

RIFTING MESOZOICO EN EL SUDOESTE DE GONDWANA: INFLUENCIA DEL RIFTING PRECEDENTE EN LA APERTURA DEL OCÉANO ATLÁNTICO SUR AUSTRAL

Juan Pablo Lovecchio¹, Sebastien Rohais², Víctor A. Ramos³, Néstor Bolatti¹

1: YPF S.A. Exploración Offshore. juan.lovecchio@ypf.com

2: IFP Energies Nouvelles. sebastien.rohais@ifpen.fr

3: Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber. andes@gl.fcen.uba.ar

4: YPF S.A. Exploración Offshore. nestor.bolatti@ypf.com

Palabras clave: *rifting*, Mesozoico, Atlántico Sur, Colorado, Malvinas

ABSTRACT

The opening of the South Atlantic in the Early Cretaceous was only the final stage of the complex rifting history of SW Gondwana. In this contribution we reassess the chronology of Mesozoic basin formation in southern South America and Africa and integrate it in the long-term breakup history of SW Gondwana. Triassic rifting is characterized by intracontinental rifting in Africa (Karoo I phase), and retro-arc extension on the SW-margin of Gondwana. In the Early Jurassic, the impingement of the Karoo plume triggered rifting on Eastern Africa, producing the Karoo II basins (and the Colorado and Salado basins on the Argentinean shelf). East Africa rifting ultimately produced the breakup of Eastern from Western Gondwana in the Middle Jurassic. In Patagonia, the Austral, Malvinas and other related basins formed in association with the synextensional emplacement of the Chon Aike magmatic province in the Patagonian retro-arc. In the Late Jurassic the Rocas Verdes back-arc basin opened in southern Patagonia, while oblique rifting in the core of the Late Paleozoic Gondwanides orogen produced the Outeniqua and Rawson/Valdés basins. The South Atlantic rift initiated in the Early Cretaceous associated with present-day E-W extension. rifting occurred diachronically from south to north, initiating in the previously thinned Rawson/Valdés-Outeniqua segment. A precursor oblique rift system and a larger degree of extension in this segment could explain the lack of SDRs south of the Colorado-Cape fracture zones. rifting and SDR emplacement occurred progressively to the north along different rift segments, producing strongly asymmetric conjugate margins.

INTRODUCCIÓN

El supercontinente de Gondwana fue un collage de cratones y cinturones móviles, amalgamados hacia el Neoproterozoico durante la orogenia brasiliana-panafricana (Fig. 1a), al que se fueron acrecionando durante el Paleozoico terrenos alóctonos sobre su margen paleopacífico.

El último de los terrenos en acrecionarse, que consolidó el basamento del SO de Gondwana como lo conocemos, fue la Patagonia hacia fines del Paleozoico tardío (véase Ramos, 2008), produciendo la orogenia de los Gondwanides y la faja plegada de la Sierra de la Ventana, y su extensión en Sudáfrica en la faja plegada del Cabo.

El cambio de Era marcó también un cambio en el contexto geotectónico. El Mesozoico se caracterizó por extensión generalizada, con *rifting* y apertura de cuencas, que eventualmente terminó con el desmembramiento del supercontinente de Gondwana. Las causas de esa extensión fueron múltiples y se dieron de manera interrelacionada. Existen varias clasificaciones de *rifting*; la que refiere a los procesos y comportamiento de la astenósfera, lo clasifica en *rifting* activo y pasivo. El *rifting* activo es producido por un ascenso “activo” de la astenósfera producto de la acción de anomalías térmicas en el manto (plumas, Fig. 1b), mientras que en el caso de *rifting* pasivo la astenósfera asciende “pasivamente” producto de adelgazamiento cortical resultado de extensión en el plano horizontal generada por esfuerzos asociados, por ejemplo, a la dinámica de la subducción (Fig. 1b).

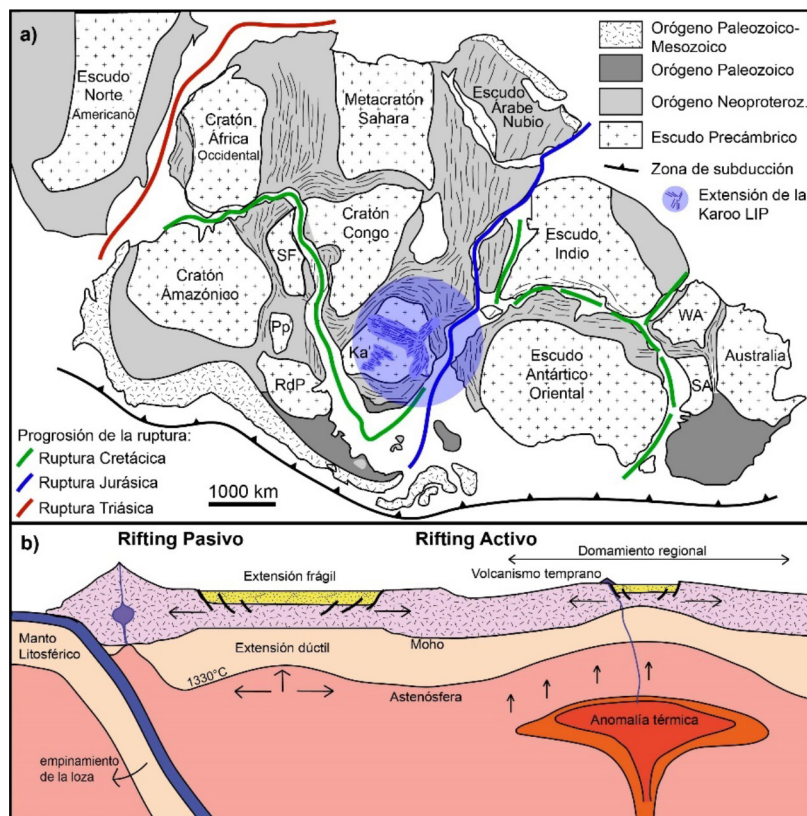


Figura 1. a: Reconstrucción de Pangea al final del Paleozoico siguiendo a Gray *et al.* (2008), mostrando los principales eventos de ruptura modificados de Moulin *et al.* (2010) y Will y Frimmel (2018). Cratones: RdP: Río de la Plata, Pp: Paranapanema block, SF: Sao Francisco, WA: Australia Occidental, SA: Australia Sur. b: Representación esquemática de *rifting* a) Activo; y b) Pasivo (modificado de Allen y Allen, 2005)

El conocimiento sobre los océanos y su formación es relativamente reciente. Si bien Wegener propuso la teoría de deriva continental en 1912, recién en los años '50, los trabajos de Marie Tharp y el equipo de Lamont permitieron conocer mejor la arquitectura de los océanos y las dorsales mesooceánicas. En los años '70, la observación de la distribución de las grandes provincias volcánicas (LIP: Large Igneous Provinces) respecto de los océanos llevó a Dewey y Burke (1974) a proponer una relación directa entre impacto de plumas y apertura oceánica. Para el caso del Atlántico Sur, habría sido la pluma de Paraná-Etendeka la responsable de su formación. Sin embargo, sabemos hoy que el *rifting* en el Atlántico Sur inició bastante antes que la extrusión de la Paraná LIP (Lovecchio *et al.*, 2020; Buiter y Torsvik, 2014; Franke, 2013).

Los procesos de extensión cortical y *rifting* son complejos, destacando sobre todo su carácter multi-episódico (Uliana *et al.*, 1989; Moulin *et al.*, 2010; Frizon de Lamotte *et al.*, 2015). La ruptura de supercontinentes como Pangea también se dio en múltiples etapas. En particular, se destaca la apertura del Atlántico Central en el Triásico con la separación de Laurentia (Norteamérica) de Gondwana (véase Leleu *et al.*, 2016); seguida de la ruptura entre Gondwana Oriental (Antártida + India + Australia) de Gondwana Occidental (Sudamérica + África) en el Jurásico, y finalmente la apertura del Atlántico Sur entre Sudamérica y África en el Cretácico temprano (Fig. 1a). Esos eventos fueron los casos de *rifting* exitosos que terminaron con aperturas oceánicas, en otros casos los procesos de *rifting* se abortaron antes de la acreción oceánica y quedaron como cuencas extensionales en contextos intracontinentales o en el retroarco asociados a márgenes convergentes.

La Figura 2 presenta un mapa de las principales cuencas extensionales mesozoicas de la porción sudoriental del continente sudamericano. Es posible observar varios trenes de depocentros, por un lado, las cuencas subandinas de rumbo general N a NNO, sobre la región occidental del territorio, groseramente paralelas a los Andes y a la zona de subducción; están mayormente relacionados a extensión de retroarco generada por la dinámica de la subducción con empinamiento de la placa subducida o roll-back negativos. Destacan por otro las cuencas de la plataforma continental en el sector norte, que tienen rumbo E-O a NO (en particular Colorado y Salado), pero también siguen esta tendencia la cuenca del Golfo de San Jorge, depocentros en el engolfamiento neuquino y la subcuenca de Lomas del Olmedo en el NOA, entre otros. En ocasiones se intentó explicar estas distintas orientaciones por variados mecanismos, desplazamiento de rumbo condicionada por fuerte fábrica del basamento, impactógenos, etc. Los trabajos más recientes nos han permitido diferenciar distintos eventos de *rifting* con rotación de los esfuerzos principales para distintos momentos de la historia geológica. De esta manera fue posible identificar en la cuenca del Colorado al menos tres eventos de *rifting* (para el Triásico, Jurásico y Cretácico) que están relacionados a familias de fallas normales de rumbos particulares ortogonales a los campos de esfuerzo extensivo del momento en que se generaron (Lovecchio *et al.*, 2018).

La integración de información respecto de la edad del *rifting* (a partir de la edad de los rellenos sedimentarios y volcánicos de los depocentros de *synrift* obtenidos de diversos métodos:

bioestratigrafía, dataciones radimétricas de rocas volcánicas intercaladas, circones detríticos, termocronología, etc.) nos ha permitido recrear el contexto geodinámico en el que estas cuencas mesozoicas se originaron (véase Lovecchio *et al.*, 2020). Dicha información fue también integrada con los datos provenientes de las cuencas mesozoicas africanas, como se muestra en la Figura 8 (véase Lovecchio *et al.*, 2020), donde las cuencas mesozoicas de Sudamérica y África austral fueron clasificadas por colores según la edad del *rifting* y se muestran en una paleogeografía de prerift (antes del *rifting*, Paleozoico tardío).

A continuación, se presenta un modelo de evolución del *rifting* mesozoico en el SO de Gondwana en cuatro etapas: Triásico temprano a tardío, Jurásico temprano a medio, Jurásico tardío, y Cretácico temprano.

TRIÁSICO TEMPRANO A TARDÍO

La consolidación del supercontinente de Pangea se completó hacia finales del Paleozoico superior. Riel *et al.* (2018) resume el escenario geodinámico ca. 250 Ma con subducción en el margen pantalásico, la apertura del Neotethys entre 280 y 260 Ma, seguido de *rifting* en la zona del Atlántico Central (Fig. 1). Desde el Pérmico medio inicia un proceso de rotación de Pangea en sentido horario con un polo de rotación en el norte de Sudamérica (Marcano *et al.*, 1999; Torsvik *et al.*, 2012), que produjo una desaceleración en la convergencia en el oeste de Gondwana, con extensión en el arco volcánico y desarrollo de la provincia magmática de Choiyoi (Kay *et al.*, 1989; Sato *et al.*, 2015).

En este contexto se produce la apertura de cuencas extensionales triásicas en el sudoeste de Gondwana. Destacan tres grandes sistemas de *rift* en ambientes intracontinentales, de retroarco e intermedios. El dominio de retroarco (1 en Fig. 3) abarca las cuencas de Cuyo, Bermejo, Neuquén, del Deseado y posiblemente extensión en el área de la cuenca de Malvinas. El sistema de *rifting* intracontinental se emplaza en el sector centro-sur africano (rifts de Zambezi, Watersberg, ver Frizon de Lamotte *et al.*, 2015, 2 en Fig. 3) y se extiende hacia el continente sudamericano en la cuenca de Santa María, en el sur de Brasil (Zerfass *et al.*, 2005); ese eje presenta un rumbo cuasi ortogonal al margen convergente panthalásico. Un tercer dominio, también oblicuo al margen, lo constituye la faja plegada de Ventana y su extensión sudafricana en la faja del Cabo, que presenta fuerte reactivación extensional mesozoica (que se habría iniciado en este período). Este tipo de reactivación extensional de estructuras previamente compresivas ha sido identificada costa afuera de Argentina, en la cuenca del Colorado, por Pángaro y Ramos (2012) y Lovecchio *et al.* (2018) y bajo la cuenca de Orange por Paton *et al.* (2016).

Resulta importante entender la dinámica del arco volcánico triásico que se ha preservado está presente en Chile, en la cordillera de Domeyko (Triásico temprano a medio), y que migró hacia la trinchera, hacia la posición de la Cordillera de la Costa para el Jurásico temprano (Oliveros *et al.*,

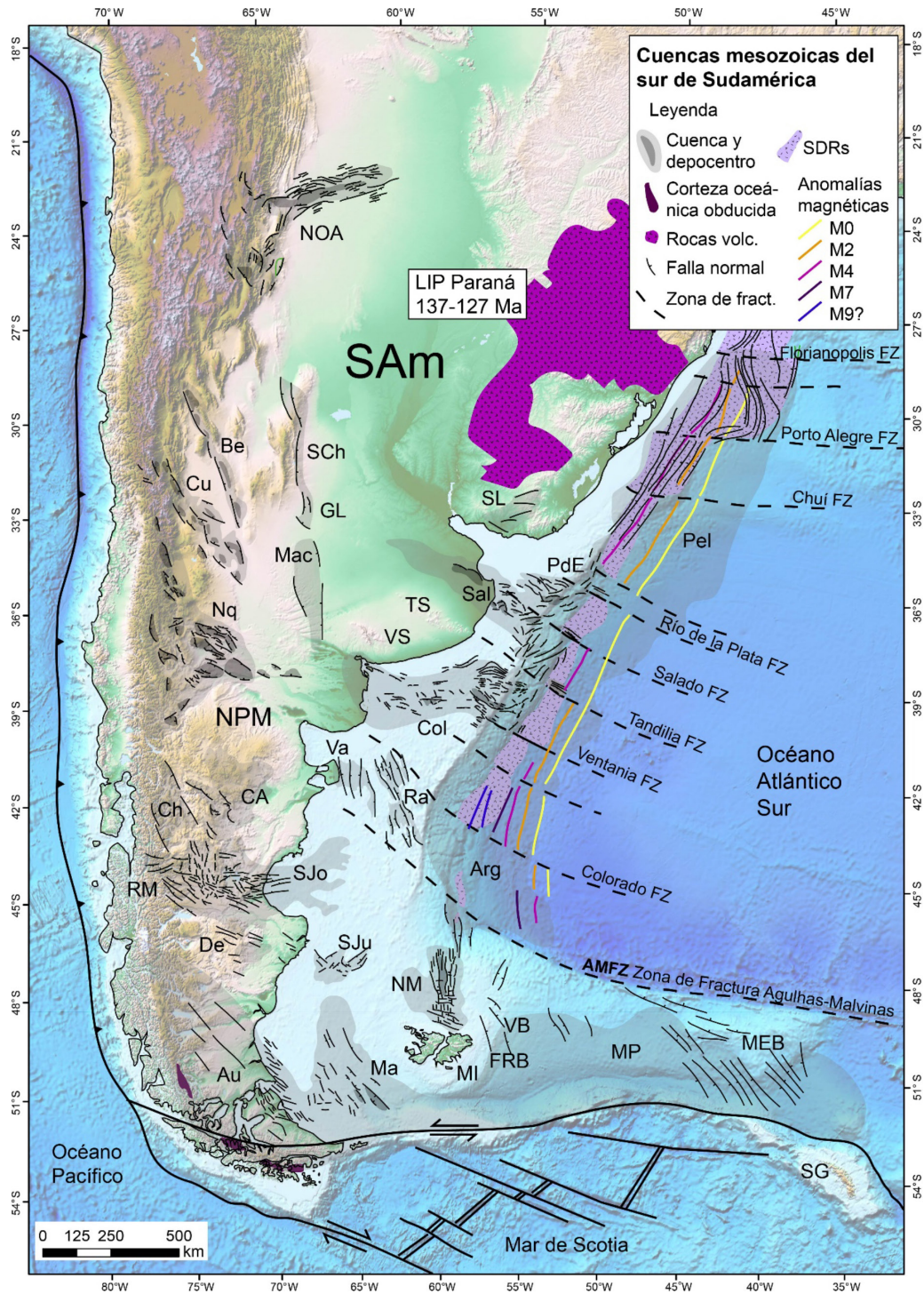


Figura 2. Mapa de las principales cuencas mesozoicas del sudeste de Sudamérica (SAM). NOA: cuenca Cretácica del NOA, SCh: Sierras Chicas, GL: General Levalle, Mac: Macachín, Be: Bermejo, Cu: Cuyo, Nq: Neuquén, Ch: cuenca liásica de Chubut, CA: Cañadón Asfalto, SJo: cuenca del Golfo San Jorge, Au: cuenca Austral/Magallanes, Ma: cuenca de Malvinas, NM: Malvinas Norte, SJu: San Julián, Va: Valdés, Ra: Rawson, Col: Colorado, Sal: Salado, PdE: Punta del Este, SL: Santa Lucía, Pel: Pelotas. Otros rasgos: MI: Islas Malvinas, VB: cuenca Volunteer, FRB: cuenca Fitzroy, MP: Plateau de Malvinas, MEB: Banco de Maurice Ewing, SG: Georgia del Sur, VS: sistema de Ventania, TS: sistema de Tandilia. FZ: zona de fractura. Fallas y depocentros según Uliana *et al.* (1995, 1989); Veroslavsky (1999); Franke *et al.* (2007); Micucci *et al.* (2011); Starck (2011), Becker *et al.* (2012); Bechis *et al.* (2014); Stica *et al.* (2014); Figari *et al.* (2015); Lohr y Underhill (2015); y Lovecchio *et al.* (2018). Topografía de fondo de Etopo 1 (Amante y Eakins, 2009).

2018). En el norte de Chile, el arco triásico está presente en la Cordillera de la Costa (Maksaev *et al.*, 2014). La presencia de un arco triásico y su migración en dirección de la trinchera hacia el Jurásico temprano también fue observada en la Península Antártica (Figs. 3 y 4) por Storey *et al.* (1992), que relacionan estas observaciones a un empinamiento de la placa que subduce y destacaron la importancia de las fuerzas de borde de placa en las etapas iniciales de la desintegración de Gondwana.

El ambiente de retroarco es el mejor representado en la Argentina. Una serie de cuencas extensionales se desarrollaron en el retroarco, producto del empinamiento de la losa. Las cuencas de Bermejo y Cuyo en el oeste de Argentina han sido relacionadas con la evolución del margen activo de los Gondwanides (Zerfass *et al.*, 2004). La ubicación y la orientación de estas cuencas es una consecuencia de heterogeneidades corticales dado que se emplazaron en el bloque colgante de las suturas entre los terrenos paleozoicos de Cuyania y Pampia (Ramos y Kay, 1991). Edades U-Pb en circón para la cuenca Cuyana indican varios pulsos de *rift* durante el Triásico medio (Spalletti *et al.*, 2008; Barredo *et al.*, 2012). Stipanovic y Bonaparte (1979) propusieron la apertura de la cuenca de Bermejo en el Triásico temprano. Edades recientes U-Pb en circón de tobas intercaladas en las unidades finales de *synrift* (sensu Milana y Alcober, 1994) indican una edad Triásico medio a tardío de 236-234 Ma (Marsicano *et al.*, 2016). Algunos depocentros triásicos se desarrollaron también en centro y norte de Chile (véanse Mpodozis and Ramos, 2008; y Espinoza *et al.*, 2018).

En la cuenca Neuquina, el ciclo Precuyano registra un *rifting* triásico tardío a Jurásico temprano. El relleno de los depocentros parece diacrónico, más antiguo en el norte, haciéndose cada vez más jóvenes hacia el sur (D'Elia *et al.*, 2015). Sin embargo, la Fm. Paso Flores (al SO de la cuenca) presenta también edades Triásicas (véase Carbone *et al.*, 2011), por lo que resulta importante replantear el diacronismo del *rifting* observado en la cuenca Neuquina, con desarrollo de depocentros triásicos hacia el oeste en el retroarco, en el actual sector cordillerano; y un posterior desplazamiento de la extensión hacia el este (engolfamiento), con un cambio de la dirección de los esfuerzos hacia el Jurásico temprano.

En la Patagonia, el Batolito Central Patagónico (Rapela *et al.*, 1991) y el complejo metamórfico de Chonos de edad triásica tardía a jurásica (Hervé y Fanning, 2001; Willner *et al.*, 2000) fueron asociados a subducción activa a lo largo de este segmento (Fig. 3; Rapela *et al.*, 2005; Zaffarana *et al.*, 2014). Sin embargo, Kay (1993) interpretó al Batolito Central Patagónico como relacionado a extensión, y todavía hay debate sobre la naturaleza o no de arco de este batolito. Más al este, en el macizo del Deseado, la cuenca triásica media a superior de El Tranquilo es un *rift* de rumbo NNO con depósitos continentales ricos en fósiles, intercalados con rocas volcánicas (Haller, 2002). La cuenca de El Tranquilo se desarrolló probablemente en una etapa tardía de la extensión del Pérmico registrada en el macizo del Deseado por el *rifting* de La Golondrina (Homoc y Constantini, 2001). Costa afuera, las cuencas de San Julián y Malvinas podrían haber registrado una estratigrafía similar. Los depocentros de ambas cuencas permanecen inexplorados. Lovecchio

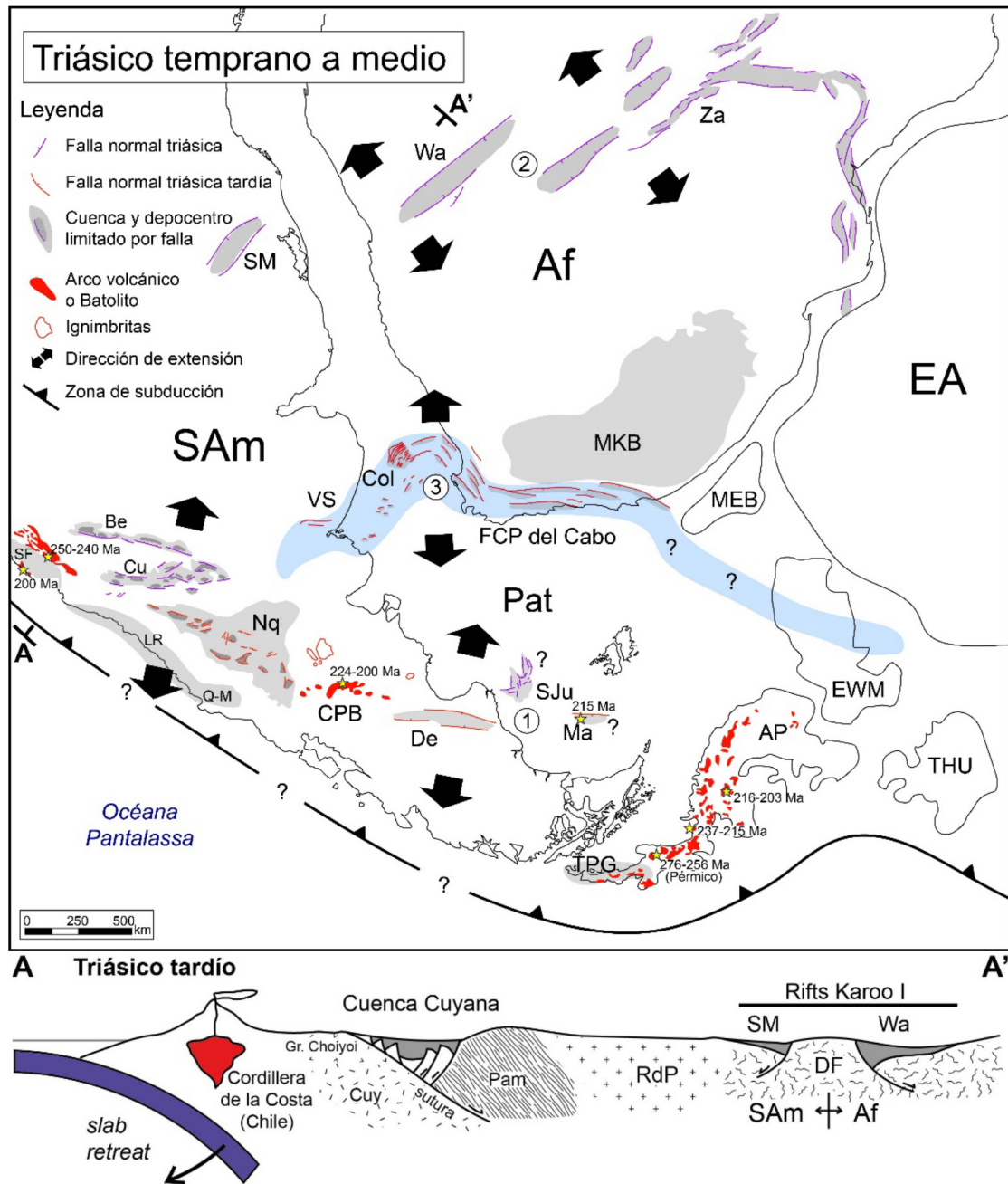


Figura 3. Reconstrucción paleotectónica del SO de Gondwana para el Triásico con África en su posición actual. Siguiendo la configuración de Gondwana de Dalziel *et al.* (2013). Arco volcánico del Triásico en Chile Central de Oliveros *et al.* (2018), Batolito Central Patagónico (CPB, edad de Rapela *et al.*, 2005). Arco volcánico de la Península Antártica de Storey *et al.* (1992) Cuencas de retroarco: Cuyo (Cu), Bermejo (Be), fallas tomadas de Uliana *et al.* (1995); contexto intracratónico: Santa María (SM), Waterberg (Wa), Zambesi (Za), de Zerkass *et al.* (2004), San Julián (SJu, de Micucci *et al.*, 2011). Cuencas del Triásico tardío a Jurásico temprano: Neuquén (Nq, ciclo Precuyano, fallas tomadas de Bechis *et al.*, 2014), Deseado (De) y Malvinas (Ma) de Uliana *et al.* (1989). Las fallas previamente compresivas de la faja corrida y plegada de Ventania (VS) y el Cabo, de edad pérmica a triásico temprana (FTB, en azul) se reactivaron extensionalmente en la zona de Colorado (Col) y aledaños (Lovecchio *et al.*, 2018; Mosquera *et al.*, 2011; Mosquera y Ramos, 2006; Paton, 2006). MKB: cuenca principal del Karoo. Bloques tectónicos: Sudamérica (Sam), Patagonia (Pat), África (Af), Banco de Maurice Ewing (MEB), Antártida Oriental (EA), Montañas Ellsworth-Whitmore (EWM), Península Antártica (PA), isla Thurston-Eights (THU). 1, 2 y 3 son diferentes grupos de cuencas referidos en el texto. B: Transecta esquemática A-A' del margen SO de Gondwana para el Triásico (véase ubicación en el mapa). Se observa un arco volcánico activo en retroceso hacia la trinchera, la cuenca Cuyana desarrollada sobre la sutura de terrenos paleozoicos, y en el sector intracratónico, los depocentros de Santa María (SM) y Watersberg (Wa) parte del sistema de rift de Karoo I (sensu Frizon de Lamotte *et al.*, 2015).

et al. (2019) presentaron edades nuevas para depocentros emplazados en la vertiente oriental del Alto de Río Chico, en la cuenca de Malvinas. Allí obtuvieron una edad máxima de sedimentación de 215 Ma para una brecha volcánica de *synrift* (Fig. 3).

JURÁSICO TEMPRANO A MEDIO

En esta segunda etapa de evolución, representada en la Figura 4, se han reunido dos eventos tectónicos principales: el *rifting* de Karoo II (sensu Frizon de Lamotte *et al.*, 2015), consecuencia del impacto de la pluma mantélica de Karoo en África oriental, y el efecto de la provincia magmática de Chon Aike en el retroarco del margen SO de Gondwana (sensu Pankhurst *et al.*, 1998).

Se mapeó la extensión máxima de las volcanitas de Karoo (Fig. 4) y se obtuvo un diámetro de la influencia de la pluma de aproximadamente 2.000 km, coherente con las sugerencias de White y McKenzie (1989). De acuerdo con Frizon de Lamotte *et al.* (2015), varias evidencias como el domamiento regional y el hecho de que el volcanismo es anterior al *rifting*, son evidencias de un proceso de *rifting* activo, con el impacto de la pluma como mecanismo accionador del evento de *rift* de Karoo II. La presencia de un potencial punto triple en África del este (Fig. 4) ha incrementado el debate. Jourdan *et al.* (2005) sugieren que los diques ígneos Jurásicos de Karoo se emplazaron a lo largo de cinturones móviles proterozoicos reactivados entre cratones. De esa manera la variedad de orientaciones de diques no sería producto de a un punto triple, sino condicionado por la fábrica del basamento. De todos modos, el área de Limpopo sigue siendo el centro geográfico de la actividad volcánica con *rifts* que presentan una orientación predominante ENE. Algunos autores relacionan el *rifting* de Karoo al proceso de subducción, un *rifting* que se habría visto acentuado, pero no producido por la pluma de Karoo (Storey *et al.*, 1992).

En el área de Mozambique (Fig. 4), el *rifting* evolucionó a lo largo del Jurásico temprano - medio, con emplazamiento de SDRs en el Bathoniano y acreción de corteza oceánica normal desde el Calloviano (Mueller y Jokat, 2017).

En el margen sudoeste de Gondwana, se registra una nueva fase de extensión en la cuenca Neuquina durante el Jurásico temprano: el ciclo cuyano. Esta extensión se asocia a depocentros más extensos formados por la reactivación de algunas estructuras del Precuyano (Vergani *et al.*, 1995). La cuenca liásica de Chubut, más al sur, se desarrolla detrás del arco magmático jurásico temprano representado por el Batolito Subcordillerano (Fig. 4).

Grandes volúmenes magmáticos se extruyeron durante el Jurásico temprano a medio en la Patagonia, formando la provincia magmática de Chon Aike (Fig. 4; Pankhurst *et al.*, 2000). Para el Jurásico temprano, el volcanismo ácido es coetáneo con volcanismo de arco del Batolito Subcordillerano (Rapela *et al.*, 2005), que se emplazó hacia el oeste del Batolito Central Patagónico del Triásico (ver Fig. 3). Esto implica la migración del arco hacia la trinchera paleopacífica, que es consistente con el retiro de la losa (*slab retreat*, Mpodozis y Ramos, 2008). Suárez y Márquez

(2007) proponen que la cuenca liásica de Chubut se desarrolló en la región de antearco respecto del arco magmático Triásico superior, dado por el batolito Central Patagónico; y en el retroarco respecto del Batolito Subcordillerano, relacionado con la subducción jurásica temprana. Según estos autores, el cierre de la cuenca de Chubut en el Jurásico medio coincide con una nueva migración hacia el oeste del arco magmático, desde una posición en la Patagonia Extraandina Central y rumbo NNO, a una ubicación en la Cordillera Patagónica y rumbo norte.

El retiro de la losa también es coherente con el régimen extensional en el retroarco observado en otras cuencas extensionales de esta época desarrolladas más al sur. Si interpretamos la orientación de los diques máficos en las Islas Malvinas como indicadores del campo de esfuerzos del Jurásico temprano (σ_3), observamos un diacronismo entre estas estructuras y el relleno de *synrift* jurásico medio, datado en la Cuenca Austral (Magallanes) (Pankhurst *et al.*, 2000) y Malvinas (Lovecchio *et al.*, 2019). Datos termocronológicos de las Islas Malvinas (Thomson *et al.*, 2002) indican una exhumación en el Jurásico temprano y medio, consistente con la elevación de hombro, respecto a la cuenca de Malvinas. Más al oeste, en la Cuenca Austral (Magallanes), Malkowski *et al.* (2015) resalta el diacronismo observado para la iniciación del *rifting* y el volcanismo bimodal hacia el noroeste, así como un diacronismo en la acreción de corteza oceánica en el Jurásico de la cuenca marginal de Rocas Verdes, que también se hace más joven hacia el norte (ver Fig. 5). En este contexto, Lovecchio *et al.* (2019) interpretan que el diacronismo general en la iniciación del *rifting* de este a oeste (de la cuenca de Malvinas a Austral-Rocas Verdes), también observado por Pankhurst *et al.* (2000) para las secuencias volcánicas de la provincia de Chon Aike, serían producto de un rollback diferencial (ver Echaurren *et al.*, 2017) gatillado por la presencia de una slab tear (rasgadura en la losa) ubicada entre Patagonia y la Antártida. En superficie, este fenómeno habría producido el desarrollo de una gran zona de fractura con desplazamiento de rumbo (Fig. 4) también necesaria para acomodar el desplazamiento entre Gondwana Occidental y Oriental durante la apertura de la cuenca de Mozambique (König y Jokat, 2006). En el SO de Gondwana, este desplazamiento está asociado a extensión rotacional de la Patagonia, con un eje de rotación al sur de la cuenca Neuquina, y el desplazamiento y rotación del arco magmático (Echaurren *et al.*, 2017).

Para la Península Antártica, Storey *et al.* (1992) observaron una migración hacia el oeste del arco jurásico en comparación con la posición del arco triásico, y el desarrollo de extensión del retroarco y magmatismo. El magmatismo jurásico temprano en la Península Antártica ha sido correlacionado también con el Batolito Subcordillerano de Patagonia por Riley *et al.* (2016).

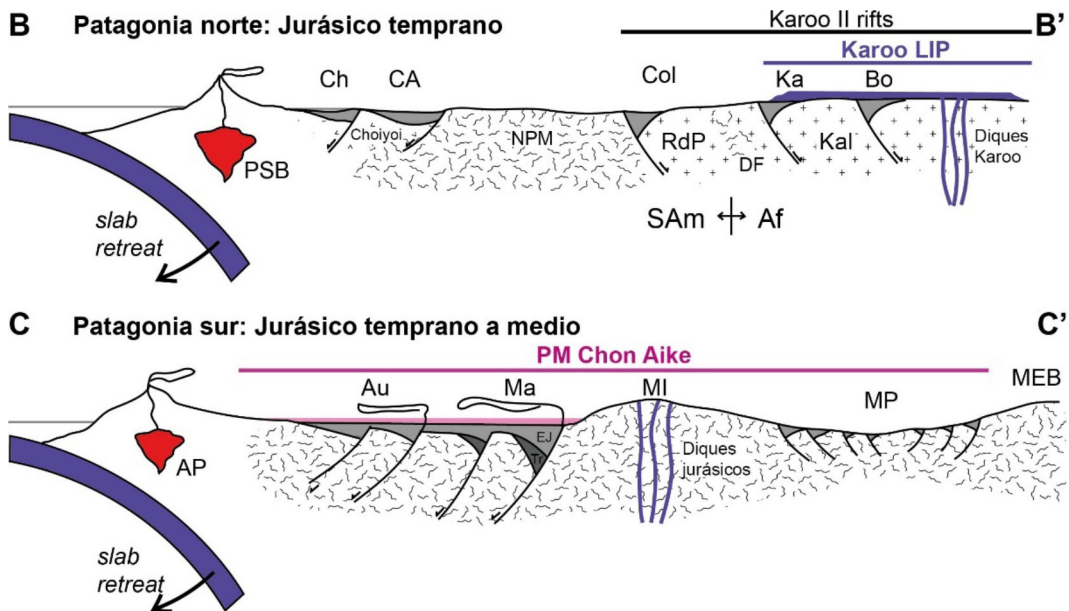
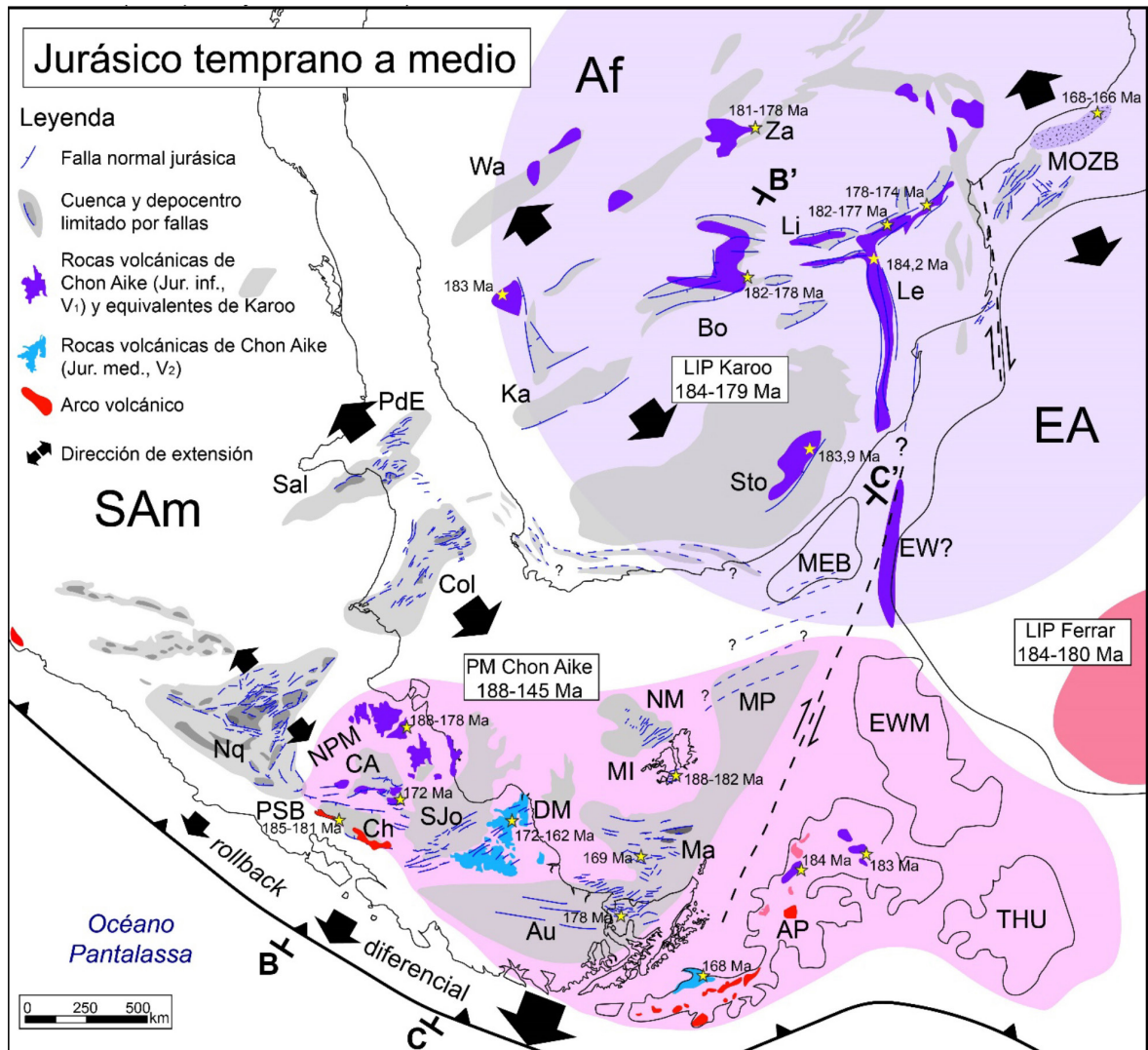
Las cuencas del Colorado y Salado se encuentran entre, pero probablemente fuera, de las áreas afectadas por el magmatismo de las provincias magmáticas de Karoo y Chon Aike (Fig. 4). Este evento de *rift* jurásico temprano a medio ha sido interpretado como responsable de la formación de los depocentros principales de las cuencas de Colorado y Salado (Lovecchio *et al.*, 2018) y se asocia a extensión SO-NE a N-S en América del Sur. En una perspectiva paleotectónica (Fig. 4),

estas cuencas se presentan alineadas con los *rifts* Karoo II de rumbo ENE de Kalahari, Botsuana, Limpopo y Mozambique en África. Los *rifts* de Colorado y Salado podrían ser la prolongación más occidental de las cuencas de *rift* de Karoo II (Fig. 4). Se observa también que, hacia el oeste de la cuenca de Colorado, y entre ésta y la cuenca neuquina, existe un tren de rumbo este oeste de depocentros extensionales desde la zona de la Dorsal de Huincul, pasando los depocentros de Loma Negra, Estancia Vieja y el área de Chelforó, a lo largo de la antigua zona de sutura entre Patagonia y Gondwana (Mosquera y Ramos, 2006).

JURÁSICO TARDÍO

El *rifting* iniciado en el período anterior en la zona del canal de Mozambique (África Oriental) para el Jurásico tardío ya estaba en fase de acreción de corteza oceánica. Para acomodar el desplazamiento relativo de la Antártida (Gondwana oriental) con respecto a América del Sur y África (Gondwana occidental) durante la apertura del canal de Mozambique, König y Jokat (2006) propusieron una zona de deformación transcurrente dextral, precursora del Mar de Weddell (Fig. 4). Una vez que Gondwana oriental y occidental se desacoplaron definitivamente, se inició la dispersión continental y la zona de fractura habría comenzado a actuar como una dorsal oceánica, dando origen al Mar de Weddell (Fig. 5). Debido a la falta de información, hay varios escenarios posibles sobre el origen y evolución del Mar de Weddell (Ghidella *et al.*, 2002). Uno de los márgenes conjugados, en Gondwana occidental (actual sur de Sudamérica) fue mayormente consumido por subducción bajo la placa de Scotia durante el Cenozoico. El otro margen conjugado, en Gondwana oriental, está cubierto por hielo casi todo el año en los territorios antárticos y es de difícil acceso y estudio. Datos magnéticos del actual Mar de Weddell fueron documentados por Ghidella *et al.* (2002) y König y Jokat (2006). Una cuña de SDRs, Explora Wedge, posiblemente asociada con la desintegración de Gondwana está presente en el margen antártico (Hinz, 1981; Kristoffersen *et al.*, 2014). Recientemente Eagles y Eisermann (2020) pudieron comprobar la presencia de corteza oceánica de esta edad en el *Plateau* de Malvinas (Fig. 5), y habrían identificado las anomalías magnéticas M25 (Oxfordiano) a M22 (Kimmeridgeo).

Figura 4. Reconstrucción paleotectónica de SO de Gondwana para el Jurásico temprano a medio. El este de África y la Antártida oriental se ven afectados por la pluma de Karoo (violeta), coetánea a las provincias magmáticas de Ferrar (rojo) y Chon Aike (rosado, Pankhurst *et al.*, 2000). *rifts* de Karoo: Kalahari (Ka), Botsuana (Bo), Limpopo (Li), Lebombo (Le), Stormberg (Sto), Mozambique (MOZB), edades de Jourdan *et al.* (2005), y Mueller and Jokat (2017). En América del Sur, extensión en las cuencas de Colorado (Col), Salado (Sal) y la cuenca Neuquina (Nq). También en las cuencas de Cañadón Asfalto (CA) y San Jorge (SJ). La cuenca liásica Chubut (Ch) es una cuenca de retroarco para el Batolito Subcordero (SB, Rapela *et al.* (2005). Diques de esta edad fueron reportados en las Islas Malvinas (MI; véase Ramos *et al.*, 2017). La Serie Tobífera en las cuencas Austral (Au) y Malvinas (Ma) también se desarrolló en este tiempo (Pankhurst *et al.*, 2000; Uliana *et al.*, 1989; Lovecchio *et al.*, 2019). Abajo: Transecta esquemática B-B' del margen SO de Gondwana para el Jurásico temprano a medio en el norte de la Patagonia (véase ubicación en el mapa). Se observa un arco volcánico activo en retroceso hacia la trinchera (Batolito Subcordero), con las cuencas liásicas de Chubut y Cañadón Asfalto en el retroarco, mientras que hacia el interior del continente la pluma de Karoo gatilla la apertura de los *rifts* del sistema de Karoo II, y de las cuencas de Colorado y Salado en la zona periférica. Transecta esquemática C-C' del margen SO de Gondwana para el Jurásico temprano a medio en el sur de la Patagonia. Se observa un arco volcánico activo en retroceso hacia la trinchera (presente en la Península Antártica), con *rifting* en el retroarco responsable de la apertura de las cuencas Austral y Malvinas, con influencia de la provincia magmática de Chon Aike, y extensión en las Islas Malvinas y Plateau de Malvinas más al este.



En el margen pacífico, la migración de arco hacia el oeste continuó en la Patagonia central, con el establecimiento del Batolito Andino Patagónico hacia el Jurásico tardío (Fig. 5). Esta migración hacia el oeste y rotación horaria del arco, sugieren continuidad del rollback diferencial de la losa subducida (Rapela *et al.*, 2005). El *rifting* asociado a apertura de la cuenca del trasarco de Rocas Verdes en el Jurásico tardío está representado por magmatismo bimodal y la aparición sucesiva de acreción de corteza oceánica (Calderón *et al.*, 2016). La cuenca de Rocas Verdes fue probablemente una cuenca alargada en sentido N-S (posiblemente no originalmente curvada, véase Vérard *et al.*, 2012). La conexión marina entre esta cuenca de trasarco y el Mar de Weddell parece posible. Sin embargo, tectónicamente estas cuencas están relacionadas con dos mecanismos independientes. Contrariamente a Diraison *et al.* (2000), que sugirieron una conexión de las dorsales oceánicas de la cuenca Rocas Verdes y el mar de Weddell a través de un sistema de fallas transformes, favorecemos una solución como la propuesta por Vérard *et al.* (2012), con dos cuencas oceánicas independientes: la cuenca de trasarco de Rocas Verdes producida por rollback negativo de la placa subduciente; y el Mar de Weddell, generado por acreción oceánica normal en ambos lados de una dorsal oceánica activa. Sin embargo, las reconstrucciones presentadas por Vérard *et al.* (2012), presentan problemas en relación con la extensión N-S de la cuenca de Rocas Verdes, la cantidad de extensión (desarrollo E-O) y forma (favorecen a una cuenca de trasarco de rumbo N-S a lo largo del margen). Rocas Verdes fue una cuenca asimétrica, donde el *rift* comenzó en el sur (véase Malkowski *et al.*, 2015), por lo que la extensión acumulada es mayor que en el norte, generando una cuenca de forma triangular (también coherente con la rotación horaria de Patagonia). La corteza oceánica obducida más septentrional aflora en torno a los 51° S (complejo Sarmiento), sugiriendo que la cuenca de trasarco no habría alcanzado los 48° S de latitud. El efecto del oroclino patagónico en curvar los remanentes de la cuenca de Rocas Verdes juega un papel importante y sigue siendo un tema de discusión (Ghiglione y Cristallini, 2007; Torres Carbonell *et al.*, 2016). En nuestra reconstrucción (Fig. 5) presentamos el oroclino patagónico y los Andes Fueguinos en su posición actual.

En África, se registran secuencias sedimentarias marinas del Jurásico tardío en la cuenca de Outeniqua (véase Broad *et al.*, 2012). En una perspectiva paleotectónica (Fig. 5), más allá del ajuste de los continentes que se utilice, la orientación de las fallas que forman las cuencas de Outeniqua y de Rawson/Valdés en la plataforma continental argentina son suficientemente paralelas, lo que es coherente con la extensión N-S observada en gran parte de África (extensión ENE para las coordenadas actuales de América del Sur). Como sugirieron Continanzia *et al.* (2011). En este trabajo asociamos a la formación de estas cuencas con un solo evento de *rifting* oblicuo iniciado en el Jurásico tardío. Las fallas extensionales observadas alrededor del Banco Maurice Ewing (MEB en Fig. 5), y las anomalías magnéticas de corteza oceánica del Plateau de Malvinas (presentadas recientemente por Eagles y Eisermann, 2020) parecen corresponder al mismo sistema extensional.

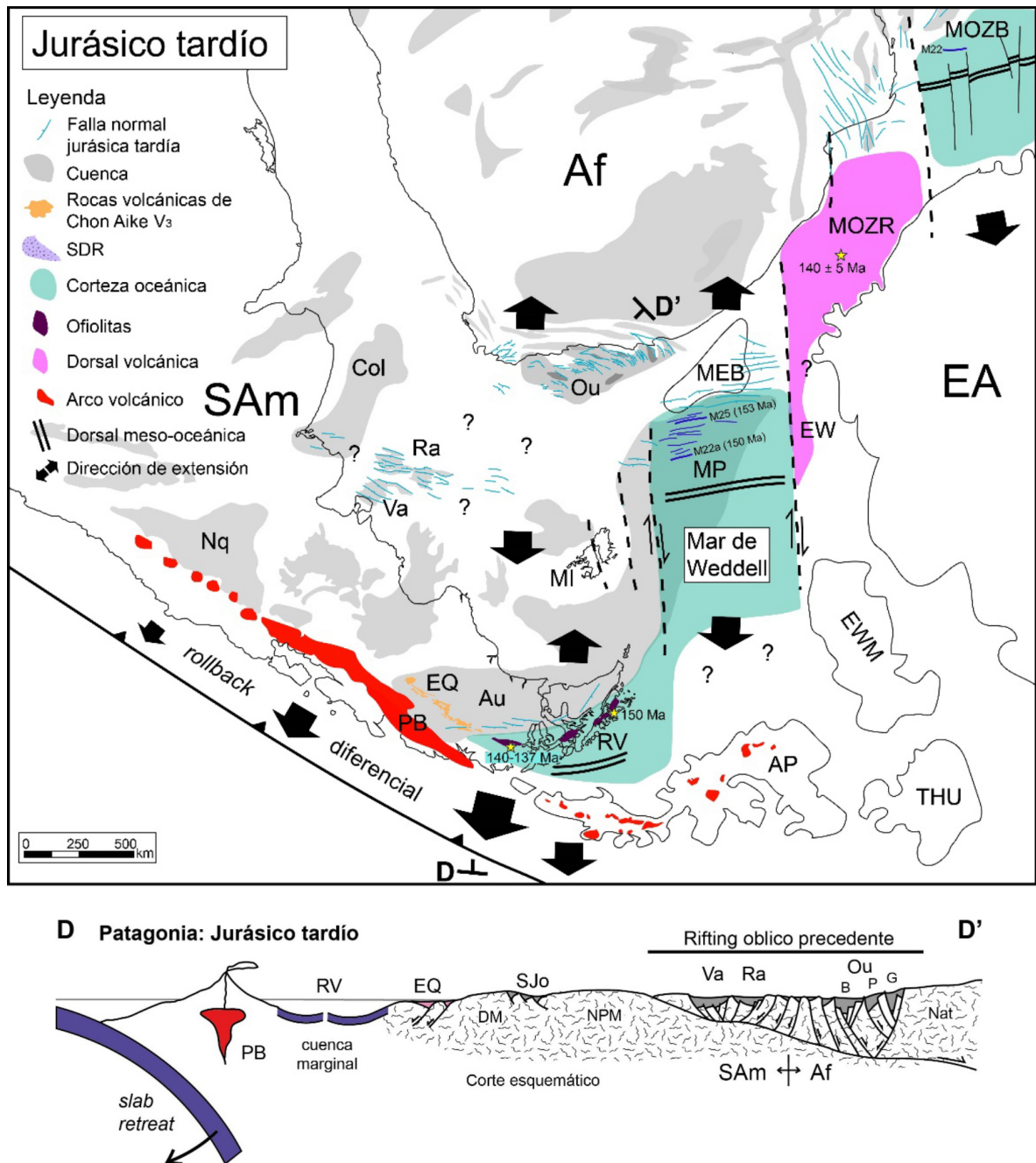


Figura 5. Reconstrucción paleotectónica del SO de Gondwana en el Jurásico tardío. Distribución de continentes tomada de König y Jokat (2006). El canal de Mozambique se abrió a medida que Antártida se desplazaba hacia el sur. La zona de cizalla en el límite de América del Sur-Antártida termina dando origen a una dorsal oceánica y al Mar de Weddell. Edades de la dorsal de Mozambique (MOZR) de Mueller y Jokat (2017). La cuenca marginal de Rocas Verdes (RV) con acreción de corteza oceánica en este período, se desarrolla al oeste de la Cuenca Austral (Au). Edades de la corteza oceánica tomadas de Mukasa y Dalziel (1996) y Stern *et al.* (1992). Batolito Patagónico (PB) representado esquemáticamente, según Rapela *et al.* (2005). La formación de las cuencas de Outeniqua (Ou) y Rawson/Valdés (Ra/Va), en el viejo núcleo orogénico paleozoico superior de los Gondwanides se dio por un proceso de *rifting* oblicuo. El rol de la futura zona de fractura de Agulhas-Malvinas (AMFZ) para este período es incierto, pero en el Cretácico temprano permitirá la separación de América del Sur de África y la ruptura del Atlántico Sur. Abajo: Transecta esquemática D-D' del margen SO de Gondwana para el Jurásico tardío en el sur de la Patagonia y Sudáfrica. Se observa un arco volcánico activo (Batolito Patagónico, BP), extensión en el retroarco (cuenca Austral) con volcanismo bimodal del complejo El Quemado y desarrollo de una cuenca de trasarco (Rocas Verdes) con acreción de corteza oceánica. La transecta pasa por la cuenca del Golfo de San Jorge, afectada por el volcanismo extensional de Chon Aike, y luego por los depocentros extensionales de Rawson y Valdés y de Outeniqua, precursores del Atlántico Sur.

CRETÁCICO TEMPRANO

El principal evento tectónico que tuvo lugar en el Cretácico es la apertura del Océano Atlántico Sur, relacionada con extensión E-O entre África y América del Sur. Este proceso ha sido interpretado como diacrónico, habiéndose iniciado en el sur y propagado progresivamente hacia el norte (Nürnberg y Müller, 1991). El sector sur del Atlántico Sur es un margen volcánico. Estos márgenes se caracterizan por la presencia de SDRs (*Seaward Dipping Reflectors*) en la zona de transición entre corteza continental y oceánica (COT). La migración hacia el norte del *rift* y la apertura oceánica se llevó a cabo en segmentos discretos (Franke *et al.*, 2007). Ambos márgenes conjugados, sudamericano y africano, presentan una fuerte segmentación. Las estructuras que limitan los diferentes segmentos son zonas de fractura (FZ), que han sido interpretadas como activas al menos desde el emplazamiento de SDR (Franke, 2013; Franke *et al.*, 2007). Para referencias, en la segmentación del margen Atlántico Sur, nos basamos en Clemson *et al.* (1997), Franke *et al.* (2007), y Blaiich *et al.* (2009). Varios modelos se han publicado sobre el origen de SDR y posibles mecanismos de emplazamiento (véase McDermott *et al.*, 2018) quedando fuera del alcance de este estudio. Pretendemos caracterizar sin embargo la arquitectura del margen para comprender mejor su evolución.

Es interesante notar la aparente ausencia (o menor desarrollo) de SDR en el segmento más austral del Atlántico Sur, donde se desarrollan las cuencas de Argentina y del Cabo, un área limitada por la zona de fractura de Agulhas-Malvinas (AMFZ) y la de Colorado-Cabo (CFZ, Fig. 6). Para el margen sudamericano, la ausencia de SDRs, fue interpretada por Becker *et al.* (2012) como parte de un margen transformante en el offshore de Argentina, teniendo en cuenta la influencia de la AMFZ. Además de los SDR, directamente relacionados con la ruptura continental, se presentan en las Fig. 6 y 7 las cuencas atlánticas en el margen africano y las fallas que delimitan los depocentros principales. La mayoría de estas estructuras están orientadas paralelas a la costa africana actual y a la COB. En la cuenca de Orange, algunos hemigrábenes se desarrollaron en corteza continental, la mayoría de ellos están delimitados por fallas que buzanan hacia el mar (como el depocentro AJ; véase Broad *et al.*, 2012). En el margen conjugado sudamericano, Stica *et al.* (2014) presentan una serie de fallas con buzamiento hacia el continente, como límites de depocentros de *synrift* y cuñas de SDRs en la cuenca de Pelotas; estando su rumbo directamente asociado con el régimen de esfuerzos en el momento del emplazamiento de SDR atlánticos.

En los segmentos de Colorado y Salado, Lovecchio *et al.* (2018) presentan una serie de fallas normales buzantes mayormente hacia el continente, orientadas paralelas o ligeramente oblicuas a la COB y restringidas a los 200 km más externos del dominio de corteza continental (Fig. 6). El *rift* Norte de la cuenca de Malvinas Norte se desarrolla también en esta etapa (Lohr y Underhill, 2015), y por el norte conectaría con el *rift* del Atlántico Sur (Becker *et al.*, 2012).

La COT en los segmentos entre las zonas de fractura de Colorado/Cabo y de Salado/Orange, se caracterizan por una marcada asimetría a lo largo del rumbo y por cambios en el ancho de las cuñas SDR. La COT (zona con SDRs) en el margen argentino es más angosta y se va reduciendo hacia el norte en dirección de la zona de fractura de Salado. En el margen africano la COT es más ancha y refleja un adelgazamiento cortical significativo, pero más gradual (Blaich *et al.*, 2011).

El *rifting* Atlántico, con extensión E-O, podría haberse iniciado en el Berriasiano-Valanginiano (indeterminado ya que los segmentos más australes permanecieron poco explorados y la cartografía de anomalías magnéticas disponible carece de detalle para este intervalo temporal). La ruptura oceánica (corteza oceánica más antigua) habría iniciado en el sur, posiblemente en el Valanginiano medio. La discordancia entre el *synrift* I y II en la cuenca de Outeniqua fue fechada en el Valanginiano medio (Jungslager, 1996) y estaría relacionada con el movimiento de desgarre a lo largo de la zona de fractura de Agulhas-Malvinas, producto de extensión E-O (Broad *et al.*, 2012). La ruptura fue avanzando progresivamente hacia el norte (Rabinowitz y LaBreque, 1979; Nürnberg y Müller, 1991). Modelos cinemáticos de placa indican una edad hauteriviano tardía para la iniciación de la acreción de corteza oceánica normal en el segmento de Colorado/Sur de Orange, y aptiana en el tramo norte de Pelotas/Walvis (Heine *et al.*, 2013). El proceso de *rifting* y sucesiva ruptura fueron avanzando de manera diacrónica hacia el norte, y evolucionado en segmentos delimitados por zonas de fractura que acomodaron el desplazamiento relativo.

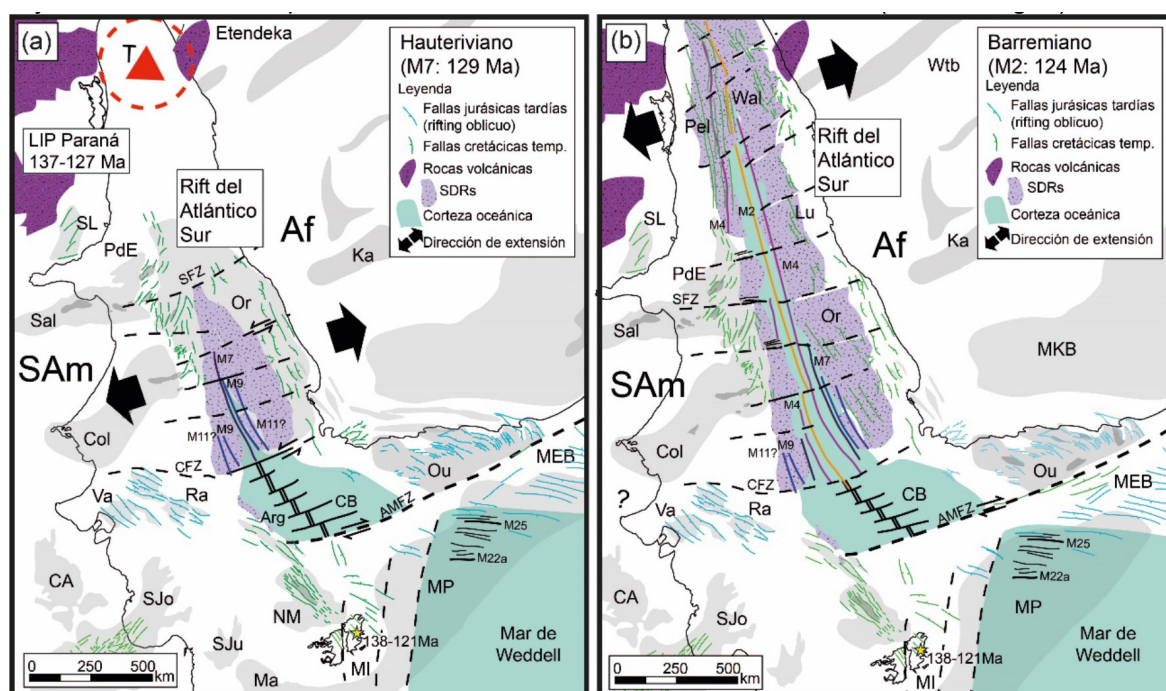


Figura 6. Reconstrucción paleotectónica del rift del Atlántico Sur para el Cretácico temprano. a: Hauteriviano. La ruptura del segmento más austral (Rawson-Outeniqua), producto de *rifting* pasivo, habría ocurrido en el Valanginiano, por lo que para este momento ya estaba en fase de drift. Al norte de la zona de fractura de Colorado (CFZ) se están emplazando SDRs durante el Hauteriviano. Más al norte, en el segmento Pelotas/Walvis, los basaltos de Paraná-Etendeka se extruyen por efectos de la pluma de Tristán da Cunha (T). b: Barremiano. *rifting* activo en el segmento Pelotas/Walvis, mientras que al sur los márgenes conjugados se encuentran en fase de drift.

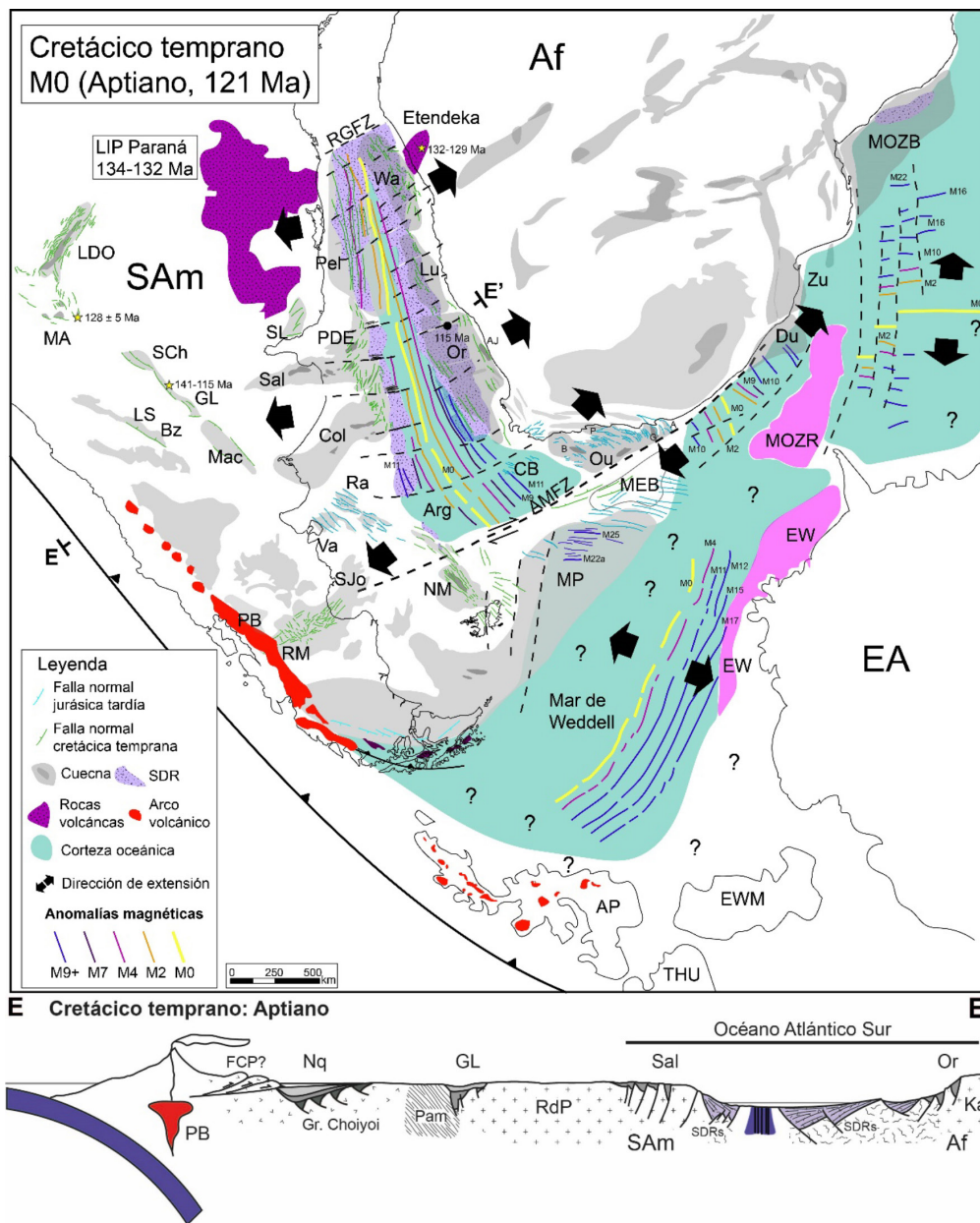


Figura 7. Arriba: Reconstrucción paleotectónica del SO de Gondwana para el Cretácico temprano (121 Ma). La apertura del Atlántico Sur se presenta en una fase evolucionada. Posiciones de América del Sur y África tomadas de Blaich *et al.* (2011), bloques antárticos según König y Jokat (2006). La Antártida continúa su deriva hacia el sur. El desplazamiento de rumbo a lo largo de la AMFZ permite la apertura del Océano Atlántico Sur. Los SDRs son menos abundantes en el segmento más austral. Hacia el sur, el graben de Malvinas Norte sería una extensión del *rift* Atlántico (Becker *et al.*, 2012; fallas tomadas de Lohr y Underhill, 2015). Diques en las Islas Malvinas de edad Cretácico temprano (véase Ramos *et al.*, 2017). Se registra extensión en ambas márgenes en un *rift* estrecho a ambos lados de la COT actual. Cuñas de SDRs se emplazan en los otros segmentos al norte de la zona de fractura de Colorado. Cuencas sudamericanas: Punta del Este (PDE); Santa Lucía (SL), Pelotas (Pel). Cuencas africanas: Outeniqua (Ou), Orange (Or, edad de bioestratigrafía del pozo Kudu, Erlank *et al.*, 1990), Luderitz (Lu) y Walvis (Wa). Algunas estructuras antiguas de basamento se reactivan extensionalmente y forman las cuencas de Macachín (Mac), Sierras Chicas (SCH, edades de Lagorio, 2008), Las Salinas (LS) y Beazley en San Luis, Metán-Alemania (MA) y Lomas de Olmedo en Salta (LDO, edad de Galliski y Viramonte, 1988). La provincia ígnea de Paraná-Etendeka LIP extruye en este período (Pinto *et al.*, 2011). Estructuras y depocentros según Uliana *et al.*, 1989; Ramos, 1996; Gladchenko *et al.*, 1997; Jungslager, 1999; Franke *et al.*, 2007; Starck, 2011; Broad *et al.*, 2012; Stica *et al.*, 2014; Koopmann *et al.*, 2014; Figari *et al.*, 2015; Lohr y Underhill, 2015; y Lovecchio *et al.* (2018). Abajo: Transecta E-E' que muestra *rifting* y acreción de corteza oceánica en el Atlántico Sur (en el segmento Salado-Orange). Más al oeste, la cuenca extensional de General Levalle se emplazó sobre la zona de sutura entre el cratón del Río de la Plata (RdP) y Pampia. Con subducción activa en el margen pacífico, la apertura del Atlántico aceleró la convergencia y desencadenó un pulso orogénico cretácico en los Andes.

En Argentina costa adentro, existe un tren de cuencas neocomianas alineadas sobre el borde occidental del Cratón del Río de la Plata (sobre la sutura con el terreno de Pampia: Macachín, General Levalle, Sierras Chicas, Fig. 7) y otro más al oeste (formado por los depocentros de Las Salinas, Beazley, etc.; Uliana *et al.*, 1989) que coincide parcialmente con los depocentros triásicos. La cuenca de Santa Lucía (en Uruguay) se desarrolla sobre el Cratón del Río de la Plata, posiblemente asociado con deslizamiento de rumbo (Veroslavsky, 1999). En la cuenca del Golfo de San Jorge, una fase neocomiana de extensión es responsable de una serie de depocentros a través de la cuenca y que se extienden al oeste en las subcuencas de Río Senguer, Río Mayo y Río Guenguel (Iannizzotto *et al.*, 2004; Mpodozis y Ramos, 2008) que tuvieron influencia marina pacífica. En norte de Argentina, la cuenca del cretácico del NOA presenta tres brazos que se formaron en esta etapa, con la rama N-S producida por el alineamiento de las subcuencas Metán/Alemania y Tres Cruces, y la rama E-O correspondiente a la subcuenca de Lomas de Olmedo (LDO en Fig. 7).

DISCUSIÓN

En la introducción se presentaron los elementos clave que caracterizan los procesos de *rifting* activo y pasivo. En este sentido, es interesante reflexionar sobre el origen del Atlántico Sur, que no se formó como consecuencia de *rifting* activo por el impacto de la pluma mantélica de Paraná, sino que el volcanismo se inició una vez que el proceso de *rifting* estaba ya instalado y se propagaba diacrónicamente desde el sur.

Se presume que el disparador más importante de dispersión continental es la inestabilidad inducida por el proceso de *slab rollback* relacionado a subducción (Bercovici y Long, 2014; Dal Zilio *et al.*, 2018). Hemos destacado este efecto desde el Triásico para el retroarco del SO de Gondwana (cuencas de Cuyo, Bermejo, Neuquén; Fig. 3, 8), cuando una rotación en sentido antihorario de Pangea entre 230 y 260 Ma habría sido determinante (Riel *et al.*, 2018).

El evento Jurásico temprano de Karoo II es una excepción. El domamiento regional y actividad volcánica observadas antes del *rifting* confirman un mecanismo de *rifting* activo (Frizon de Lamotte *et al.*, 2015), que desencadenó la apertura del canal de Mozambique y la ruptura de Gondwana occidental y oriental. Asociamos el evento Karoo II con la formación de las cuencas del Colorado y Salado, en el *offshore* de Argentina. Si bien estas cuencas son externas al área de influencia de la actividad volcánica relacionada con la pluma, en su posición paleotectónica (Fig. 4, 8) están alineadas con otros depocentros de Karoo II en África y podrían entonces ser coetáneos con depocentros en el engolfamiento neuquino y la zona de Chelforó, que indican reactivación de la antigua sutura de Patagonia (Mosquera y Ramos, 2006).

Fuera del área de influencia de la pluma del Karoo, hacia el margen SO de Gondwana, la provincia magmática silícica de Chon Aike, jugó un papel importante ya que está

intrínsecamente relacionada con extensión diacrónica en la Patagonia, la Península Antártica y otros territorios antárticos (Pankhurst *et al.*, 2000). Rapela *et al.* (2005) proponen que el desarrollo del arco volcánico del Batolito Subcordillerano, coetáneo con la provincia magmática de Chon Aike, se emplazó bajo extensión cortical. La migración horaria hacia el sudoeste del arco, entre el Batolito Central Patagónico (Triásico tardío) y el Batolito Subcordillerano (Jurásico temprano) ha sido asociada con *rollback* diferencial de la losa (Echaurren *et al.*, 2017). La extensión que se relaciona con la provincia magmática de Chon Aike ha sido vinculada con la formación de las cuencas Cañadón Asfalto, Malvinas y Austral (Uliana *et al.*, 1985), a la cual nosotros agregamos, siguiendo a Ramos *et al.* (2017), el *rift* Sur de la cuenca de Malvinas Norte.

El *rifting* en la cuenca de Mozambique desde el Jurásico temprano a medio (*rifting* Karoo II) y la sucesiva apertura del canal de Mozambique, no podría haber ocurrido sin el desplazamiento lateral a lo largo de la zona de fractura del proto-Weddell que desacopló mecánicamente a Gondwana oriental de la occidental (según lo sugerido por König y Jokat, 2006). La separación entre ambos continentes fue un punto de no retorno en el proceso de dispersión de Gondwana. Además, permitió la aceleración de la extensión en el retroarco en Gondwana occidental, con la formación progresiva de las cuencas Austral y Malvinas en el Jurásico medio, un proceso que culminó en el Jurásico tardío con la apertura de la cuenca marginal de Rocas Verdes. Mpodozis y Ramos (2008) y Echaurren *et al.* (2017) sugirieron un empinamiento de la losa subducida como el mecanismo que disparó la extensión en el retroarco patagónico en el Jurásico tardío. Por otra parte, esta extensión parece estar también relacionada con el *rifting* que formó las cuencas de Outeniqua y Rawson/Valdés, un *rifting* que presumimos pudo haber sido oblicuo (oblicuo a la futura COB del Atlántico Sur), pero que parece más bien paralelo a la orientación paleotectónica de la porción norte de la cuenca de Rocas Verdes (Fig. 5, 8). La zona afectada por el *rifting* de Outeniqua-Rawson/Valdés fue probablemente el núcleo orogénico de los Gondwanides, un área sometida a compresión en el Paleozoico tardío por la colisión de la Patagonia, pero que permanece poco estudiada. Un buen análogo para entender mejor el segmento Rawson/Valdés – Outeniqua podría ser el Golfo de Adén (Leroy *et al.*, 2012, 2010; Mohriak y Leroy, 2013; véase discusión en Lovecchio *et al.*, 2020).

Es importante destacar el *rifting* que formó las cuencas de Rawson y Valdés, porque este *rifting* fue precursor y oblicuo a la apertura del Atlántico. Hacia inicios del Cretácico debe haberse producido una rotación del campo de esfuerzos, llevando el eje de extensión al rumbo E-O. En ese nuevo escenario (Fig. 6a), la zona de fractura de Agulhas-Malvinas evolucionó a una zona de cizalla dextral por lo menos desde el Valanginiano (Baby *et al.*, 2018). Esta zona de fractura podría ser otro caso de la herencia estructural, posiblemente relacionado con una potencial zona de subducción entre el Macizo del Deseado y el Nordpatagónico (Pankhurst *et al.*, 2006). Como fue sugerido recientemente por Brune *et al.* (2012) a partir de modelado numérico, el

rifting oblicuo parece facilitar la ruptura continental, ya que requiere menos fuerza para alcanzar el límite plástico, en comparación con extensión ortogonal. Para el Atlántico Sur, proponemos que una primera fase de *rifting* oblicuo en el segmento Rawson/Valdés–Outeniqua, que podría haber sido eficaz en el adelgazamiento desde el Jurásico tardío de una litósfera ya afectada por la orogenia gondwánica y varios ciclos extensionales. Así, en el Cretácico temprano, una litosfera ya adelgazada en el segmento más austral del Atlántico Sur, al ser sometida a extensión E-O, inició la ruptura continental con poco volcanismo y escaso desarrollo de SDRs.

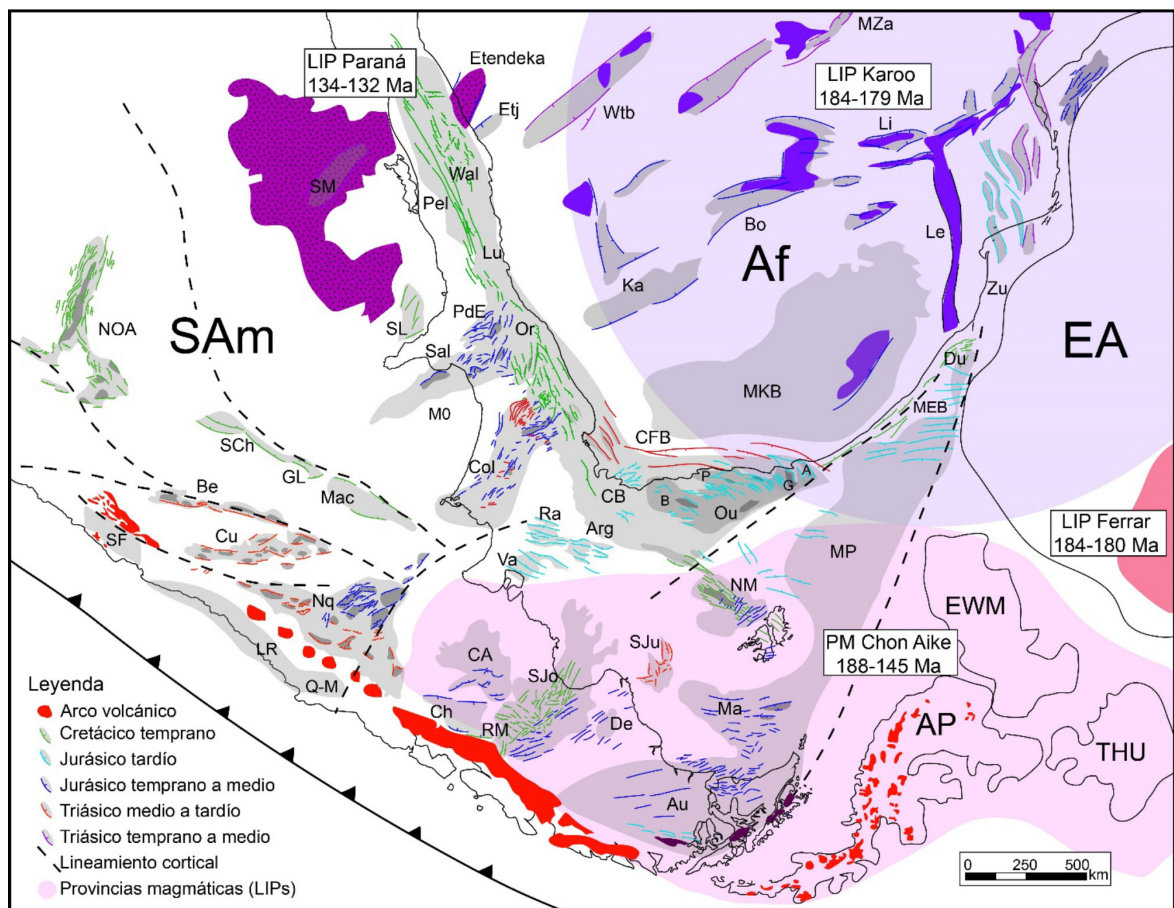


Figura 8. Cuencas mesozoicas del SO de Gondwana, sobre un contexto paleotectónico de prerift correspondiente al Paleozoico tardío.

La ruptura a lo largo del *rift* Atlántico ocurrió luego en segmentos delimitados por zonas de fractura (FZ). La mecánica de la propagación del *rift* a través de los diferentes segmentos ha sido postulada por varios autores, en particular Franke *et al.* (2007), Franke (2013), Blaiich *et al.* (2013), y Koopmann *et al.* (2014). En cuanto a la extensión E-O desde por lo menos el Valanginiano medio, estamos de acuerdo con el modelo presentado por Blaiich *et al.* (2011) quienes introdujeron un proceso en dos fases de ruptura: con una primera fase de adelgazamiento de la cortical formando

un sistema de *rift* Atlántico de 500 km de ancho (Lovecchio *et al.*, 2018), seguido de la fase de ruptura propiamente con emplazamiento de SDR y la sucesiva acreción de corteza oceánica. Ambas fases podrían haber tenido lugar como parte de un proceso continuo.

La oceanización ya había comenzado en el extremo sur: segmento Rawson/Valdés – Outeniqua (Fig. 6a). La zona de fractura de Colorado jugó un rol importante en esta etapa, acomodando acreción de corteza oceánica hacia el sur, y *rifting* continental al norte. En el segmento de Colorado-Orange, las zonas afectadas por las fases anteriores de *rifting* (Triásico tardío - Jurásico temprano a medio) permanecen fuera de la zona de *rifting* activo (en una fase de subsidencia térmica, Lovecchio *et al.*, 2018). El *rift* Atlántico se concentra en una franja mas externa del dominio continental, en la zona del alto externo de Colorado y talud, ese es el verdadero margen conjugado de la cuenca africana de Orange, donde se descubrieron recientemente importantes acumulaciones de hidrocarburos en los pozos Venus y Graff.

El *rift* del Atlántico Sur parece haber seguido zonas de debilidad del basamento, formadas en la orogenia Brasiliana-Panafricana, durante el Neoproterozoico. Estas zonas de debilidad podrían haber sido suturas (Hartnady *et al.*, 1985) o, como recientemente fuera sugerido por Will y Frimmel (2018), el eje mayor de una cuenca de trasarco neoproterozoica (cuenca de Marmora, Namibia). La herencia estructural del basamento jugó también un papel clave en el condicionamiento de fallas y emplazamiento de otros depocentros en el Mesozoico. En el Triásico, por ejemplo, la Cuenca Cuyana se desarrolló sobre el bloque colgante de una sutura reactivada extensionalmente entre terrenos acrecionados al margen sudoeste de Gondwana durante el Paleozoico (Ramos y Kay, 1991). En el Cretácico, una serie de cuencas elongadas N-S se formaron sobre la sutura entre el cratón de Río de la Plata y el bloque de Pampia (Macachín, General Levalle, Sierras Chicas, etcétera).

Creemos que la herencia del basamento sin duda jugó un papel importante, pero lo que fue clave para la orientación del *rift* del Atlántico Sur fue la rotación del campo de esfuerzos en el Cretácico temprano a una posición más ortogonal con respecto a la fábrica estructural del basamento. Esta configuración habría permitido la rápida propagación del *rift* siguiendo zonas de debilidad precedentes, al norte del ya oceanizado segmento de Rawson-Valdés/Outeniqua. Fue necesario el desplazamiento de rumbo a lo largo de la zona de fractura de Agulhas-Malvinas para acomodar la extensión al norte de la misma y permitir la separación de los continentes. Por alguna razón, probablemente relacionada con la rotación del campo de esfuerzos, se favoreció el desplazamiento de rumbo a lo largo de la zona de fractura de Agulhas-Malvinas en lugar de continuar la propagación del *rift* hacia el sur (a través del graben de Malvinas Norte, hoy en día abortado).

CONCLUSIONES

El sector sudoccidental del supercontinente de Gondwana experimentó un proceso de *rifting* multiepisódico, que estuvo fuertemente condicionado por la dinámica del proceso de subducción del margen convergente paleopacífico.

Las cuencas de la plataforma continental argentina se originaron como consecuencia de distintos eventos de *rift*. En particular, las cuencas de Colorado y Salado, parecen formar parte del gran sistema de *rift* de Karoo del Jurásico temprano, alineándose también Colorado con los depocentros del engolfamiento neuquino y la zona de Chelforó, que estarían relacionados con reactivaciones de la sutura entre la Patagonia y Gondwana. El Jurásico se caracterizó también por el desarrollo de grandes provincias magmáticas en este sector de Gondwana, Karoo con foco en África y Chon Aike en Patagonia. Chon Aike se emplazó de manera diacrónica y muestra una íntima relación con el proceso de subducción, además configura el relleno de las principales cuencas extensionales de la Patagonia: Austral, Malvinas, Golfo de San Jorge. Hacia el Jurásico superior, se observa *rifting* en el sector intracontinental, responsable de la formación de las cuencas de Rawson-Valdés y Outeniqua, y este *rifting* fue importante por su carácter precursor a la apertura del Atlántico Sur en el Cretácico temprano.

El *rift* del Atlántico Sur fue un sistema de *rift* altamente segmentado que se habría iniciado en el Berriasiano-Valanginiano temprano y avanzó diacrónicamente desde el segmento austral hacia el norte, en dirección de la pluma de Paraná que extruyó recién en el Hauteriviano, momento en que también cobra importancia el emplazamiento de SDRs en la zona de transición continental-oceánica en los segmentos al norte de la zona de fractura de Colorado-Cabo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a YPF por poner a disposición el set de datos necesarios para la preparación de este trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Allen, P.A., y Allen, J.R., 2005. Basin Analysis - Principles and Application, Second edition. ed. Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA.
- Amante, C. y Eakins, B. W., 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24.
- Baby, G., Guillocheau, F., Boulogne, C., Robin, C. y Dall, M., 2018. Tectonophysics Uplift history of a transform continental margin revealed by the stratigraphic record: The case of the Agulhas transform margin along the Southern African Plateau DOME. Tectonophysics, 731–732 (March), pp. 104–130. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.014>

- Barredo, S., Chemale, F., Marsicano, C., Ávila, J. N., Ottone, E. G. y Ramos, V. A., 2012. Tectono-sequence stratigraphy and U-Pb zircon ages of the Rincón Blanco Depocenter, northern Cuyo *rift*, Argentina. *Gondwana Research*, 21(2-3), pp. 624-636. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.05.016>
- Bechis, F., Cristallini, E. O., Giambiagi, L. B., Yagupsky, D. L., Guzmán, C. G. y García, V. H., 2014. Transtensional tectonics induced by oblique reactivation of previous lithospheric anisotropies during the Late Triassic to Early Jurassic *rifting* in the Neuquén basin: Insights from analog models. *Journal of Geodynamics*, 79, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.04.010>
- Becker, K., Franke, D., Schnabel, M., Schreckenberger, B., Heyde, I., y Krawczyk, C. M., 2012. The crustal structure of the southern Argentine margin. *Geophysical Journal International*, 189(3), pp. 1483-1504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05445.x>
- Bercovici, D., y Long, M. D., 2014. Slab rollback instability and supercontinent dispersal, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1002/2014GL061251>
- Blaich, O. A., Faleide, J. I., Tsikalas, F., Franke, D., y León, E., 2009. Crustal-scale architecture and segmentation of the Argentine margin and its conjugate off South Africa. *Geophysical Journal International*, 178(1), pp. 85-105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04171.x>
- Blaich, O. A., Faleide, J. I., y Tsikalas, F., 2011. Crustal breakup and continent-ocean transition at South Atlantic conjugate margins. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116 (1), pp. 1-38. <https://doi.org/10.1029/2010JB007686>
- Blaich, O.A., Faleide, J.I., Tsikalas, F., Gordon, A.C., y Mohriak, W.U., 2013. Crustal-scale architecture and segmentation of the South Atlantic volcanic margin, in: Mohriak, W.U., Danforth, A.L., Post, P.J., Brown, D.E., Tari, G.C., Nemcok, M., Sinha, S.T. (Eds.), *Conjugate Divergent Margins*. Geological Society Special Publication 369, pp. 167-183.
- Broad, D. S., Jungslager, E. H. A., McLachlan, I. R., Roux, J. y Van der Spuy, D., 2012. South Africa's offshore Mesozoic basins. *Regional Geology and Tectonics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56357-6.00014-7>
- Brune, S., Popov, A. A. y Sobolev, S. V., 2012. Modeling suggests that oblique extension facilitates *rifting* and continental break-up. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117 (8). <https://doi.org/10.1029/2011JB008860>
- Buiter, S. J. H. y Torsvik, T. H., 2014. A review of Wilson Cycle plate margins: A role for mantle plumes in continental break-up along sutures? *Gondwana Research*, 26 (2), pp. 627-653. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.02.007>
- Calderón, M., Herve, F., Fuentes, F., Fosdick, J. C., Sepulveda, F. y Galaz, G., 2016) Tectonic Evolution of Paleozoic and Mesozoic Andean Metamorphic Complexes and the Rocas Verdes Ophiolites in Southern Patagonia. En Ghiglione, M.C. (ed.), *Geodynamic Evolution of the Southernmost Andes*, pp. 7-36. Switzerland: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39727-6>
- Carbone, O., Franzese, J., Limeres, M., Delpino, D. y Martinez, R., 2011. El ciclo Precuyano (Triásico Tardío-Jurásico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Neuquén*. XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén, pp. 63-76

- Clemson, J., Cartwright, J. y Booth, J., 1997. Structural segmentation and the influence of basement structure on the Namibian passive margin. *Journal of the Geological Society*, 154 (3), pp. 477–482. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.3.0477>
- Continanzia, J., Manceda, R., Covellone, G. y Gavarino, A., 2011. Cuencas de Rawson y Valdés: Síntesis del conocimiento exploratorio - Visión Actual. En Kozlowsky, E., Legarreta, L., Boll, A. y Marshall, P. (eds.), *Simposio Cuencas Argentinas Visión Actual: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, pp. 47–63. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- D’Elia, L., Bilmes, A., Franzese, J. R., Veiga, G. D., Hernández, M. y Muravchik, M., 2015. Early evolution of the southern margin of the Neuquén Basin, Argentina: Tectono-stratigraphic implications for *rift* evolution and exploration of hydrocarbon plays. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, pp. 42–57.
- Dal Zilio, L., Faccenda, M. y Capitanio, F., 2018. The role of deep subduction in supercontinent breakup. *Tectonophysics*, v. 746, pp. 312–324. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.03.00>
- Dalziel, I. W. D., Lawver, L. A., Norton, I. O. y Gahagan, L. M., 2013. The Scotia Arc: Genesis, Evolution, Global Significance. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41 (1), pp. 767–793. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124155>
- Dewey, J. F. y Burke, K., 1974. Hot Spots and Continental Break-up: Implications for Collisional Orogeny. *Geology*, 2, pp. 57–60.
- Diraison, M., Cobbold, P. R., Gapais, D., Rossello, E. A. y Corre, C., 2000. Cenozoic crustal thickening, wrenching and *rifting* in the foothills of the southernmost Andes. *Tectonophysics*, 316, pp. 91–119.
- Eagles, G. y Eisermann, H., 2020. The Skytrain plate and tectonic evolution of southwest Gondwana since Jurassic times. *Sci Rep.* 10(1): 19994. doi: 10.1038/s41598-020-77070-6
- Echaurren, A., Oliveros, V., Folguera, A., Ibarra, F., Creixell, C. y Lucassen, F., 2017. Early Andean tectonomagmatic stages in North Patagonia: Insights from field and geochemical data. *Journal of the Geological Society*, <https://doi.org/10.1144/jgs2016-087>
- Erlank, A. J., Roex, A. P., Harris, C., Miller, R. M. y McLachlan, I., 1990. Preliminary note on the geochemistry of basalt samples from the Kudu boreholes. *Commun. Geol. Surv. Namib*, 6, pp. 63–65.
- Espinoza, M., Montecino, D., Oliveros, V., Astudillo, N., Vazquez, P., Reyes, R. y Martínez, A., 2018. The *synrift* phase of the early Domeyko Basin (Triassic, northern Chile): Sedimentary, volcanic and tectonic interplay in the evolution of an ancient subduction-related *rift* basin. *Basin Research*, <https://doi.org/10.1111/bre.12305>
- Figari, E. G., Scasso, R., Cuneo, R. y Escapa, I., 2015. Estratigrafía y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, provincia del Chubut. *Latin American Journal of Sedimentology*, 22 pp.
- Franke, D., 2013. *rifting*, lithosphere breakup and volcanism: Comparison of magma-poor and volcanic *rifted* margins. *Marine and Petroleum Geology*, 43, pp. 63–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.11.003>
- Franke, D., Neben, S., Ladage, S., Schreckenberger, B. y Hinz, K., 2000. Margin segmentation and volcano- tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic. *Marine Geology*, 244 (1–4), pp. 46–67. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.009>

- Frizon De Lamotte, D., Fourdan, B., Leleu, S., Lepointier, F. y De Clarens, P., 2015. Style of *rifting* and the stages of Pangea breakup. *Tectonics*, 34(5), pp. 1009–1029. <https://doi.org/10.1002/2014TC003760>
- Galliski, M.A. y Viramonte, J.G., 1988. The Cretaceous paleorift in northwestern Argentina : A petrologic approach. *Journal of South American Earth Sciences I*, pp. 329–342.
- Ghidella, M. E., Yáñez, G. y LaBrecque, J. L., 2002. Revised tectonic implications for the magnetic anomalies of the western Weddell Sea. *Tectonophysics*, 347(1–3), pp. 65–86. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00238-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00238-4)
- Ghiglione, M. C. y Cristallini, E. O., 2007. Have the southernmost Andes been curved since Late Cretaceous time? An analog test for the Patagonian Orocline. *Geology*, 35(1), pp. 13–16.
- Gray, D.R., Foster, D.A., Meert, J.G., Goscombe, B.D., Armstrong, R., Trouw, R.A.J. y Passchier, W., 2008. A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 294, pp. 257–278.
- Gladchenko, T. P., Hinz, K., Eldholm, O., Meyer, H., Neben, S. y Skogseid, J., 1997. South Atlantic volcanic margins. *Journal of the Geological Society*, 154, pp. 465–470. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.3.0465>
- Haller, M. J., 2002. La Cuenca Triásica de El Tranquilo. En Haller, M.J. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*, pp. 83–87. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina.
- Hartnady, C. J. H., Joubert, P. y Stowe, C., 1985. Proterozoic crustal evolution in southwestern Africa. *Episodes*, 8(4), pp. 236–244.
- Heine, C., Zoethout, J. y Müller, R. D., 2013. Kinematics of the South Atlantic *rift*. *Solid Earth*, 4(2), pp. 215–253. <https://doi.org/10.5194/se-4-215-2013>
- Hervé, F. y Fanning, C. M., 2001. Late Triassic detrital zircons in meta-turbidites of the Chonos Metamorphic Complex, southern Chile. *Andean Geology*, 28(1), pp. 91–104.
- Hinz, K., 1981. A hypothesis on terrestrial catastrophes. Wedges of very thick Oceanward Dipping Layers beneath Passive Continental Margins. Their origin and paleoenvironmental significance. *Geol. Jb.*, 22, pp. 3–28.
- Homoc, J. F. y Constantini, L., 2001. Hydrocarbon exploration potential within intraplate shear-related depocenters: Deseado and San Julián basins, southern Argentina. *AAPG Bulletin*, 85(10), pp. 1795–1816.
- Iannizzotto, N. F., Folguera, A., Leal, P. R. y Iaffa, D., 2004. Control tectónico de las secuencias volcánicas neocomianas y paleogeografía en la zona del Lago La Plata (45°S). Sector interno de la faja plegada y corrida de los lagos La Plata y Fontana. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 59(4), pp. 655–670. <https://doi.org/10.2307/198976>
- Jourdan, F., Féraud, G., Bertrand, H., Kampunzu, A. B., Tshoso, G., Watkeys, M. y Le Gall, B., 2005. Karoo large igneous province: Brevity, origin, and relation to mass extinction questioned by new ⁴⁰Ar/³⁹Ar age data. *Geology*, 33(9), pp. 745–748.
- Jungslager, E.H.A., 1996. Geological evaluation of the remaining prospectivity for oil and gas of the pre-1At1 “synrift” succession in Block 9, Republic of South Africa. Unpublished SOEKOR Technical Report SOE-EXP-RPT-0380. 1996; 63 pp.
- Jungslager, E.H.A., 1999. Petroleum habitats of the Atlantic margin of South Africa. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 153, pp. 153–168. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.153.01.10>

- Kay, S.M., 1993. Late Paleozoic tectonics in Southern South America: a global perspective. *Douzieme Congres International de La Stratigraphie et Geologie Du Carbonifere et Permien*, Comptes Rendus I. Buenos Aires, pp. 109–122.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P., 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology*, v. 17, pp. 324–328.
- König, M. y Jokat, W., 2006. The Mesozoic breakup of the Weddell Sea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(12), pp. 1–28. <https://doi.org/10.1029/2006JB004035>
- Koopmann, H., Franke, D., Schreckenberger, B., Schulz, H., Hartwig, A., Stollhofen, H. y di Primio, R., 2014. Segmentation and volcano-tectonic characteristics along the SW African continental margin, South Atlantic, as derived from multichannel seismic and potential field data. *Marine and Petroleum Geology*, 50, pp. 22–39. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.10.016>
- Kristoffersen, Y., Hofstede, C., Diez, A., Blenkner, R., Lambrecht, A., Mayer, C. y Eisen, O., 2014. Reassembling Gondwana: A new high-quality constraint from vibroseis exploration of the sub-ice shelf geology of the East Antarctic continental margin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1002/2014JB011479>
- Lagorio, S.L., 2008. Early Cretaceous alkaline volcanism of the Sierra Chica de Córdoba (Argentina): Mineralogy, geochemistry and petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, 26(2), pp. 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.05.003>
- Leleu, S., Hartley, A. J., van Oosterhout, C., Kennan, L., Ruckwied, K. y Gerdes, K., 2016. Structural, stratigraphic and sedimentological characterisation of a wide *rift* system: The Triassic *rift* system of the Central Atlantic Domain. *Earth-Science Reviews*, 158, pp. 89–124.
- Leroy, S., Lucazeau, F., D’Acremont, E., Watremez, L., Autin, J., Rouzo, S. y Khanbari, K., 2010. Contrasted styles of *rifting* in the eastern Gulf of Aden: A combined wide-angle, multichannel seismic, and heat flow survey. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(7). Q07004, 14 pp., doi:10.1029/2009GC002963
- Leroy, S., Razin, P., Autin, J., Bache, F., d’Acremont, E., Watremez, L. y Al Lazki, A., 2012. From *rifting* to oceanic spreading in the Gulf of Aden: A synthesis. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(5), pp. 859–901. <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0475-4>
- Lohr, T. y Underhill, J. R., 2015. Role of *rift* transection and punctuated subsidence in the development of the North Falkland Basin. *Petroleum Geoscience*, 21(2–3), pp. 85–110.
- Lovecchio, J. P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N., Kress, P. R., Gerster, R. y Ramos, V. A., 2018. Multi-stage *rifting* evolution of the Colorado basin (offshore Argentina): Evidence for extensional settings prior to the South Atlantic opening. *Terra Nova* 30 (5), pp. 359–368. <https://doi.org/10.1111/ter.12351>
- Lovecchio, J.P., Naipauer, M., Cayo, L.E., Rohais, S., Giunta, D., Flores, G., Gerster, R., Bolatti, N.D., Joseph, P., Valencia, V.A. y Ramos, V.A., 2019. *rifting* evolution of the Malvinas basin, offshore Argentina: New constrains from zircon U-Pb geochronology and seismic characterization. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102253, 18 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102253>

- Lovecchio, J. P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N. y Ramos, V.A., 2020. Mesozoic *rifting* evolution of SW Gondwana: a poly-phased, subduction-related, extensional history responsible for basin formation along the Argentinean Atlantic margin. *Earth Science Reviews*, 203, 103138, 27 pp.. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103138>
- Maksaev, V., Munizaga, F. y Tassinari, C., 2014. Timing of the magmatism of the paleo-Pacific border of Gondwana: U-Pb geochronology of Late Paleozoic to Early Mesozoic igneous rocks of the north Chilean Andes between 20° and 31° S. *Andean Geology*, 41(3), pp. 447–506.
- Malkowski, M. A., Grove, M. y Graham, S. A., 2015. Unzipping the Patagonian Andes – Long-lived influence of *rifting* history on foreland basin evolution, 5, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1130/L489.1>
- Marcano, M.C., Van der Voo, R. y Mac Niocaill, C., 1999. True polar wander during the Permo-Triassic. *J. Geodyn.*, 28, pp. 75–95.
- Marsicano, C. A., Irmis, R. B., Mancuso, A. C., Mundil, R. y Chemale, F., 2016. The precise temporal calibration of dinosaur origins. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, pp. 509–513. <https://doi.org/10.1073/pnas.1512541112>
- McDermott, C., Lonergan, L., Collier, J. S., McDermott, K. G. y Bellingham, P., 2018. Characterization of seaward-dipping reflectors along the South American Atlantic margin and implications for continental breakup. *Tectonics*, 37, pp. 3303–3327. <https://doi.org/10.1029/2017TC004923>
- Micucci, E., Continanzia, J., Manceda, R. y Gavarino, A., 2011. Cuenca de San Julián: Síntesis del conocimiento exploratorio - Visión Actual. In *Simposio Cuencas Argentinas Visión Actual: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, pp. 17–46. Buenos Aires: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- Milana, J. P. y Alcober, O., 1994. Modelo tectosedimentario de la cuenca triásica de Ischigualasto, San Juan, Argentina. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 49(3–4), pp. 217–235.
- Mohriak, W. U. y Leroy, S., 2013. Architecture of *rifted* continental margins and break-up evolution: insights from the South Atlantic, North Atlantic and Red Sea–Gulf of Aden conjugate margins. *Geological Society, London, Special Publications*, 369(1), pp. 497–535. <https://doi.org/10.1144/SP369.17>
- Mosquera, A. y Ramos, V.A., 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. *Geological Society of America Special Papers*, 407(5), pp. 97–123.
- Mosquera, A., Silvestro, J., Ramos, V.A., Alarcón, M. y Zubiri, M., 2011. La estructura de la Dorsal de Huincul. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, Neuquén, pp. 385–398.
- Moulin, M., Aslanian, D. y Unternehr, P., 2010. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean. *Earth-Science Reviews*, 98(1–2), pp. 1–37. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.08.001>
- Mpodozis, C. y Ramos, V. A., 2008. Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: Extensión, subducción oblicua, *rifting*, deriva y colisiones? *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 63(4), pp. 481–497.
- Mueller, C. O. y Jokat, W., 2017. Geophysical evidence for the crustal variation and distribution of magmatism along the central coast of Mozambique. *Tectonophysics*, 712–713, pp. 684–703. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.06.007>

- Mukasa, S.B. y Dalziel, I.W.D., 1996. Southernmost Andes and South Georgia Island, North Scotia Ridge: Zircon U-Pb and muscovite $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ age constraints on tectonic evolution of Southwestern Gondwanaland. *Journal of South American Earth Sciences*, 9(5-6), pp. 349-365.
- Nürnberg, D. y Müller, R. D., 1991. The tectonic evolution of the South Atlantic from Late Jurassic to present. *Tectonophysics*, 191(1-2), pp. 27-53. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90231-G](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90231-G)
- Oliveros, V., González, J., Espinoza Vargas, M., Vásquez, P., Rossel, P., Creixell, C. y Bastias, F., 2018. The Early Stages of the Magmatic Arc in the Southern Central Andes. En Folguera, A., Contreras-Reyes, A. Heredia, N., Encinas, A., Iannelli, S.B., Oliveros, V. y Arriagada, C. (eds.), *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes*, Springer Nature, pp. 165-190.
- Pángaro, F. y Ramos, V. A., 2012. Paleozoic crustal blocks of onshore and offshore central Argentina: New pieces of the southwestern Gondwana collage and their role in the accretion of Patagonia and the evolution of Mesozoic south Atlantic sedimentary basins. *Marine and Petroleum Geology*, 37(1), pp. 162-183.
- Pankhurst, R. J., Leat, P. T., Sruoga, P., Rapela, C. W., Márquez, M., Storey, B. C., y Riley, T. R., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81(1-2), pp. 113-136.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., Márquez, M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Rev.* 76, pp. 235-257. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.02.001>
- Pankhurst, R. J., Riley, T. R., Fanning, C. M. y Kelley, S.P., 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, 41(5), pp. 605-625.
- Paton, D. A., 2006. Influence of crustal heterogeneity on normal fault dimensions and evolution: southern South Africa extensional system. *Journal of Structural Geology*, 28, pp. 868-886. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2006.01.006>
- Paton, D. A., Mortimer, E. J., Hodgson, N. y Van Der Spuy, D., 2016. The missing piece of the South Atlantic jigsaw - when continental break-up ignores crustal heterogeneity. *Petroleum Geoscience of the West Africa Margin*, Geological Society, London, Special Publications, 438, pp. 195-210, <https://doi.org/10.1144/SP438.8>
- Pinto, V. M., Hartmann, L. A., Santos, J. O. S., McNaughton, N. J. y Wildner, W., 2011. Zircon U-Pb geochronology from the Paraná bimodal volcanic province support a brief eruptive cycle at ~135Ma. *Chemical Geology*, 281(1-2), pp. 93-102.
- Rabinowitz, P.D. y LaBreque, J., 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and Evolution of its Conjugate Margins. *J. Geophys. Res.* 84, pp. 5973-6002.
- Ramos, V.A., 1996. Evolución tectónica de la plataforma continental. En Ramos, V.A. y Turic, M.A. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*, pp. 385-404.
- Ramos, V.A., 2008. Patagonia: A paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences*, 26(3), pp. 235-251. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.06.002>

- Ramos, V.A., Cingolani, C., Junior, F. C., Naipauer, M., y Rapalini, A., 2017. The Malvinas (Falkland) Islands revisited: The tectonic evolution of southern Gondwana based on U-Pb and Lu-Hf detrital zircon isotopes in the Paleozoic cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 76, pp. 320–345.
- Ramos, V.A. y Kay, S. M., 1991. Triassic *rifting* and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina, (October 2016), pp. 79–92. <https://doi.org/10.1130/SPE265-p79>
- Rapela, C.W., Días, G.F., Franzese, J.R., Alonso, G. y Benvenuto, A.R., 1991. El Batolito de la Patagonia Central: Evidencias de un magmatismo Triásico-Jurásico asociado a fallas transcurrentes. *Revista Geológica de Chile*, 18(2), pp. 121–138.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Fanning, C. M., y Herve, F., 2005. Pacific subduction coeval with the Karoo mantle plume: the early Jurassic subcordilleran belt of northwestern Patagonia. *Geological Society Special Publications*, 246, pp. 217–239, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.246.01.07>
- Riel, N., Jaillard, E., Martelat, J.-E., Guillot, S. y Braun, J., 2018. Permian-Triassic Tethyan realm reorganization: Implications for the outward Pangea margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 81, pp. 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.11.007>
- Riley, T. R., Flowerdew, M. J., Pankhurst, R. J., Curtis, M. L., Millar, I. L., Fanning, C. M. y Whitehouse, M. J., 2016. Early Jurassic magmatism on the Antarctic Peninsula and potential correlation with the Subcordilleran plutonic belt of Patagonia. *Journal of the Geological Society*, 174, 365–376, <https://doi.org/10.1144/jgs2016-053>
- Sato, A.M., Llambias, E.J., Basei, M.A.S., y Castro, C.A., 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 63, pp. 48–69.
- Spalletti, L., Fanning, C. M. y Rapela, C. W., 2008. Dating the Triassic continental *rift* in the southern Andes : the Potrerillos Formation, Cuyo Basin, Argentina. *Geologica Acta*, 6(3), pp. 267–283.
- Starck, D., 2011. Cuenca Cretácica-Paleógena del Noroeste Argentino. En Kozlowsky, E., Legarreta, L., Boll, A. y Marshall, P. (eds.). *Simposio Cuencas Argentinas Visión Actual: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, pp. 407–454. Buenos Aires: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- Stern, C. R., Mukasa, S. B. y Fuenzalida, R., 1992. Age and petrogenesis of the Sarmiento ophiolite complex of southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(1/2), pp. 97–104.
- Stica, J. M., Zalán, P. V. y Ferrari, A. L., 2014. The evolution of *rifting* on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná-Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology*, 50, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.10.015>
- Stipanovic, P. N. y Bonaparte, J. F., 1979. Cuenca Triásica de Ischigualasto-Villa Unión (Provincias de La Rioja y San Juan). In *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina I*, pp. 523–576.
- Storey, B. C., Alabaster, T., Hole, M. J., Pankhurst, R. J. y Wever, H. E., 1992. Role of subduction-plate boundary forces during the initial stages of Gondwana break-up: evidence from the proto-Pacific margin of Antarctica. In *Magmatism and the*

- Causes of Continental Break-up, Geological Society of London, Special Publication, pp. 149–163
- Suárez, M. y Márquez, M., 2007. A Toarcian retro-arc basin of Central Patagonia (Chubut), Argentina: Middle Jurassic closure, arc migration and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 34(1), pp. 63–79.
- Thomson, K., Hegarty, K. A., Marshall, S. J. y Green, P. F., 2002. Thermal and tectonic evolution of the Falkland Islands: Implications for hydrocarbon exploration in the adjacent offshore region. *Marine and Petroleum Geology*, 19(2), pp. 95–116.
- Torres Carbonell, P. J., Guzmán, C., Yagupsky, D., y Dimieri, L. V., 2016. Tectonic models for the Patagonian orogenic curve (southernmost Andes): An appraisal based on analog experiments from the Fuegian thrust – fold belt. *Tectonophysics*, 671, pp. 76–94
- Torsvik, T.H., van der Voo, R., Preeden, U., Mac Nicaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., van Hinsbergen, D.J.J., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J.A. y Cocks, L.R.M., 2012. Phanerozoic polar wander, paleogeography and dynamics. *Earth-Science Rev.*, 114, pp. 325–368.
- Uliana, M. A., Arteaga, M. E., Legarreta, L., Cerdán, J. J. y Peroni, G. O., 1995. Inversion structures and hydrocarbon occurrence in Argentina. En Buchanan, J.G. y Buchanan, P.G. (eds.), *Geological Society of London, Special Publication*, 88, Basin Inversion, pp. 211–233.
- Uliana, M. A., Biddle, K. y Cerdán, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentina sedimentary basins. *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margin*, AAPG Mem., 46 (3), pp. 599–613.
- Uliana, M. A., Biddle, K. T., Phelps, D. W. y Gust, D. A., 1985. Significado del vulcanismo y extensión Mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 40 (3–4), pp. 231–253.
- Vérard, C., Flores, K. y Stampfli, G., 2012. Geodynamic reconstructions of the South America–Antarctica plate system. *Journal of Geodynamics*, 53(1), pp. 43–60.
- Vergani, G. D., Tankard, A. J., Belotti, H. J. y Welink, H. J., 1995. Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62, Petroleum Basins of South America*, pp. 383–402.
- Veroslavsky, G., 1999. *Geología da Bacia de Santa Lucia - Uruguai*. Tesis de Doctorado. Universidade Estadual Paulista, 167 pp.
- White, R. S. y McKenzie, D., 1989. Magmatism at *rift* zones: The generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 94(B6), pp. 7685–7729.
- Will, T. M., y Frimmel, H. E., 2018. Where does a continent prefer to break up? Some lessons from the South Atlantic margins. *Gondwana Research*, 53, pp. 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.014>
- Willner, A.P., Herve, F., y Massonne, H.J., 2000. Mineral Chemistry and Pressure – Temperature Evolution of Two Contrasting High- pressure – Low-temperature Belts in the Chonos Archipelago, Southern Chile. *J. Petrol.* 41, pp. 309–330.
- Zaffarana, C. B., Somoza, R. y López De Luchi, M. G., 2014. The Late Triassic Central Patagonian Batholith: Magma hybridization, ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages and thermobarometry. *Journal of South American Earth Sciences*, 55, pp. 94–122

Zerfass, H., Chemale, F., Schultz, C.L., y Lavina, E., 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. *Sediment. Geol.*, 166, pp. 265–292. <https://doi.org/10.1016/j.sed-geo.2003.12.008>

Zerfass, H., Chemale, F. y Lavina, E., 2005. Tectonic control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná basin, Southernmost Brazil, and its Correlation to the Watersberg Basin, Namibia. *Gondwana Research* 8(2), pp. 163-176.