplazamiento que es coherente con el del bloque América del Sur - Africa para el Paleozoico Superior (Tramo  $PC \rightarrow P-J$  de la curva de desplazamiento polar patrón).

Creer et al, 1969; Irving y Robertson, 1969, Vilas y Valencio, 1970 y Valencio, 1973, han encontrado que cuando se comparan los polos paleomagnéticos Mesozoicos de Australia con los de igual edad de los otros continentes Gondwánicos aquellos ocupan posiciones anómalas; por otra parte, la comparación de los polos paleomagnéticos del Paleozoico Superior de Australia con los coetáneos de América del Sur y Africa sugiere que la primera fragmentación del Gondwana habría ocurrido en ése entonces (Vilas y Valencio, 1970; Valencio et al, 1971 y Valencio y Vilas, 1972), interpretación que es incompatible con evidencias geológicas y paleontológicas. Recientemente, Embleton y Schmidt, 1976 y Schmidt, 1976a, b (mencionados en Embleton y Valencio, 1976), han realizado nuevos estudios paleomagnéticos en rocas del Paleozoico Superior y Mesozoico de Australia los que modificarían el desplazamiento polar aparente aceptado hasta entonces para éste continente. Lamentablemente no se pudo contar con esta información en detalle como para poder valorarla correctamente, por lo tanto para estimar el desplazamiento polar aparente de Australia se recurrió a la información presentada por McElhinny y Embleton, 1974 y Embleton y Valencio, 1976. No se tendrá en cuenta en la interpretación el polo paleomagnético de las Vulcanitas Visean, (Carbónico Inferior) por presentar una dispersión muy elevada y por estar su ubicación probablemente afectada por movimientos tectónicos; tampoco se tendrán en cuenta otros polos paleomagnéticos del Paleozoico Superior y del Mesozoico Inferior por razones que se considerarán más adelante. Los polos paleomagnéticos asignados al Carbónico Superior y Pémi-

co Inferior de Australia (cuatro polos) forman un grupo de edad, cuyo valor medio (PC) está representado en la Figura 3. Los polos paleomagnéticos de Australia con edades comprendidas entre el Pérmico Tardío y el Jurásico (seis polos) definen un grupo de tiempo cuyo valor medio (P-J, Figura 3) se encuentra ubicado a unos 30° de distancia del grupo PC, lo que evidencia un movimiento de Australia relativo al polo en el Paleozoico Superior y Mesozoico Inferior similar al del bloque América del Sur - Africa. Es de hacer notar la incoherencia que existe entre esta interpretación y dos polos paleomagnéticos de Australia: el de las latitas del Marine Superior (Pérmico Superior), y el de las tobas Brisbane (Triásico Medio) (Valencio, 1973). Efectivamente, la posición de estos dos polos es cercana al grupo de edad PC. Por ahora no se ha encontrado una explicación satisfactoria a esta inconsistencia; una posible explicación podría ser la remagnetización de las rocas del Marine Superior y de Brisbane en el Jurásico Superior o Cretácico. Luego del período casi estático P-J, Australia inicia un rápido desplazamiento relativo al polo definido por los polos paleomagnéticos de edad Post Jurásica Media  $J_2$  (Doleritas de Tasmania, 167 m.a.),  $J_1$  (Vulcanitas Jurásicas),  $K_1$  (Complejo alcalino Cygnet, 98 m.a.) y  $K_2$  (Complejo igneo de Mt. Dromedary) (McElhenny y Embleton, 1974, Figura 3). Es de hacer notar que el tramo de curva de desplazamiento polar definido por los polos paleomagnéticos Jurásicos de Australia puede ser equivalente al tramo de curva de desplazamiento polar Jurásico-Cretácico Inferior temprano del bloque América del Sur Africa (P-J → Kit en Figura 1).

Como consecuencia de contar con solo tres polos paleomagnéticos con edades comprendidas en el lapso Paleozoico Superior - Mesozoico del Continente Antártico, se procederá a analizarlos comparándolos con los de Australia, aceptando que estos dos continentes formaban un bloque hasta el Terciario. La comparación se practicará utilizando como base la reconstrucción obtenida por el mejor ajuste de costas de estos continentes (Figura 3, Smith y Hallam, 1970), reconstrucción que es coherente con la obtenida del análisis de los datos de la propagación del fondo de los océanos (Vilas y Valencio, 1970). En la Figura 3 se ha representado por P-J (?) al promedio de los polos paleomagnéticos de la formación Masiva Dufek. (Pérmico (?), Jurásico (?)) y de las Doleritas Ferrar, - (163 m.a.) (Valencio, 1973); como puede observarse, éste se ubica próximo al promedio P-J de Australia. La edad radimétrica de las Doleritas Ferrar es equivalente a las Doleritas de Tasmania Australianas (167 m. a.,  $J_2$  Figura 3); sin embargo sus posiciones polares difieren entre sí en unos 20°. Una explicación de la diferencia señalada podría ser si estas fases intrusivas fuesen asincrónicas y las mismas hubiesen ocurrido durante un episodio de rápido desplazamiento polar iniciado en el Jurásico Medio (Embleton y Valencio, 1976). En la Figura 3 también puede observarse que la posición del polo paleomagnético del Complejo Igneo Andino ( $K_1$ , 96 m.a.; Valencio, 1973) es coherente con el desplazamiento polar Australiano en el Cretácico Superior.

Valencio, 1973, ha realizado un análisis crítico de los polos paleomagnéticos del Paleozoico Superior y Mesozoico de la India y señaló que algunos de los mismos tienen ubicaciones incoherentes y que solamente aquellos de edad Jurásica o más joven pueden ser utilizados para interpretaciones paleogeográficas. En la Figura 4 se ha representado la curva de desplazamiento polar aparente que definen estos polos paleomagnéticos;  $JK_1$  es el polo paleomagnético de las Sylhet Traps (69 - 180 m.a.);  $K_1$  el de las Rajmahal Traps (100-105 m.a.),  $K_2$  el de los diques del Gondwana (95 - 115 m.a.), (Valencio, 1973), Km-s es el promedio de los polos paleomagnéticos de las areniscas Satyavedu (Cretácico Medio), las areniscas Tirupati (98-115 m.a.) y las unidades inferiores de los Deccan Traps (Cretácico Superior), y  $T_1$  y  $T_2$  los polos paleomagnéticos de las unidades Media y Supe-

rior de los Deccan Traps, (65-69 m.a.) Vilas y Valencio, 1977). Comparando las Figuras 1 y 4 puede observarse la semejanza del camino polar Jurásico-Cretácico de la India con el correspondiente del Africa.

#### LA RECONSTRUCCION Y LA HISTORIA DE LA FRAGMENTACION DEL GONDWANA

Para la reconstrucción del Gondwana se utilizará como base de comparación la curva de desplazamiento polar patrón (curva de desplazamiento polar aparente del bloque América del Sur Africa, Figura 1) superponiendo sobre ésta las secciones coetáneas de las curvas de desplazamiento polar de los otros bloques gondwánicos (Figura 5). De esta superposición se obtienen los movimientos de rotación totales que debieron realizar cada uno de los bloques desde su posición en el Gondwana a la que ocupan actualmente (cuadro 1). La reconstrucción del Gondwana presentada es válida para el lapso Paleozoico Superior - Jurásico Superior, los polos paleomagnéticos con edades comprendidas dentro de este lapso forman tres grupos con distribuciones de Fisher (1953): dos grupos de edad, (PC y JKit) y uno de tiempo (P-J). Las posiciones polares medias y los parámetros estadísticos de estos grupos están sintetizados en el cuadro 2. Las tres posiciones polares medias mencionadas definen una curva de desplazamiento polar aparente común para el Gondwana la que indica un rápido desplazamiento de éste supercontinente respecto del polo durante el Carbónico Superior y Pérmico Inferior (Tramo de curva PC→P-J, Figura 5). Este movimiento finalizó en el Pérmico Medio iniciándose entonces un período de desplazamiento polar casi estático el que habría continuado hasta el Jurásico. En este período se inició un nuevo movimiento rápido del Gondwana respecto del polo, (tramo P-J→JKit, Figura 5) asociado al cual pudo haber estado la fragmentación inicial del Supercontinente.

La fragmentación del bloque América del Sur-Africa, y el origen del Atlántico Sur, habría ocurrido dentro del lapso Cretácico Inferior tardío - Cretácico Superior (cuadro 3) (Valencio y Vilas, 1975 y Vilas y Valencio, 1976) pues los polos paleomagnéticos del Cretácico Inferior tardío de estos continentes se superponen (Ki) mientras que los del Cretácico Superior son independientes, (K<sub>i</sub> para América del Sur y K<sub>s</sub> para el Africa, Figura 1 y 5)

Australia y Antártida no poseen polos paleomagnéticos asignados al Cretácico Inferior esta circunstancia hace admisible dos interpretaciones de acuerdo a las ubicaciones posibles de estos polos paleomagnéticos; los mismos definen: 1) un desplazamiento polar aparente para el bloque Australia - Antártida en el Cretácico Inferior similar al del bloque América del Sur - Africa (tramo Kit+Ki en Figura 1 y JKit+Ki en Figura 5) y 2) un desplazamiento polar independiente en el Cretácico Inferior. La posibilidad 1) indicaría que el Gondwana existió en el Cretácico Inferior y que la primera fragmentación ocurrió en el lapso Cretácico Inferior tardío - Cretácico Superior, formándose entonces 3 bloques continentales: América del Sur, Africa - Madagascar - India y Australia - Antártida. La posibilidad 2) indicaría que el Gondwana existió en el Jurásico Superior y que la primera fragmentación ocurrió en el lapso Jurásico Superior - Cretácico Inferior con la formación de dos bloques: América del Sur - Africa - Madagascar - India y Australia - Antártida. Tanto la posibilidad 1) como la 2) sugieren que el Gondwana habría existido por lo menos hasta el Jurásico Superior (cuadro 3) Por lo tanto, los datos paleomagnéticos son coherentes con los datos paleontológicos los cuales sugieren que el Gondwana existía en el Jurásico Medio

(Savage, 1973). La Figura 5 muestra la semejanza entre el desplazamiento polar aparente de la India y el del Africa durante el Cretácico; este indica que Africa, Madagascar e India aún formaban un mismo bloque en el Cretácico Superior (cuadro 3). También puede observarse que los desplazamientos polares del Africa y de la India en el Terciario son diferentes lo cual sugiere que en este período existieron movimientos relativos entre ambos continentes; el inicio de estos movimientos habría ocurrido en el lapso Cretácico Superior - Terciario Inferior y podría estar asociado con la efusión de los Deccan Traps.

La posición de Madagascar en el Gondwana (Figura 5) sugiere la hipótesis que su separación debió ser simultánea o posterior al inicio del movimiento relativo entre India y Africa. Teniendo en cuenta ésta hipótesis y los datos de la propagación del fondo oceánico es posible establecer, en primera aproximación, la edad de la separación de Madagascar del Africa y la India. Sobre la base de los datos de la propagación del fondo del Océano Indico Oeste, Fisher et al, 1971, sugirieron: 1) que la placa Somalia (Africa y Madagascar en las posiciones relativas actuales) y la placa India tuvieron un movimiento de rotación relativo de unos  $20^\circ$  (polo de rotación  $16^\circ$  N  $48^\circ$  E) en los últimos 20 m.a. y 2) que en el lapso comprendido entre los 53 m.a. y los 20 m.a. (anomalías magnéticas 21 y 6 respectivamente) el movimiento de propagación del fondo oceánico en esta zona habría sido muy pequeño pues no se reconocieron anomalías cuyas edades estén comprendidas dentro de éste lapso. Teniendo en cuenta ello y las posiciones relativas de Africa, Madagascar e India en el Gondwana, se puede obtener el movimiento relativo hipotético entre la India y Madagascar, (polo de rotación, suponiendo fijo Madagascar,  $177^\circ$  E  $19^\circ$  S, ángulo de rotación  $33^\circ$ ), el que habría ocurrido desde el inicio de la fragmentación de estos dos bloques (supuestamente Cretácico Superior tardío - Terciario Inferior temprano) hasta los 53 m.a. La velocidad de propagación del fondo oceánico que le correspondería a este movimiento oscila entre  $5 \times 10^{-7}$  y  $10 \times 10^{-7}$  grados/año; lo que es consistente con la velocidad de propagación entre las placas India y Somalia para los últimos 20 m.a. ( $6,2 \times 10^{-7}$  grados/año), (Fisher et al, 1971). El tren de paleofallas transformadas asociadas con el movimiento hipotético aquí postulando entre India y Madagascar es coherente con las trazas de las fallas transformadas asociadas al movimiento de propagación del fondo del Océano Indico Oeste entre las anomalías magnéticas 30 (70, 5 m.a.) y 21 (53, 5 m.a.): Se observa una diferencia de  $8^\circ$  en el rumbo. De acuerdo con esta interpretación, el inicio de la separación de Africa, Madagascar e India habría sido, en primera aproximación, simultánea y habría ocurrido en el Cretácico Superior - Terciario Inferior (cuadro 3) originándose entonces las cuencas de Arabia y Somalia.

Por último, Vilas y Valencio (1970), sobre la base de los datos de la propagación del fondo del Océano Indico Sur, sugirieron que la separación de Australia y Antártida habría ocurrido en el Eoceno - Oligoceno, (cuadro 3).

#### AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, quienes de diversas formas hicieron posible la realización del presente trabajo.

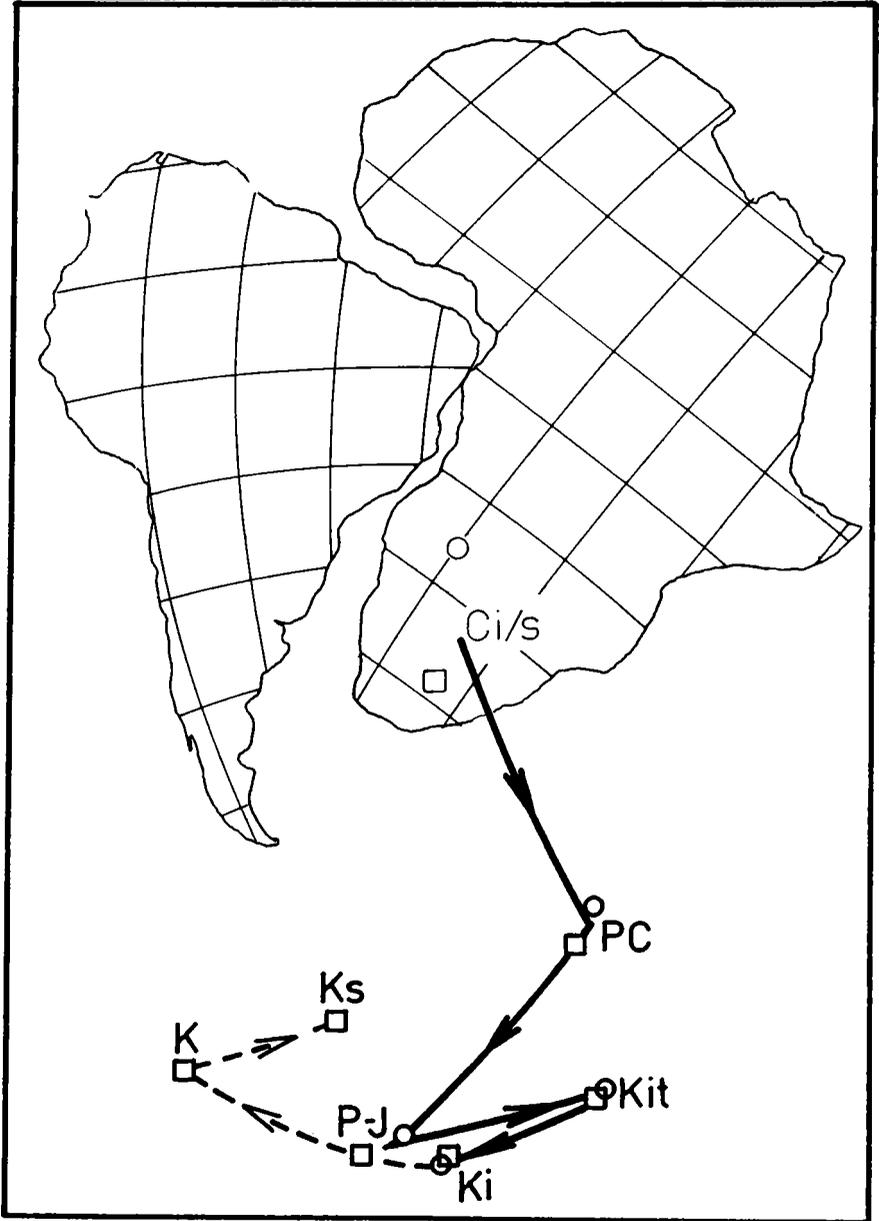


Figura 1: Reconstrucción obtenida sobre la base del mejor agrupamiento de los polos paleomagnéticos del Paleozoico Superior y Mesozoico de América del Sur (○) y África (□); los símbolos de trazo grueso representan promedios de polos paleomagnéticos. La curva llena representa la curva de desplazamiento polar patrón.

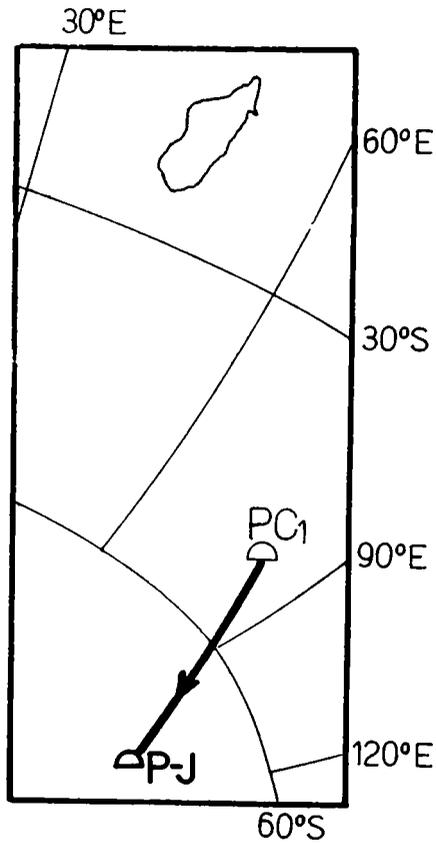


Figura 2: Curva de desplazamiento polar aparente y polos paleomagnéticos de Madagascar. Otras referencias en el texto y Figura 1.

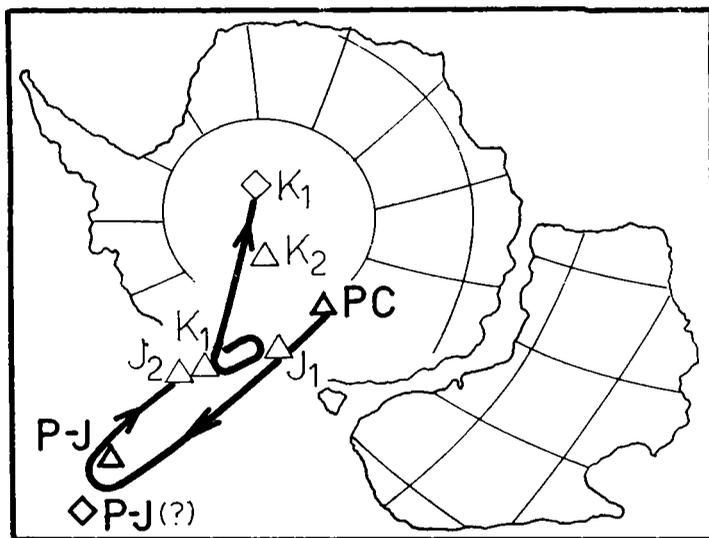


Figura 3: Curva de desplazamiento polar aparente y polos paleomagnéticos del Paleozoico Superior y Mesozoico de Australia ( $\Delta$ ) y Antártida ( $\diamond$ ) representados sobre la reconstrucción de Smith y Hallam, 1970. Otras referencias en el texto y Figura 1.

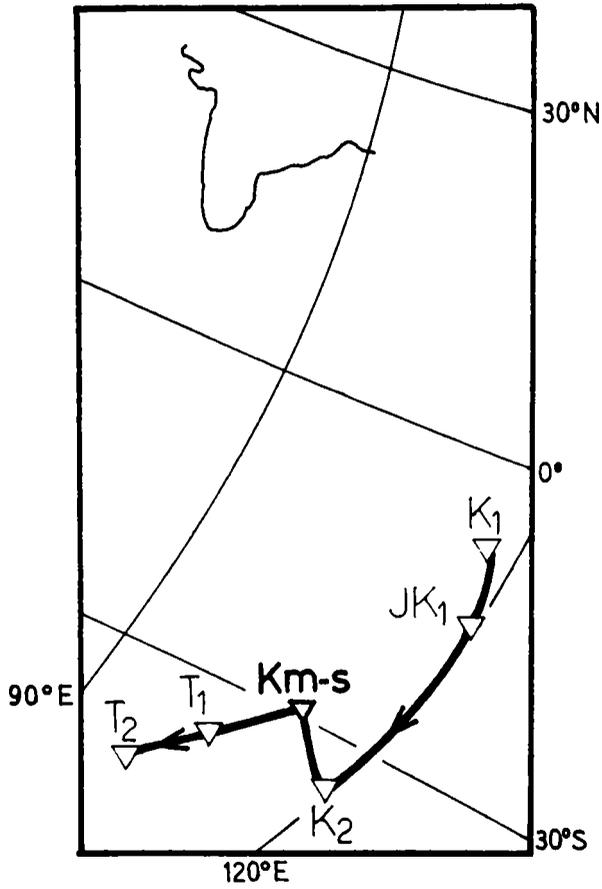


Figura 4: Curva de desplazamiento polar aparente y polos paleomagnéticos del Mesozoico y Cenozoico Inferior de la India. Otras referencias en el texto y Figura 1:

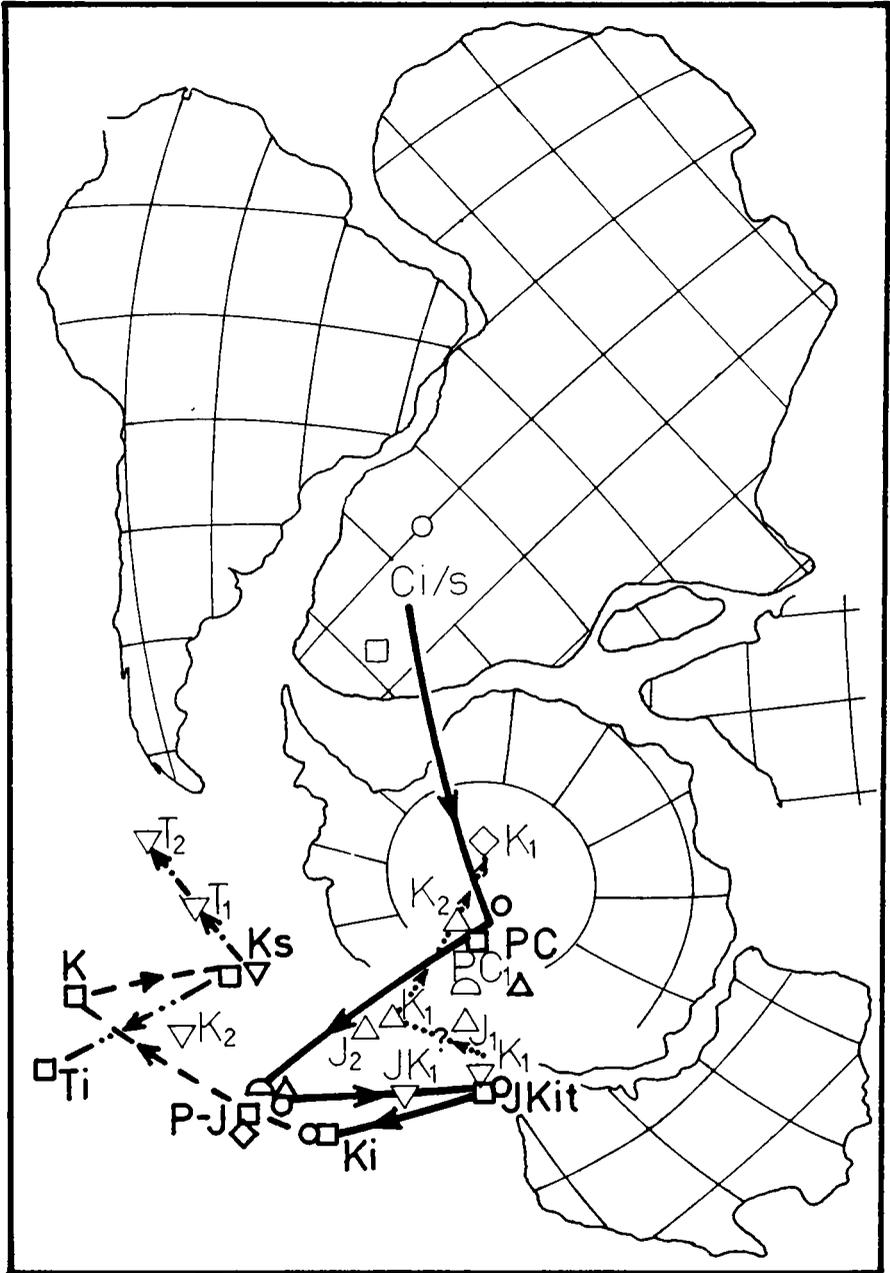


Figura 5: Reconstrucción del Gondwana obtenida sobre la base de la superposición de los polos paleomagnéticos de Madagascar, India, Australia y Antártida con la curva de desplazamiento polar patrón (curva llena). Las curvas de desplazamiento polar aparente de los distintos bloques se han representado por: - - -> Africa - India; - - - -> Africa; - - -> India; ...> Australia - Antártida.

Cuadro 1: Parámetros de los movimientos de rotación de los continentes gondwánicos respecto del Africa desde la posición que ocupaban en el Gondwana (Figura 5) a la actual. El ángulo de rotación está medido en el sentido de las agujas del reloj.

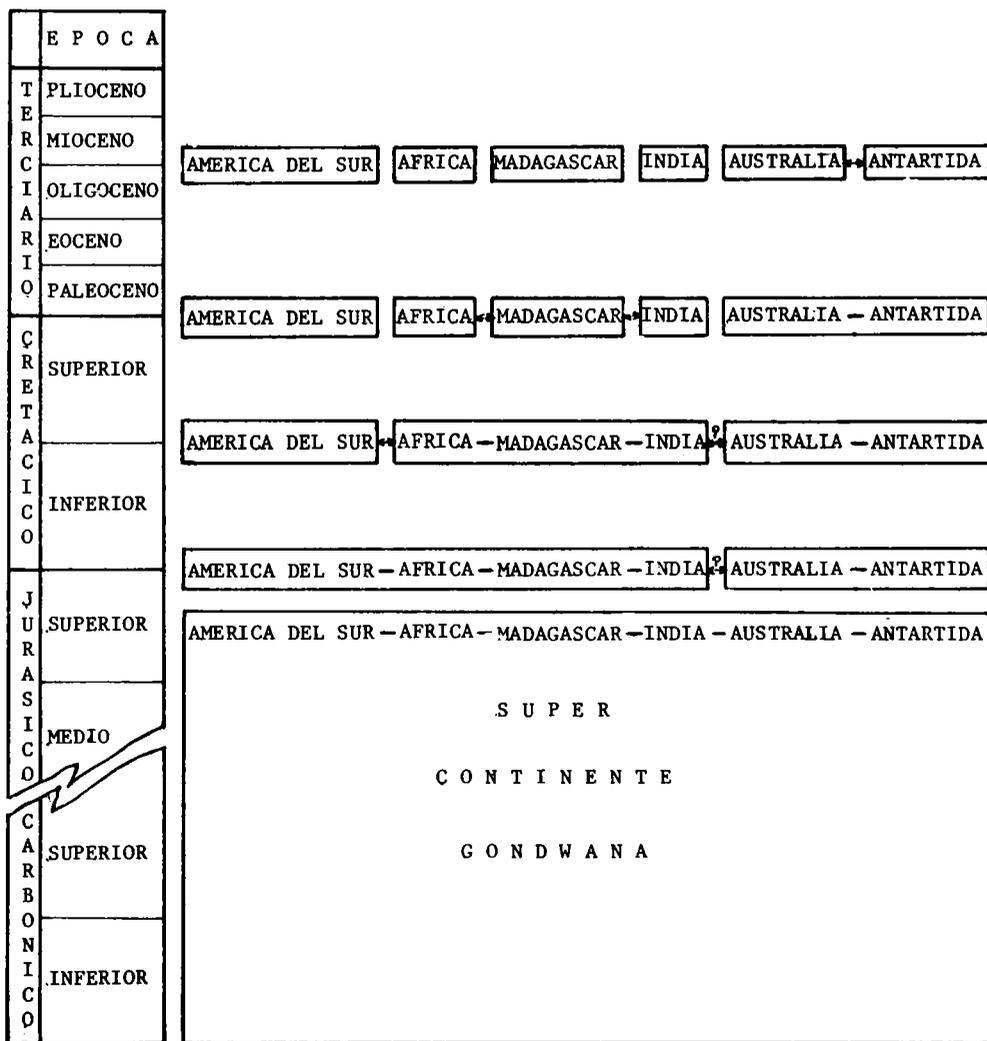
BLOQUE	POLO DE ROTACION		
	LAT	LONG	ANGULO DE ROTACION
AMERICA DEL SUR	52°N	29°W	53.5
MADAGASCAR	1°S	75°W	17°
INDIA	33°S	143°W	51.5°
AUSTRALIA	7°S	69°W	60°
ANTARTIDA	7°N	39°W	57°

Cuadro 2: Posiciones polares medias del Gondwana referidas al Africa.  $\alpha_{95}$  es el radio del círculo de confianza dentro del cual se halla el polo con una probabilidad del 95%, N es el número de polos que intervienen en el promedio y k es el factor de precisión, (Fisher, 1953).

	Número de polos paleo- magnéticos	Posición polar media referi- da al Africa					Nombre
	AS AF M AU AN IN	Lat. (°S)	Long. (°E)	$\alpha_{95}$ (°)	N	k	
Grupo de edad	4 2 - 1 - 1	77	46	4	8	196	JKit
Grupo de tiempo	14 21 2 6 2 -	66	74	2	45	78	P-J
Grupo de edad	5 4 1 4 - -	38	61	4	14	114	PC

Cuadro 3: HISTORIA DE LA FRAGMENTACION DEL GONDWANA.

Esquema de los probables episodios de la fragmentación del Gondwana de acuerdo a los datos paleomagnéticos y de la propagación del fondo de los océanos.



## B I B L I O G R A F I A

- ARANO, I., DIAZ, V. Y DICHARA, C., 1976: Reconstrucciones continentales por medio de computadoras sobre la base de datos paleomagnéticos. Seminario Superior de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- CREER, K.M., EMBLETON, B.J.J. y VALENCIO, D.A., 1969: Comparison between the Upper Palaeozoic and Mesozoic palaeomagnetic poles for South America, Africa and Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, pp. 288-292.
- DIETZ, R.S., 1961: Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, 200, 1085.
- DIETZ, R.S., 1966: Passive continents spreading sea floors and collapsing continental rises. *Amer. J. Sci.*, 264, pp. 177-193.
- EMBLETON, B.J.J. y McELHINNY, M.W., 1975: The palaeoposition of Madagascar: palaeomagnetic evidence from the Isalo Group. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27, pp. 329-341.
- EMBLETON, B.J.J. y SCHMIDT, P.W., 1976: Revised palaeomagnetic data for the Australian Mesozoic and a synthesis of late Palaeozoic - Mesozoic results for Gondwanaland. *Tectonophys.*, in press.
- EMBLETON, B.J.J. y VALENCIO, D.A., 1976: Palaeomagnetism and the Reconstruction of Gondwanaland. *Tectonophys.*, in press.
- FISHER, R.A., 1953: Dispersion on a sphere. *Royal Soc. London Proc., Sec. A*, 217.
- FISHER, R.L., SCLATER, J.G. y MCKENZIE, D.P., 1971: Evolution of the Central Indian Ridge, Western Indian Ocean. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 82, pp. 553-562.
- IRVING, E. y ROBERTSON, W.A., 1969: Test for polar wandering and some possible implications. *J. Geophys. Res.*, 74, pp. 1026-1036.
- HESS, H.H., 1965: *Submarine Geology and geophysics*, Vol. 17, Colston Papers, Butterworths. London.
- McELHINNY, M.W. y EMBLETON, B.J.J., 1974: Australian palaeomagnetism and the Phanerozoic plate tectonics of Eastern Gondwanaland. *Tectonophys.*, 22, pp. 1-29.
- McELHINNY, M.W. y EMBLETON, B.J.J., 1976: The palaeoposition of Madagascar: remanence and magnetic properties of late Palaeozoic sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 31, pp. 101-112.
- MORGAN, W.J., 1968: Rises, trenches, great faults and crustal blocks. *Jour. Geophys. Res.*, Vol. 73, n.6, pp. 1959-1982.
- RAZAFINDRAZAKA, G., DALY, L., POZZI, J.P. y BLOCK, R., 1976: Position de Madagascar dans le Gondwana a partir de l'étude magnétique des formations du Karoo. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 282, pp. 17-20.
- SAVAGE, J.M., 1973: The geographic distribution of frogs: patterns and predictions on evolutionary biology of the anurans. *Contemporary Research on Major Problems*, Ed. J.L. Vial, University of Missouri Press, Columbia, pp. 351-445.
- SCHMIDT, P.W., 1976a: A new palaeomagnetic investigation of Mesozoic igneous rocks in Australia. *Tectonophys.*, 33, pp. 1-14.
- SCHMIDT, P.W., 1976b: The non-uniqueness of the Australian Mesozoic palaeo

- magnetic pole position. *Geophys. J.*, in press.
- SMITH, A.G. y HALLAM, A., 1970: *The fit of the Southern continents*. *Nature*, 225, pp. 139-144.
- VALENCIO, D.A., 1973: *Paleogeografía del Gondwana a partir de datos paleomagnéticos*. II Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Venezuela, I, pp. 162-195 (1974).
- VALENCIO, D.A. y VILAS, J.F.A. 1972: *Paleomagnetism of late Palaeozoic and early Mesozoic rocks of South America*. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 15, 1, pp. 75-85.
- VALENCIO, D.A. y VILAS, J.F.A., 1975: *Sequence of the continental movements occurred prior to and after the formation of the South Atlantic*. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 48, Suplem., pp. 377-386 (1976).
- VALENCIO, D.A., EMBLETON, B.J.J. y VILAS, J.F.A., 1971: *Reconstrucción y evolución del continente Gondwana sobre la base de datos paleomagnéticos y de la propagación de los fondos de los océanos*, *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXVI, n.1 pp. 5-23.
- VALENCIO, D.A., ROCHA CAMPOS, A.C. y PACCA, I.G., 1975: *Palaeomagnetism of some sedimentary rocks of the late Palaeozoic Tubarao and Passa Dois Groups, from the Parana Basin, Brazil*. *Rev. Brasil. Geocienc.*, 53, pp. 188-197.
- VALENCIO, D.A., MENDÍA, J.E., GIUDICI, A. y GASCON, J.O., 1976a: *Palaeomagnetism of the Cretaceous Pirgua Subgroup (Argentina) and the age of the opening of the South Atlantic*. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, in press.
- VALENCIO, D.A., VILAS, J.F.A. y MENDIA, J.E., 1976b: *Palaeomagnetism of a sequence of red beds of the Middle and Upper Sections of the Paganzo Group (Argentina) and the correlation of late Palaeozoic early Mesozoic rocks*. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, in press.
- VILAS, J.F.A. y VALENCIO, D.A., 1970: *Palaeogeographic reconstructions of the Gondwanic continents based on palaeomagnetic and sea floor spreading data*. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, pp. 397-405.
- VILAS, J.F.A. y VALENCIO, D.A., 1976: *Palaeomagnetism of South American rocks and the age of the South Atlantic*. *Rev. Bras. Geociencias*, in press.
- VILAS, J.F.A. y VALENCIO, D.A., 1977: *Palaeomagnetism of South American rocks and the Gondwana continent*. *Seminar on Past Configuration of Gondwana and geological correlation through time*. Fourth International Symposium. Calcuta, Enero 1977, India.
- WEGENER, A., 1924: *The origin of continents and oceans*. Methuen, London, 248 pp.