

# TECTÓNICA JURÁSICA EN ARGENTINA Y CHILE: EXTENSIÓN, SUBDUCCIÓN OBLICUA, RIFTING, DERIVA Y COLISIONES?

Constantino MPODOZIS<sup>1</sup> y Victor A. RAMOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Antofagasta Minerals, Santiago de Chile. Email: cmpodozis@aminerals.cl

<sup>2</sup> Laboratorio de Tectónica Andina, FCEyN, Universidad de Buenos Aires - CONICET. Email: andes@gl.fcen.uba.ar

## RESUMEN

La historia jurásica de la parte austral de América del Sur muestra una evolución geológica compleja, como resultado de diferentes procesos que comenzaron a lo largo del margen occidental del Gondwana durante los estadios iniciales de la fracturación del Pangea. La subducción andina a lo largo del margen continental pacífico comenzó en el Jurásico temprano, después de un período de extensión y rifting a escala continental, que tuvo su máximo al final del Triásico en el centro y norte de Argentina y Chile. La renovación de la subducción fue el resultado de un episodio de crecimiento oceánico a lo largo de una serie de centros de expansión entre Norte y Sud América, cuando comenzó la separación entre ambos continentes como consecuencia de la actividad vinculada al punto caliente de CAMP (Provincia magmática del Atlántico central). La actividad de estos centros de expansión produjo una componente de subducción oblicua, dirigida hacia el sudeste a lo largo del margen occidental de América del Sur y la reactivación de rasgos estructurales ortogonales heredados, tales como la dorsal de Huincul de rumbo N70°E en la cuenca Neuquina, la que fue levantada durante tiempos jurásicos. La subducción a lo largo del margen continental argentino-chileno de rumbo dominante norte-sur se aceleró durante la ruptura entre el Gondwana Occidental y el Oriental, inmediatamente después de la apertura del Océano Índico, vinculada al punto caliente del Karoo. La subducción tuvo lugar bajo un régimen extensional probablemente asociado con una velocidad negativa de retroceso de la trinchera, que condujo a la formación de un arco magmático a lo largo de la Cordillera de la Costa desde el sur del Perú hasta Chile central y hacia el este el desarrollo de las cuencas de trasarco extensionales de Arequipa, Tarapacá y Neuquén. En el norte de la Patagonia, ocurrió durante el Jurásico temprano magmatismo de arco al este de la actual Cordillera Andina a lo largo del Batolito Subcordillerano de corta vida (190-170 Ma) y en la cuenca de intra-arco liásica asociada. El magmatismo de arco cesó en el norte de la Patagonia cerca de los 170 Ma y fue reemplazado por enormes volúmenes de riolitas y dacitas jurásicas inferiores a medias de la gran provincia ígnea de Chon Aike, producida como resultado de fusión cortical de una corteza sobrecalentada durante los estadios iniciales de la ruptura del Gondwana. El rifting inicial durante el Jurásico medio a tardío tuvo lugar en la cuenca de Cañadón Asfalto y en las cuencas de Río Genguel, Río Mayo y Río Senguerr durante el Jurásico tardío, en forma ortogonal al margen continental como consecuencia de la apertura del Mar de Weddell. El magmatismo ácido estuvo asociado con extensión generalizada y culminó con la apertura oceánica de la cuenca de Rocas Verdes. Las causas del cese del magmatismo en el Batolito Subcordillerano, el origen de la provincia ácida de Chon Aike y la rotación del frente magmático hacia el Batolito Patagónico alrededor de los 150 Ma no son todavía bien entendidas. Hipótesis que vinculan este escenario tectónico mutante a la colisión de terrenos aloctonos contra el margen pacífico de Patagonia durante el Jurásico temprano a medio deberían ser tenidas en consideración.

Palabras clave: *Andes, subducción, rifting, Mar de Weddell, Patagonia.*

**ABSTRACT:** *Jurassic tectonics in Argentina and Chile: Extension, oblique subduction, rifting, drift and collisions?* The Jurassic history of southern South America shows a complex geologic evolution which is the result of different processes that began along the western Gondwana margin during the initial stages of Pangea breakup. Andean subduction along the Pacific continental margin began in the Early Jurassic, after a period of continental-scale extension and rifting, which peaked by the end of the Triassic in central and northern Argentina and Chile. Renewal of subduction was the result of an episode of ocean growth along a series of spreading centers between North and South America when the separation of these continents began as a consequence of the activity of the Central Atlantic Magmatic Province hotspot. Motion along these spreading centers produced a component of oblique, SE-directed subduction along the western margin of South America and the reactivation of inherited orthogonal structural features as the N70°E trending Huincul ridge in the Neuquén Basin that was uplifted during Jurassic times. Subduction along the north-south trending Argentine-Chilean continental margin accelerated during the breakup between West and East Gondwana soon after the opening of the Indian Ocean, linked to the Karoo hot-spot. Subduction took place under extensional conditions probably associated with a negative trench roll-back, leading to the formation of a

magmatic arc along the Coast Ranges from southern Peru to central Chile and, to the east, the Arequipa, Tarapacá and Neuquén extensional back-arc basins. In northern Patagonia, early Jurassic arc related magmatism occurred to the east of the present day Andean Cordillera along the short-lived (190-170 Ma) Subcordilleran Batholith and the associated Liassic intra arc basin. Arc magmatism ceased in northern Patagonia at ca 170 Ma to be replaced by huge volumes of Early to Middle Jurassic rhyolites and dacites of the Chon-Aike Large Igneous province produced as a result of crustal melting in an overheated crust during the initial stages of Gondwana breakup. Early rifting during Middle-Late Jurassic times took place in the Cañadón Asfalto Basin and the Late Jurassic Río Guenguel, Río Mayo and Río Senguerr basins, orthogonal to the continental margin as a consequence of the Weddell Sea opening. Acid magmatism was associated with widespread extension and culminated in the opening of the ocean-floored Rocas Verdes Basin. The causes of the cessation of magmatism in the Subcordilleran Batholith, the origin of the Chon Aike LIP and the rotation of the magmatic front towards the Patagonian Batholith around 150 Ma are still not well understood. Hypothesis linking this mutating tectonic scenario to the collision of exotic terranes against the Pacific margin of Patagonia during the early to middle Jurassic should be taken into consideration.

Keywords: *Andes, subduction, rifting, Weddell Sea, Patagonia*

## INTRODUCCIÓN

La distribución de depósitos sedimentarios, magmatismo y sistemas estructurales resultantes que caracterizan el período comprendido entre el Jurásico y el Cretácico inferior en Argentina y Chile señala que los procesos acaecidos durante este período presentan características especiales y distintivas con respecto al Triásico que lo antecede, y a los procesos del Cretácico superior que lo suceden. Este período, muy particular en la evolución del continente sudamericano, se inicia con la terminación de importantes episodios de rifting y el comienzo de los procesos de subducción sobre el margen pacífico asociados temporalmente a la apertura del Mar de Weddell y el Atlántico Sur. Culmina en la región andina con las primeras evidencias de contracción y, en algunos sectores extra-andinos con deformación compresiva de intraplaca. El objetivo del presente trabajo es revisar brevemente el estado del conocimiento de la evolución tectónica de este período, obtenido a partir del estudio de las cuencas sedimentarias (Gulisano 1992, Uliana y Legarreta 1993, Legarreta y Uliana 1991, 1999, Franzese y Spalletti 2001, Ardill *et al.* 1998, Artabe *et al.* 2001, Charrier *et al.* 2007), estratigrafía (Riccardi 1983, Riccardi *et al.* 1992), evolución magmática (Gana 1991, Dallmayer *et al.* 1996, Bertrand *et al.* 1999, Grocott y Taylor 2002, Oliveros *et al.* 2006) y síntesis

regionales (*i.e.* Mpodozis y Ramos 1990, Ramos y Aleman 2000).

## MARCO TECTÓNICO GLOBAL

Diversos autores han señalado las consecuencias del desmembramiento de Pangea en la evolución del continente sudamericano. Para entender este proceso es clave conocer la ubicación de los centros de dispersión, en el sentido de Gurnis (1988) y Hoffmann (1999) y su forma de fragmentación (Murphy *et al.* 2008), dado el control que ejercieron en Pangea, en Gondwana y en el Gondwana Occidental. El primer centro dispersor conocido como CAMP (*Central Atlantic Magmatic Province*) está asociado a importantes derrames basálticos en forma de coladas y enjambre de diques diabásicos que acompañaron a la formación de una serie de cuencas de rift de edad triásica de amplia extensión en Norte América y norte de África (Olsen 1997). El clímax de la actividad basáltica alcalina de intraplaca ocurrió durante el Hetangiano-Sinemuriano, aproximadamente a los 200 Ma, y sus consecuencias se extienden a América del Sur, alcanzando diversos sectores de la plataforma sudamericana e inclusive los Andes de Bolivia, Argentina y Chile. Como resultado de esta apertura comenzó su actividad la dorsal oceánica que separó Norte América de América del Sur (Fig 1a).

Después de la separación de Laurasia de Gondwana se generó una nueva anomalía calórica ubicada más al sur que fragmentó el supercontinente de Gondwana (Cox 1988) constituyendo, durante el Pliensbaquiano el centro dispersor del Karoo a partir del cual se inició la separación entre el Gondwana Occidental y el Oriental abriendo el Océano Índico (Duncan *et al.* 1997). Este evento, ocurrido entre los 183 y 179 Ma (Jourdan *et al.* 2005), tuvo una fuerte impronta en los procesos del margen pacífico de América del Sur iniciando la subducción. El proceso de fragmentación culminó entre los 132-133 Ma con la aparición del centro dispersor de Paraná (Renne *et al.* 1992) a partir del cual se separó América del Sur y África. La actividad magmática asociada a este centro dispersor controló los derrames de la provincia magmática Paraná-Etendeka (Fig. 2) y se relaciona, además, con un importante volcanismo básico continental toleítico a alcalino, que se distribuye desde la plataforma brasilera, por el norte, hasta las Sierras Pampeanas, por el sur (Kay y Ramos 1996, Rapela y Llambías 1999, Lagorio 2008). Nuevas dataciones indican que los derrames basálticos en la provincia de Paraná abarcarían desde el techo del Jurásico hasta la base del Cretácico temprano, alcanzando su clímax entre los 137 y 132 Ma (Santos *et al.* 2008).



**Figura 1:** Tres estadios de fragmentación asociados al sistema Jurásico: a) Centro dispersor a comienzos del Jurásico que inicia la fragmentación de Pangea; b) en el Jurásico temprano que fragmenta el Gondwana y c) a fines del Jurásico e inicio del Cretácico que separa América del Sur de África (basado en diversas fuentes citadas en el texto).

## EL JURÁSICO DE LOS ANDES DEL CENTRO DE ARGENTINA Y CHILE

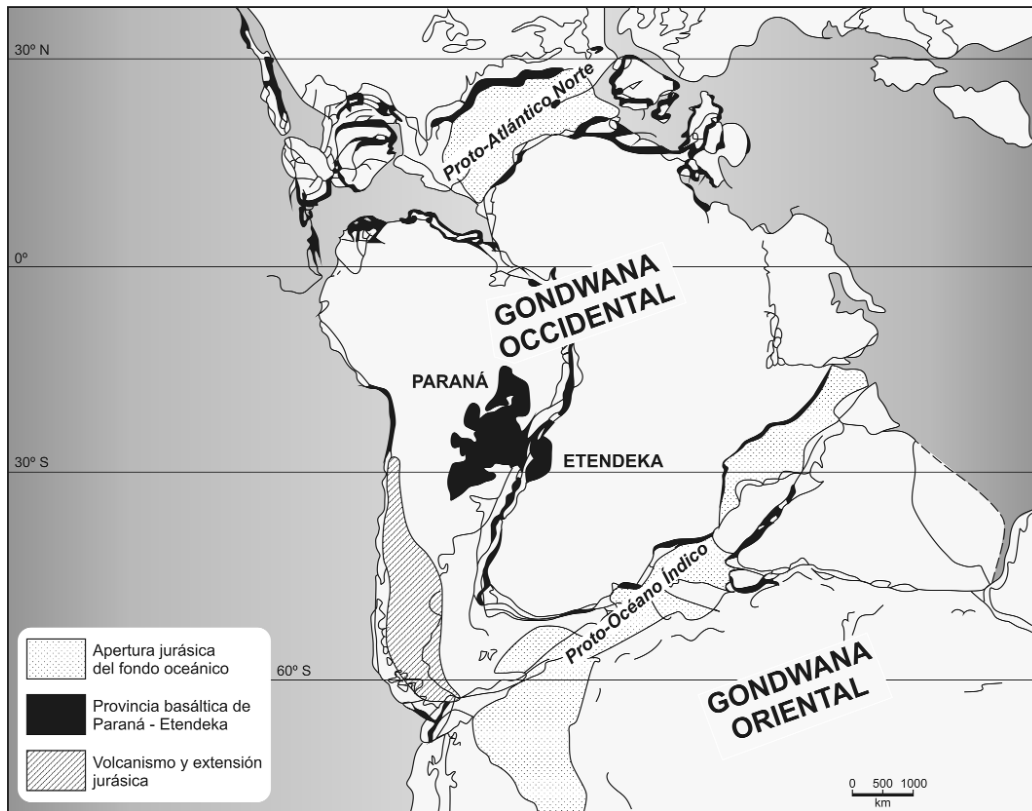
### Rifts triásicos a eojurásicos

El inicio de la fragmentación de Gondwana durante el Triásico estuvo acompañado, en el norte y centro de Chile, por extensión generalizada, que se manifiesta a través de la formación de sistemas de rift que perduraron hasta el Jurásico, y estuvieron controlados, al menos en Argentina, por una fábrica estructural de orientación noroeste heredadas de líneas de debilidad del basamento (Charrier 1979, Uliana y Biddle 1988). Estas cuencas se desarrollaron, en forma preferencial en las paredes colgantes (*hanging walls*) de los sistemas de sutura paleozoicos (Ramos y Kay 1991). La sedimentación eojurásica continuó con una distribución similar a la de los depocentros triásicos, siendo notable su persistencia en la cuenca de Cuyo, donde se registra un segundo pulso extensional, evidenciado por coladas basálticas alcalinas de edad jurásica (Regairaz 1970). Evidencias de extensión triásica están bien documentados a largo de la Cordillera de la Costa chilena desde Antofagasta hasta Concepción donde afloran, en forma discontinua, secuencias sedimentarias asociadas a volcanismo acumuladas directamente sobre secuencias sedimentarias y metamórficas del Paleozoico superior. Dentro de éstas destacan los depósitos continentales de la cuenca de Cifuncho y

la Formación Pan de Azúcar en la zona de Taltal (25-26°S) que muestra la interdigitación de sedimentitas marinas del Hettangiano-Sinemuriano con rocas piroclásticas ácidas (Naranjo y Puig 1984, Godoy y Lara 1998); la Formación Canto del Agua en la costa de Vallenar (Moscoso *et al.* 1982, Wellkner *et al.* 2006); la clásica Formación Pichidanguí, al norte de Valparaíso interpretada como un complejo volcánico bimodal submarino interdigitado con secuencias de pelitas negras (Vicente 1974, Vergara *et al.* 1991) y más al sur las secuencias de relleno marino o lacustre de las cuencas de rift Hualañé-Curepto y Santa Juana en las cercanías de Concepción que se apoyan directamente sobre el basamento paleozoico de la Cordillera de la Costa (Corvalán 1976, Nielsen 2005). Un rosario de intrusivos epizonales con edades comprendidas entre los 230 y 200 Ma intruye al basamento metamórfico de la Cordillera de la Costa a lo largo de toda esta extensa región. Dentro de éstos se han descrito complejos intrusivos bimodales (Unidad Tranquilla-Millahue en la zona de Los Vilos, Gana 1991) y granitos anorogénicos con fayalita como el plutón Cobquecura, en las cercanías de Concepción (Vázquez y Franz 2008).

Hacia el este se ha reconocido la creciente importancia del magmatismo triásico-jurásico temprano a lo largo de la Cordillera de Domeyko en la zona de Antofagasta, y la región de Collahuasi, en Tarapacá, donde pórfidos riolíticos y granitos leucocráticos asociados a series de

ignimbritas riolíticas y lavas básicas, consideradas, originalmente, de edad paleozoica han indicado edades U-Pb y  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  comprendidas entre los 244 y 203 Ma (Cornejo *et al.* 2006, Munizaga *et al.* 2008). A pesar que la tectónica y la cobertura volcánica mesozoica y terciaria no permiten determinar la geometría y la orientación original de las cuencas extensionales, se han podido reconocer numerosos depocentros independientes tales como el rift de Sierra Exploradora (26°S) relleno por sedimentos fluviales y marinos someros que engranan con una asociación volcánica bimodal de basaltos alcalinos y riolitas, en parte submarinas (Cornejo y Mpodozis 1996, Mpodozis y Cornejo 1997). Más al sur, en la zona de Copiapó (27°-28°S) depocentros discretos fueron rellenos por sedimentos fluviales con intercalaciones de niveles carbonosos y coronados por secuencia de basaltos (Rift de La Ternera, Segerstrom 1968, Iriarte *et al.* 1996), secuencias lacustres (Cuenca de La Coipa, Suárez *et al.* 1994, Cornejo *et al.* 1998) o espesos depósitos marinos como los aflorantes en la zona de Vallenar (Formación San Félix, Charrier 1979). Por otro lado, extensas zonas de la Precordillera andina de la región de Vallenar y Copiapó aparecen cubiertas por derrames de basaltos triásicos acumulados directamente sobre el basamento paleozoico (Formación La Totorá, Reutter 1974). Más al sur, en la Cordillera de La Serena-Ovalle (29°-31°S) en unidades de tobas ácidas (Secuencia Los Tilos), pórfidos riolíticos y granitos epi-



**Figura 2:** Ubicación del centro dispersor de Paraná, que controló la fragmentación del Gondwana Occidental y la distribución del magmatismo asociado (basado en Rapela y Llambías 1999).

zonales asociados a enjambres de diques basálticos, anteriormente correlacionadas con el Grupo Choyoi, se han obtenido edades K-Ar y U-Pb comprendidas entre los 235 y 200 Ma (Martin *et al.* 1999). Estas unidades son equivalentes directos de las unidades sedimentarias, tobas y volcanitas ácidas expuestas en la Alta Cordillera de San Juan (32°S), que forman parte del relleno triásico del rift Mercedario (Formación Rancho de Lata, Álvarez y Ramos 1999) y que se prolongan, a largo de la Cordillera Principal hacia el sur del Alto del Tigre (Álvarez 1996) en el posible depocentro de Nieves Negras (33°S, Giambiagi *et al.* 2005) y los clásicos depocentros de Atuel y La Valenciana (Fig. 3) en el sur de Mendoza (Manceda y Figueroa 1995, Giambiagi *et al.* 2008).

El depocentro Atuel registra la primera transgresión marina que ingresa a territorio argentino procedente del Pacífico (Riccardi e Iglesias Llano 1999). En todos estos depocentros las facies sedimen-

tarias de *synrift* se acumularon durante el Triásico tardío y continúan hasta el Jurásico más temprano, culminando en el Jurásico temprano con las facies de hundimiento termal (Giambiagi *et al.* 2005). Las secuencias de *synrift* tienen mayor participación piroclástica y volcánica hacia el sur donde fueron incluidas en la Formación Remoredo (pre-Cuyo y equivalentes) en el ámbito de la cuenca Neuquina (Franzese *et al.* 2006).

#### **Subducción en régimen extensional: el arco magmático jurásico**

Después de la fase de rifting del Triásico-Jurásico temprano, el inicio de la subducción y las primeras evidencias de un arco magmático activo en el margen occidental de América del Sur se observan aproximadamente a los 183 Ma y se los pueden asociar al inicio de la separación entre Gondwana Occidental y Oriental. El predominio de condiciones extensionales (Fig. 4), ya descrita en modelos tec-

tónicos previos tales como el de Aubouin *et al.* (1973) y Mpodozis y Ramos (1990) estaría ligada según Ramos (1999a) a un retroceso negativo de la trinchera oceánica (*negative trench roll-back*) el cual sería responsable de la subducción asociada a extensión que caracteriza a la mayor parte del margen andino durante este período. La ocurrencia de volcanismo asociado a subducción, está registrada en los productos volcánicos e intrusivos asociados aflorantes a lo largo de la Cordillera de la Costa desde el sur del Perú (Grupo Chocolate, Sempere *et al.* 2002), hasta por lo menos, la latitud de San Fernando (34°S) en Chile Central. Estos están representados por secuencias volcánicas tales como la Formación Camaraca, Azapa, Oficina Viz y La Negra entre Arica y Antofagasta (Kramer *et al.* 2005, Oliveros *et al.* 2006), las Formaciones La Negra y Punta del Cobre en la zona de Chañaral-Copiapó (Godoy y Lara 1998, Arriagada *et al.* 2006) o las Formaciones Ajial y Horqueta en Chile Central (Vergara *et al.* 1995).

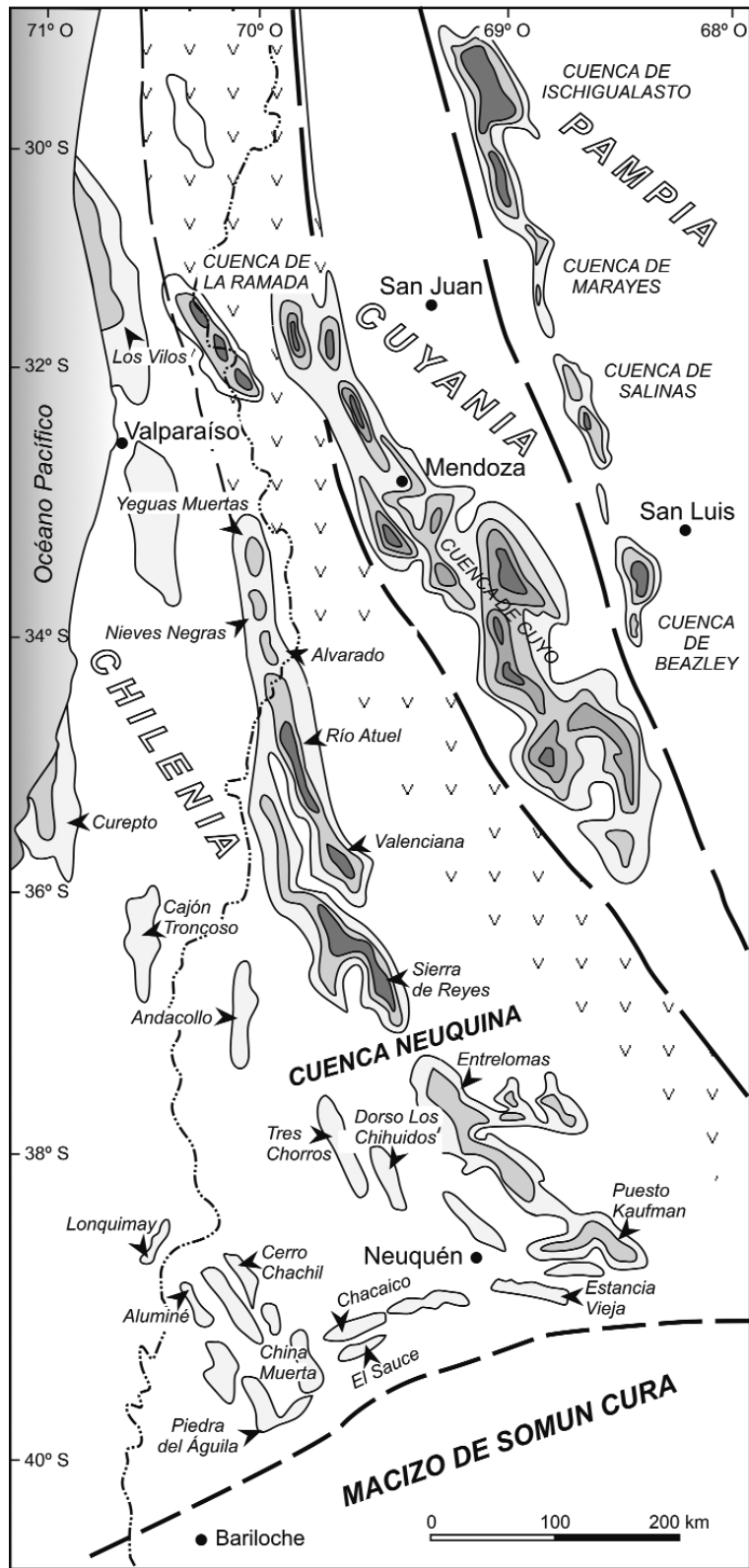


Figura 3: Control tectónico de los rift triásicos a cojurásicos (basado en Álvarez y Ramos 1999, Franzese y Spalletti 2001, Giambiagi *et al.* 2003).

de toda la extensión de ese segmento de la Cordillera de la Costa (véase Rivano y Sepúlveda 1991, Dallmeyer *et al.* 1996, Grocott y Taylor 2002, Wellkner *et al.* 2006), las cuales presentan afinidades geoquímicas de arco relacionado a subducción que habrían evolucionado en presencia de una corteza relativamente delgada (Oliveros *et al.* 2007). Zonas de deformación dúctil submeridianas, de importancia regional que, colectivamente, han sido incluidas o descritas como parte del sistema de fallas de Atacama, se formaron a lo largo del eje del arco magmático en respuesta a cambios de régimen tectónico global durante el Jurásico donde alternan períodos dominados por transcurrencia hasta otros dominados por extensión (Scheuber y Andriessen 1990, Grocott y Taylor 2002, Cembrano *et al.* 2005).

### Deformación de intraplaca en la cuenca Neuquina

Esta deformación es el resultado de la marcada oblicuidad de la zona de subducción en el área de la cuenca Neuquina durante el Jurásico temprano con un vector de convergencia procedente desde el cuadrante noroeste (Zonenshain *et al.* 1984, Scheuber *et al.* 1994). En especial en el área del engolfamiento, la existencia de detallados levantamientos sísmicos en 3D permite apreciar sutiles diferencias de inclinación y espesores. Esta deformación de intraplaca se destaca por una sincroneidad de diferentes estilos estructurales y de regímenes de deformación, de acuerdo al sector del engolfamiento (Mosquera y Ramos 2006). El sector de la dorsal de Huíncul concentra durante el Jurásico evidencias de contracción e inversión tectónica (Vergani *et al.* 1995, Mosquera 2002, Silvestro y Zubiri 2008), con la formación de sutiles estructuras anticlinales. El sector de la plataforma oriental caracterizado por el sistema Tres Lomas está dominado por transcurrencia (Fig. 5).

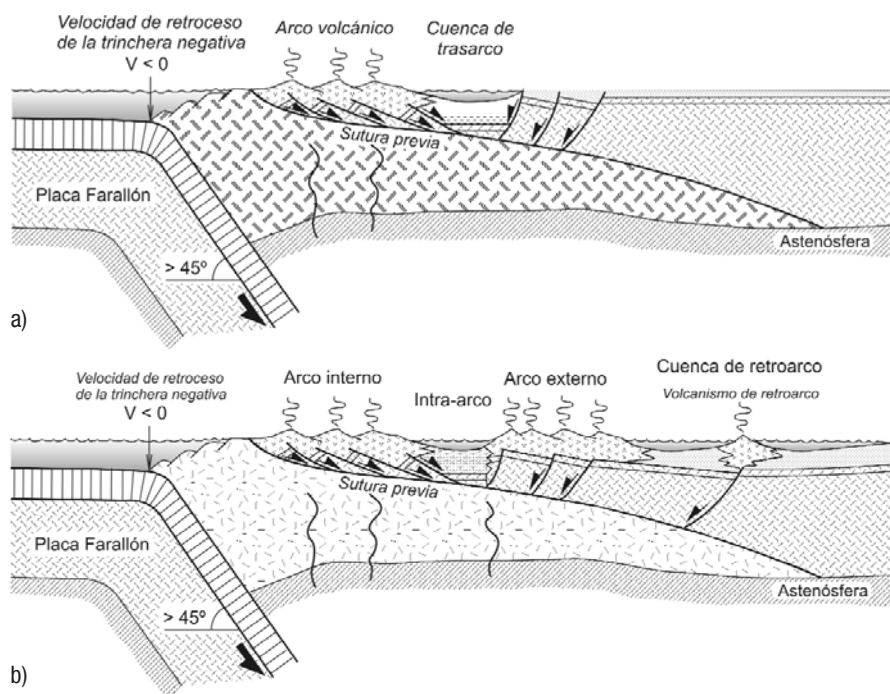
Esta deformación compresiva de intraplaca se observa casi exclusivamente en

Grandes complejos plutónicos, con edades comprendidas entre los 180 y 100 Ma y edades decrecientes hacia el este intruyen a las secuencias volcánicas a lo largo

la dorsal de Huincul, debido al carácter transversal al margen de esta estructura y a la orientación del vector de subducción para este período.

### Las cuencas de trasarco jurásicas

Uno de los rasgos esenciales del sistema Jurásico en el norte y centro de Argentina y Chile es el desarrollo de cuencas de trasarco extensionales, rellenas por sedimentitas marinas y continentales que permanecieron activas, al oriente del sistema magmático de la Cordillera de la Costa, hasta el Cretácico temprano (Cuencas de Arequipa, Tarapacá y Neuquén, véase Figs. 4 a, b). La más septentrional de éstas corresponde a la cuenca de Arequipa, en el sur del Perú (Jaillard *et al.* 2000, Sempere *et al.* 2002, Vicente 2006) que se prolonga en el norte de Chile en la cuenca de Tarapacá (Mpodozis y Ramos 1990, Ardill *et al.* 1998). Estudios bioestratigráficos indican que en esta última la transgresión marina se propagó sobre los altos de basamento a partir de los depocentros triásicos marinos representando, por lo tanto, facies de subsidencia termal de la extensión iniciada en el Mesozoico temprano. Las condiciones marinas, que permitieron una vigorosa sedimentación de secuencias carbonáticas se mantuvieron en algunos sectores hasta la base del Cretácico como en la zona de Pedernales (27°S, Cornejo *et al.* 1998) mientras que en la región de Antofagasta (22°-24°S) la ocurrencia de secuencias evaporíticas oxfordianas (Marinovic y García 1999) indica una regresión más temprana. Influencias volcánicas en la zona de trasarco alcanzan gran importancia durante el Jurásico medio a tardío en la región de Copiapó-El Salvador (i.e. Formación Sierra Fraga, Estratos de Quebrada Vicuña, Iriarte *et al.* 1996, Cornejo *et al.* 1998). Según Jensen (1984) y Vicente (2006) las cuencas de Tarapacá y Neuquina estuvieron separadas por el Promontorio del Norte Chico (Jensen 1984) una zona relativamente elevada que se extiende, aproximadamente, entre los 27° y 31°S, caracterizada por la ocurrencia de secuencias



**Figura 4:** Modelo conceptual que muestra la subducción con velocidad de retroceso negativa de la trinchera y su estado tensional: a) Sistema arco - cuenca de trasarco, como se observa en el norte de Chile con el arco de La Negra y la cuenca de Tarapacá adyacente (basado en Mpodozis y Ramos 1990). b) Sistema de intra-arco a la latitud de los Andes Centrales del sur (basado en Ramos 1999b). Este sistema iniciado en el Jurásico alcanza su máxima expresión durante el Titoneo-comiano, donde se pueden observar las cuencas de intra-arco, el arco externo y el volcanismo de retroarco.

marinas poco potentes, costaneras, en parte con intercalaciones volcánicas, cuya edad está comprendida desde el Liásico al Bajociano (Formaciones Lautaro y Tres Cruces (Jensen 1984, Mpodozis y Cornejo 1988, Vicente, 2006).

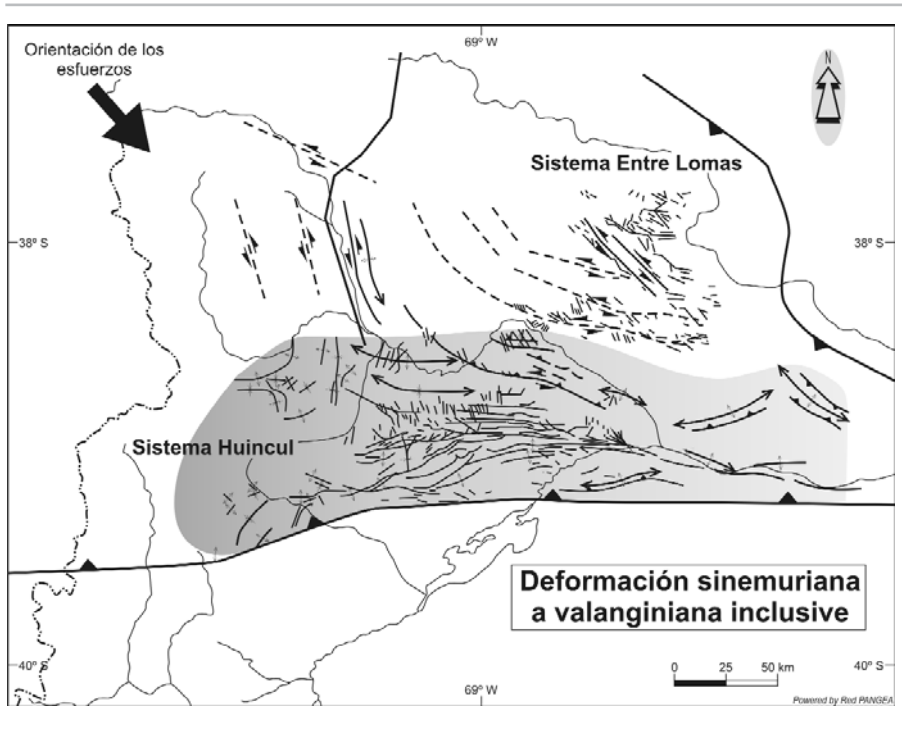
La cuenca Neuquina es quizás la más conocida de las cuencas de trasarco jurásicas a través de los clásicos estudios paleogeográficos de Gulisano *et al.* (1984) y Gulisano (1992). Al igual que en la cuenca de Tarapacá en ésta la transgresión marina progresó a partir de una serie de depocentros extensionales controlados por la fábrica del basamento estudiados por Franzese y Spalletti (2001) y Franzese *et al.* (2006), durante una etapa de subsidencia térmica cuando se acumularon secuencias sedimentarias cuya potencia supera los 6.000 m de espesor. Dentro de ellas se reconocen cuatro ciclos de sedimentación desde el Triásico superior al Sinemuriano (ciclo precuyano), Hettangiano al Caloviano (Gupo Cuyo), Caloviano medio al Oxfordiano (Grupo Lo-

tena) y del Kimmeridgiano al Barremiano (Grupo Mendoza) (Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1994, 1996). Estos ciclos estuvieron controlados por variaciones del nivel del mar y se ordenan en secuencias de transgresión-regresión, que culminan con evaporitas y depósitos continentales.

## EL JURÁSICO DE LA PATAGONIA

### Extensión y subducción inicial: El Batolito Subcordillerano

La región patagónica al sur del río Colorado presenta una evolución tectónica diferente al resto del dominio andino presentando varias peculiaridades entre los cuales destaca la presencia de fajas de granitoides del Triásico-Jurásico temprano oblicuas al margen continental y ubicadas al este de la actual Cordillera Norpatagónica (Rapela *et al.* 2005). La más antigua de éstas corresponde al Batolito de la Patagonia Central con edades com-



**Figura 5:** Vector de deformación sinemuriana a valanginiana que muestra la contracción dominante en el sistema de Huincul, mientras que es predominantemente transcurrente en el sistema Entre Lomas (según Mosquera y Ramos 2006).

prendidas entre 201 y 223 Ma (Rapela y Alonso 1991, Rapela *et al.* 2005) que se extiende desde el sector pre-andino de Chubut hasta el macizo del Deseado (Fig. 6). Sus propiedades geoquímicas, isotópicas y petrológicas, incluyen valores con  $\epsilon Nd$  menores a -2, que indican afinidades corticales (Rapela *et al.* 2008). Durante su emplazamiento se formaron más al este sistemas de rift como El Tranquilo (Homocv y Constantini 2001), que denotan para este intervalo un régimen extensional sin subducción (Kay 1993).

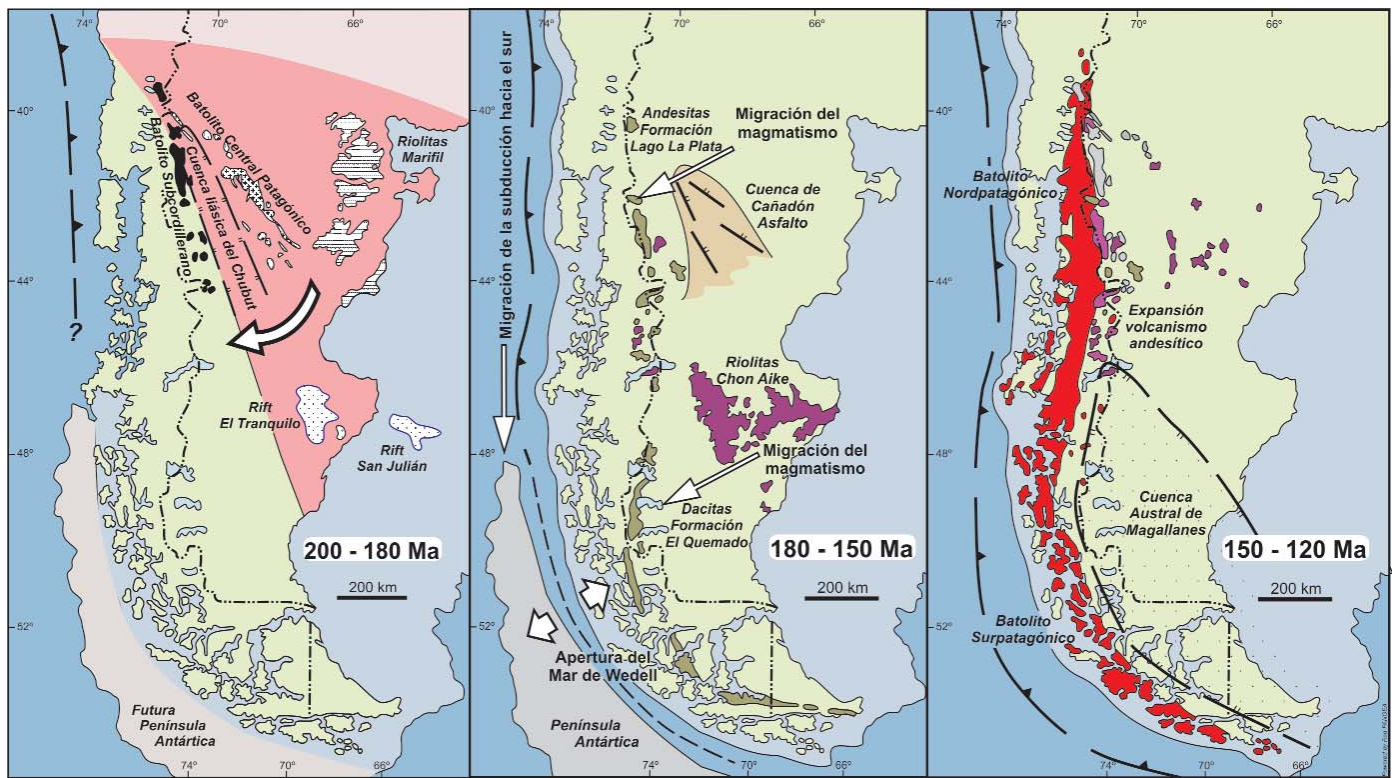
El inicio de la subducción mesozoica en la Patagonia, en el Jurásico temprano, que ocurrió en forma sincrónica con el inicio de la subducción en el norte de Chile, está registrada en los granitoides del Batolito Subcordillerano datados entre los 187 y 178 Ma (Rapela *et al.* 2008). Este evento magmático se extiende en la zona extra-andina de la provincia de Chubut formando una franja de dirección noroeste, oblicua al eje de los actuales Andes Norpatagónicos entre los 40 y 44°S. Sus características geoquímicas e isotópicas, corresponden a típicos grani-

toides tipo I, calcoalcalinos, con valores relativamente elevados de  $\epsilon Nd$  (Rapela *et al.* 2005, 2008) y son mucho más mantélicos que los granitoides triásicos del Batolito de la Patagonia Central. Su emplazamiento es coetáneo con la apertura de la cuenca de intra-arco del Chubut (Ugarte 1966, Ramos 1999b, Suárez y Márquez 2007) donde se depositaron potentes secuencias de pelitas negras y calizas portadoras de amonites de edad pliensbaquiana tardía (~ 183 Ma, Vicente 2005) que muestran una interdigitación con rocas volcánicas y piroclásticas andesíticas (Nullo 1983, Lizuaín y Silva Nieto 1996, Vicente 2005). La presencia de diabasas y gabros de composición toleítica en la región axial de la cuenca indica un importante atenuamiento cortical (Page y Page 1994). Tanto la faja plutónica del Batolito Subcordillerano como las volcánitas liásicas se interrumpen aproximadamente a los 45°, donde a la latitud de Apeleg y Lago Fontana se preservan los últimos asomos liásicos (Ploszkiewicz 1987, Ramos 1981). La actividad magmática del Batolito Subcordillerano es sin-

crónica con la efusión en la zona de retroarco de las riolitas de la Formación Marifil, expuestas en el macizo de Somuncurá, y a lo largo de la costa atlántica. Estas riolitas fueron emitidas entre 188 y 169 Ma (Kay *et al.* 1989, Pankhurst y Rapela 1995, Alric *et al.* 1996), y probablemente representan a magmas derivados de fenómenos de fusión cortical en la periferia del *hot-spot* del Karoo, evento ocurrido entre los 183 y 179 Ma (Jourdan *et al.* 2005). Por otro lado, en la zona de antearco, completando el sistema de subducción se emplazó durante este período, el prisma de acreción del archipiélago de Los Chonos (Davidson *et al.* 1987) cuyas facies de meta-areniscas incluyen circones detríticos del Triásico tardío (216-211 Ma, Hervé *et al.* 2003) y que fue afectado por metamorfismo con un importante pico datado por K-Ar entre los 188 y 133 Ma (Willner *et al.* 2000).

### Jurásico Medio: la provincia ácida Chon-Aike, extensión, fusión cortical y ruptura

La actividad magmática ligada a subducción inicial se interrumpió en el Jurásico medio cuando fenómenos de extensión y rifting, precedieron la migración hacia el oeste del arco magmático en el Jurásico medio a tardío. El Batolito Subcordillerano cesó su actividad aproximadamente a los 178 Ma (Rapela *et al.* 2008) después de lo cual, entre los 170 y 150 Ma, la casi totalidad de la Patagonia austral extraandina fue cubierta por extensos mantos de ignimbritas riolíticas pertenecientes a la provincia ácida Chon-Aike (Bruhn *et al.* 1978, Uliana y Biddle 1987, Kay *et al.* 1989). Esta enorme provincia magmática está representada en el macizo del Deseado por una secuencia bimodal compuesta por las riolitas de la Formación Chon Aike y en forma subordinada por los basaltos alcalinos de la Formación Bajo Pobre (Panza 1995); la Formación Tobífera en la región de Magallanes en Chile (Thomas 1949); la Formación Lemaire en Tierra del Fuego argentina (Camino *et al.* 1981) o el Grupo Bahía Laura



**Figura 6:** a) Jurásico temprano: Migración hacia el margen continental del magmatismo de intraplaca extensional representado por el Batolito de la Patagonia Central, las Riolitas Marifil y los sistemas de rift de El Tranquilo y San Julián (220-200 Ma); el inicio de la subducción denotado por el Batolito Subcordillerano y el desarrollo de la cuenca de intra-arco liásica y sus andesitas asociadas. Al sur de los 47°S ha sido propuesta la colisión del terreno Fitz Roy para explicar la falta de magmatismo de esa época. b) Jurásico Medio: desarrollo de hemigrábenes en la cuenca de Cañadón Asfalto, simultáneamente con la extensión generalizada de la provincia Chon-Aike (Kay et al. 1989) y la migración del magmatismo hacia el margen pacífico (Féraud et al. 1999); c) Jurásico tardío: establecimiento a lo largo del margen pacífico del Batolito Patagónico con una evolución diferencial entre sus distintos segmentos (véase discusión en el texto).

en el *offshore* atlántico (Baldi y Nevistic 1996).

El volcanismo estuvo asociado al desarrollo de sistemas de hemigrábenes orientados en dirección NNO a NO, cuya geometría ha sido descifrada por los trabajos de exploración petrolera efectuados en la cuenca Austral marina (Robbiano et al. 1996). La apertura en forma oblicua de la cuenca de Cañadón Asfalto con un rumbo marcadamente noroeste (Fígari 2005) es seguida por la apertura de una serie de rifts casi ortogonales a la Cordillera Patagónica, como el representado por las cuencas de Río Senguerr, Río Mayo y Río Guenguel que son parcialmente sincrónicas con la apertura del Mar de Weddell (Fig. 7a,b).

Edades radimétricas  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  y U-Pb (Bertrand et al. 1999, Pankhurst et al. 1998) de estas volcanitas muestran una migración de la actividad desde 187 Ma

en el sector más nordoriental a los 144 Ma en el sector sudoccidental (Féraud et al. 1999), a lo largo de 650 km, asociada a la apertura extensional en esa dirección. Los estudios geoquímicos indican una importante componente cortical en la génesis de estos magmas según lo establecieron Bruhn et al. (1978), Kay et al. (1989) y Pankhurst y Rapela (1995). La extensión asociada con la Provincia Chon-Aike es sincrónica con la formación de la cuenca de rift de Cañadón Asfalto en la provincia del Chubut (Fig. 6b) cuya edad está indicada por los conglomerados de la supersecuencia inferior y los basaltos alcalinos intercalados en la parte inferior de la Formación Cañadón Asfalto de edad bajociana a caloviana (170 a 160 Ma, Fígari 2005). La orientación de las fallas de borde de este sistema de rift es similar a las fallas extensionales de la provincia Chon Aike que se registra

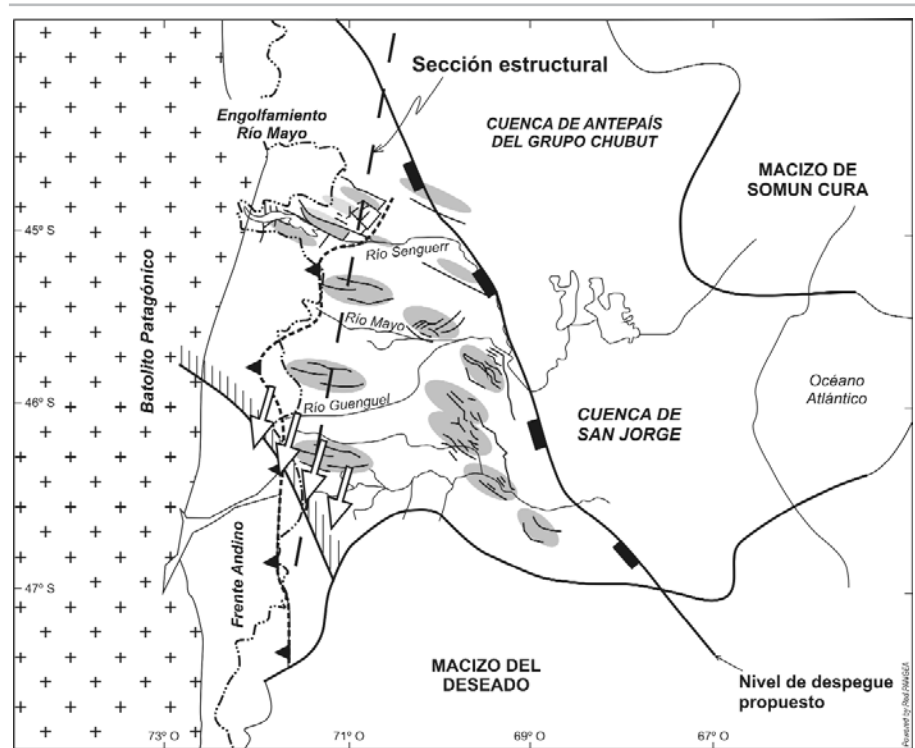
en el macizo del Deseado asociadas a los basaltos y andesitas de la Formación Bajo Pobre con edades de 173 a 155 Ma (Kay et al. 1989, Guido et al. 2006).

Si bien en la provincia de Santa Cruz, el volcanismo ácido Chon-Aike ocurrió, principalmente en condiciones subáreas, hacia el SO en el piedemonte andino de la región de Última Esperanza y Tierra del Fuego, las efusiones fueron en condiciones submarinas. Estas secuencias más occidentales engranan lateralmente con los complejos ofiolíticos de Sarmiento y Tortuga, característicos de la cuenca de Rocas Verdes (*Rocas Verdes Basin* de Dalziel 1981). Esta cuenca representaría un caso extremo de extensión que progresó hasta la ruptura de la corteza continental documentada por la ocurrencia, desde la zona de Última Esperanza hacia el sur, de afloramientos discretos de un complejo ofiolítico incompleto. Éste incluye, entre

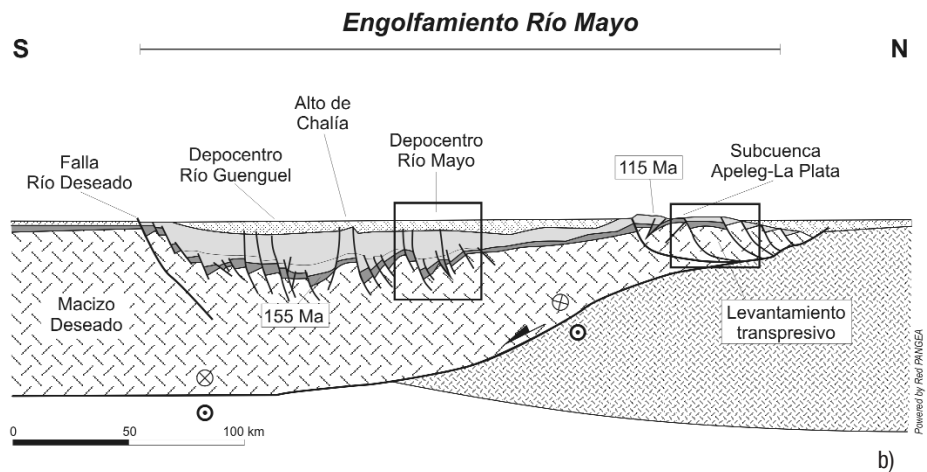


otros, al Complejo Sarmiento en la zona de Última Esperanza, al Complejo Tortuga al sur de Tierra del Fuego y a la Formación Larsen Harbour de las islas Georgias del Sur (Suárez y Petigrew 1976, Bruhn 1979, Stern 1980, Dalziel 1981, Storey y Mair 1982). Dataciones radiométricas U-Pb (Mukassa y Dalziel 1996, Calderón *et al.* 2007) indican que formación de la cuenca de Rocas Verdes ocurrió entre los 152 y 142 Ma, y estuvo asociada a un magmatismo bimodal. Tradicionalmente ha sido interpretada como una cuenca marginal de trasarco de un sistema de subducción inclinado al este del Jurásico tardío-Cretácico temprano, bajo el borde pacífico del extremo austral de Sudamérica (Dalziel 1981). Sin embargo hasta la fecha no se ha comprobado la existencia de rocas magmáticas con afinidades de arco de esa edad en el Batolito Patagónico.

Granitos leucocráticos de granate con edades U-Pb comprendidas entre los 157 to 145 Ma que afloran en el borde oriental del Batolito Patagónico, al oeste del Complejo Ofiolítico Sarmiento entre los 48° y 53°S (Hervé *et al.* 2007) pueden representar equivalentes intrusivos de la ignimbritas de la Formación Tobífera. Por otro lado, reconstrucciones paleogeográficas recientes basadas en estudios paleomagnéticos (Ghidella *et al.* 2002, Jökat *et al.* 2003) indican que a los 155 Ma la Península Antártica se encontraba adosada al borde pacífico del extremo austral de Sudamérica, situación que ubica a la cuenca de Rocas Verdes en una posición muy alejada del borde continental para ser considerada una cuenca marginal en el sentido clásico. Un escenario como este da credibilidad a las hipótesis de Godoy (1979) y Alabaster y Storey (1990) quienes consideraron que ésta no corresponde a una cuenca marginal, y para quienes la cuenca de Rocas Verdes sería un *failed arm* del Mar de Weddell que se habría propagado hacia el oeste durante el Jurásico medio a tardío. Dichas propuestas son consistentes con los nuevos datos de Ghidella *et al.* (2002, 2007) que muestran que las primeras anomalías



a)



b)

**Figura 7:** a) Mapa de ubicación de las cuencas de Río Senguerr, Río Mayo y Río Guanquel, asociadas a los esfuerzos que condujeron a la apertura del Mar de Weddell (basada en Folguera e Ianizzotto 2004); b) Sección estructural esquemática que muestra la estructura actual de estas cuencas ubicadas en el engolfamiento de Río Mayo.

oceánicas que marcan el inicio de la apertura del Mar de Weddell pueden ser tan antiguas como jurásicas medias (aprox. 150 Ma).

La fase de rifting y ruptura que dio origen a la cuenca de Rocas Verdes culminó en una etapa de subsidencia termal y una transgresión marina en el Jurásico tardío-Cretácico temprano. Esta dio origen a la

acumulación, sobre las ignimbritas y tobas de la provincia Chon-Aike, del cortejo sedimentario constituido por las areniscas transgresivas de la Formación Springhill y las lutitas negras ricas en materia orgánica correspondientes a las Formaciones Zapata o Erezcano en Chile y sus equivalentes Formaciones Río Mayer, Pampa Rincón, Palermo-Aike o Beauvoir

en Argentina las cuales inician su deposición en el Jurásico más tardío y constituyen el principal reservorio y la roca madre de hidrocarburos de la cuenca Austral (Katz 1963, Riccardi y Roller 1979, Biddle *et al.* 1986, Wilson 1991, Olivero y Martinioni 2001, Zilli *et al.* 2002).

### **Migración hacia el suroeste del frente magmático. El Batolito Patagónico en el Jurásico y Cretácico temprano**

Después de la fase de extensión asociada a la provincia Chon-Aike y la formación de la cuenca de Rocas Verdes se produjo una notable migración hacia el suroeste y oeste del frente magmático hacia el Batolito Patagónico que constituye en núcleo de los Andes australes. Aunque el conocimiento de su evolución magmática sea aún incompleto y parcial, los trabajos geocronológicos y geoquímicos realizados en años recientes indican que éste presenta una evolución diferente entre los distintos segmentos que lo componen.

Al norte de los 52° S las edades más antiguas conocidas para granitoides calcoalcalinos, con afinidades de arco, corresponden al Cretácico temprano (144-135 Ma, Nelson *et al.* 1988, Bruce *et al.* 1991, Pankhurst *et al.* 1999, Hervé *et al.* 2007). Sin embargo, en la zona del borde oriental de la Cordillera Patagónica se registra la ocurrencia de actividad magmática calcoalcalina a partir de los 150 Ma, incluyendo plutones satélites (Suárez y De la Cruz 2001) y secuencias volcánicas ácidas y mesosilíceas del Jurásico medio a tardío tales como las Formaciones Ibáñez y Lago La Plata e incluso parte de los afloramientos del Complejo El Quemado (Ramos *et al.* 1982, Pankhurst *et al.* 1998, Suárez *et al.* 1999).

A diferencia del segmento anterior, entre los 52 y 54 °S las edades más antiguas obtenidas para granitoides calcoalcalinos se ubican alrededor de los 126 Ma (Hervé *et al.* 2007) mientras que, aún más al sur las edades K-Ar publicadas por Hervé *et al.* (1984) para el mismo complejo intrusivo al sur de Tierra del Fuego registran el empazamiento de granitoides con

afinidades ciertas de arco sólo a partir de los 110 Ma (Grupo Plutónico Canal Beagle).

Estas evidentes diferencias cronológicas a lo largo del rumbo desde el norte hacia el sur se explicarían si se consideran las reconstrucciones paleogeográficas de Ghidella *et al.* (2002, 2007), Jökat *et al.* (2003) y Köning y Jökat (2006). Las mismas indican que a los 150 Ma el extremo norte de la Península Antártica, adosada contra el borde sudamericano, se ubicaría aproximadamente, a los 51-52°S. Debido a ello, el magmatismo ligado a la subducción de corteza oceánica del Pacífico se inició tempranamente, a los 150 Ma al norte de los 51°-52°S, y más al sur sólo una vez que el margen continental quedó despejado de la Península Antártica en desplazamiento progresivo hacia el sur durante el Cretácico. Las recientes edades K-Ar y <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar (128 a 120 Ma) de minerales metamórficos publicadas para el complejo de acreción de Diego de Almagro ubicado a los 51°30'S (Hervé y Fanning 2003, Willner *et al.* 2004, Hervé *et al.* 2008) son consistentes con la ubicación de esa zona en relación al margen continental del Jurásico. Por otro lado, la ocurrencia de intrusivos con afinidades de arco con edades más antiguas que los 90 Ma en el Batolito Patagónico al sur de los 52°S ha sido atribuida por Arbe (1989) y Mpodozis y Rojas (2006) al efecto de subducción hacia el oeste del piso oceánico de la cuenca de Rocas Verdes, que se habría cerrado finalmente recién a los 88-85 Ma (Fildani *et al.* 2003) bloqueando la subducción de polaridad oeste de la cuenca de Rocas Verdes e iniciado el sistema de subducción de polaridad este que prevalece hasta el presente en los Andes Patagónicos.

### **Causas de la migración hacia el suroeste del magmatismo: Colisión-acreción en el Jurásico?**

Considerando lo indicado en los párrafos precedentes, uno de los problemas fundamentales de la evolución jurásica de la Patagonia se refiere a las causas del cese

del magmatismo del Batolito Subcordillerano, la génesis de la provincia ácida Chon-Aike y las causas de la migración hacia el suroeste del frente del arco magmático desde el Batolito Subcordillerano hacia el Batolito Patagónico. En otros sectores de los Andes como es el caso del Paleozoico en la región de Cuyo o en el Mesozoico colombiano (Ramos y Aleman 2000) la extinción de un arco magmático y su posterior migración hacia el océano es consecuencia de la acreción de un terreno exótico o parautoctono contra el margen continental. Hervé y Mpodozis (2005) sugirieron que este sería el caso en Patagonia durante el Jurásico al señalar que la extinción del magmatismo del Batolito Subcordillerano y la migración del magmatismo hacia el suroeste sería consecuencia de la acreción de un terreno alóctono llamado terreno Fitzroy por esos autores. Este terreno estaría representado esencialmente por el complejo metamórfico andino oriental (CMAO de Hervé *et al.* 2003) constituido por una asociación de pizarras y metareniscas afectadas por metamorfismo de bajo grado de edad paleozoica. Según Forsythe (1982) y autores subsiguientes este complejo metamórfico sería parte de un gran prisma de acreción construido a lo largo del margen occidental de la Patagonia durante el Paleozoico superior.

Sin embargo, salvo en el macizo norpatagónico de acuerdo a Pankhurst *et al.* (2006), en el resto de la Patagonia no se han descrito intrusivos de esa edad que pudieran ser considerados como un arco magmático coetáneo. Estudios sedimentológicos efectuados por Bell y Suárez (2001) indican contrariamente a lo expresado por Forsythe (1982) que el complejo metamórfico oriental, representado por la Formación Río Lácteo, correspondería a una asociación de turbiditas submarinas, calizas y rocas piroclásticas acumulados en un ambiente de intraplaca de acuerdo a estos autores. Su grado metamórfico y estilo estructural indicarían procesos de deformación en el núcleo cristalino de un cinturón orogénico resultantes probablemente de la interacción

de microplacas más que acreción de ante-arco. Estudios de proveniencia, incluyendo análisis de la edad poblaciones de circones detríticos e isótopos de Lu-Hf indican, resultados muy ambiguos ya que, de acuerdo a Augustson y Balbhurg (2003) y Augustson *et al.* (2006) sus fuentes que podrían ser trazadas hasta "el interior de Gondwana (Patagonia extra-andina, Sierra de la Ventana, África del Sur, Antártida oriental), así como hasta el norte de Chile y el NO argentino".

Una hipótesis alternativa para explicar el metamorfismo observado en la Formación Río Lácteo y la distribución de la fuente de los circones detríticos fue presentada por Ramos (2008), para quien el magmatismo neopaleozoico se extendería hasta la provincia de Santa Cruz.

Según la hipótesis original de Hervé y Mpodozis (2005) la acreción del terreno Fitzroy entre los 180 y 170 Ma habría sido la causa de la extinción del Batolito Subcordillerano, la extensión y magmatismo ácido postcolisional de la provincia Chon-Aike y la posterior migración hacia el suroeste del frente magmático hacia el Batolito Patagónico a partir de los 150 Ma. Sin embargo, uno de los problemas de esta interpretación se refiere a la falta de pruebas objetivas de la existencia de deformación compresional asociada a esta supuesta colisión. La edad de la compleja deformación polifásica que afectó al complejo metamórfico oriental con anterioridad a la acumulación discordante de las volcanitas jurásicas de las Formaciones Ibáñez y el Complejo el Quemado, no ha podido ser datada con precisión. Suárez y Márquez (2007) señalan que la existencia de una discordancia angular entre unidades toarcianas de la cuenca liásica en Chubut (Formación Osta Arena) y las volcanitas de la Formación Lago La Plata (Jurásico medio a tardío) indicaría una fase de deformación entre ambas. Si por otro lado se consideran las reconstrucciones paleogeográficas para el Jurásico y la posición relativa de la Península Antártica en relación a Sudamérica en el Jurásico tardío, dentro del terreno Fitzroy deben incluirse otros elementos

tales como el extremo septentrional de la Península Antártica y entre ésta y el complejo metamórfico oriental, el terreno Madre de Dios. Este elemento tectonoestratigráfico, ubicado al oeste del Batolito Patagónico (Forsythe y Mpodozis 1983) está constituido por una asociación tectónica de prisma de acreción que incluye calizas arrecifales del Carbonífero-Pérmico temprano (Calizas Tarlton) tectónicamente intercaladas con *pillow* lavas con química de N-MORB y radiolaritas (Complejo Denaro) junto a turbiditas derivadas de una fuente de arco continental (Complejo Duque de York) portadoras de una característica población de circones detríticos pérmicos (Lacassie 2003, Hervé *et al.* 2003) que también ha sido observada en las secuencias sedimentarias clásticas del *Trinity Peninsula Group* (probable equivalente del Complejo Duque de York) en la Península Antártica (Hervé *et al.* 2006). El terreno Madre de Dios incluye asociaciones de facies similares a las de terrenos alóctonos expuestos en Nueva Zelanda (i.e. terrenos Takata y Te Akatarawa, de Wysoczanski *et al.* 1997, Cawood *et al.* 2002) que según estos últimos autores se habrían amalgamado contra el margen australiano de Gondwana en el Pérmico para ser transportados hacia su posición actual por movimientos de rumbo en forma paralela al margen durante el Mesozoico inferior. En resumen, aunque las hipótesis anteriores sean una propuesta preliminar, es evidente que el estudio del significado tectónico del collage de terrenos tectonoestratigráficos de la Patagonia occidental, su evolución y sus posibles relaciones con la Península Antártica durante el Jurásico es un tema emergente y todavía no resuelto.

## CONCLUSIONES

La historia tectónica jurásica de la región sur de Sudamérica está íntimamente ligada a los procesos de ruptura y separación de Pangea y Gondwana, iniciados, en el norte y centro de Argentina y Chile, durante el Triásico con la formación de un

complejo de rifts intracontinentales que evolucionaron hasta la formación de un sistema de subducción en el Jurásico temprano. Este está registrado en el arco magmático jurásico que se extiende a lo largo de la actual Cordillera de la Costa desde el sur del Perú hasta el centro de Chile y atraviesa en forma oblicua la actual Cordillera de los Andes en la región norpatagónica y se prolonga en el Batolito Subcordillerano. El desarrollo de cuencas de trasarco o intra-arco tales como las cuencas de Arequipa, Tarapacá, Neuquén y Chubut indica un ambiente tectónico extensional, asociado a convergencia oblicua de placas, como lo evidencia la ocurrencia de diversos episodios de transtensión tanto a lo largo del eje del arco magmático, como en el dominio de trasarco.

Al norte de los 40 °S el par arco-cuenca trasarco fue el elemento paleogeográfico dominante desde el Jurásico temprano, que evolucionó al sur de los 30°S a sistemas más complejos de intra-arco, con magmatismo de retroarco asociado y se mantuvo hasta los inicios del Cretácico tardío desde los 180 hasta los 90 Ma. Sin embargo la región patagónica, al sur de los 40°S, muestra una historia completamente diferente. Ella está marcada por la extinción del magmatismo en el Batolito Subcordillerano a los 170 Ma, el desarrollo del volcanismo ácido de la provincia de Chon-Aike entre los 170 y 150 Ma y la apertura de cuencas oblicuas a ortogonales al margen, como las cuencas de Cañadón Asfalto, Río Mayo, Río Senguerr y Río Guenguell. Este cese del magmatismo culmina con la cuenca oceánica de Rocas Verdes y, finalmente, la migración del arco magmático hacia el suroeste en dirección al Batolito Patagónico a los 150 Ma. La peculiar historia tectónica de la región patagónica, a diferencia de lo que ocurre al norte de los 40°S, se relaciona con la apertura del mar de Weddell, migración hacia el sur de la Península Antártica y posiblemente, con la acreción de posibles terrenos exóticos contra el margen pacífico de Sudamérica durante el Jurásico.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento a los organizadores del 3° Simposio Argentino del Jurásico por la invitación a realizar la presente síntesis y a los revisores por sus interesantes comentarios que permitieron mejorar el manuscrito original.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alabaster, T. y Storey, B. 1990. Modified Gulf of California Basin for South Scotia Ridge, North Scotia Ridge, and implications for the Rocas Verdes Back-arc basin, southern Andes. *Geology* 18: 497-500.
- Alric, V.I., Haller, M.J., Féraud, G., Bertrand, H. y Zubia, M. 1996. Geocronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  del volcanismo jurásico de la Patagonia Extrandina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 243-250, Buenos Aires.
- Álvarez, P. 1996. Los depósitos triásicos y jurásicos de la Alta Cordillera de San Juan En Geología de la Región del Aconcagua, provincias de San Juan y Mendoza, Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, *Anales* 24(5): 59-137.
- Álvarez, P.P. y Ramos, V.A. 1999. The Mercedario Rift System in the Principal Cordillera of Argentina and Chile (32°SL). *Journal of South American Earth Sciences* 12(1): 17-31.
- Arbe, H.A. 1989. Estratigrafía, discontinuidades y evolución sedimentaria del Cretácico en la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz. En Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica: 419-442, Tucumán.
- Ardill, J., Flint, S., Chong, G. y Wilke, H. 1998. Sequence stratigraphic of the Mesozoic Domeyko Basin, Northern Chile. *Journal of the Geological Society* 155: 71-88, London.
- Artabe, A.E., Morel, E.M. y Zamuner, A.B. (eds.) 2001. *El sistema Triásico en la Argentina*. Fundación Museo de La Plata, 358 p., La Plata.
- Arriagada, C., Roperch, P., Mpodozis, C. y Fernández, R. 2006. Paleomagnetism and tectonics of the southern Atacam Desert (25-28°S), northern Chile. *Tectonics* 25: TC4001, doi:10.29/2005TC001923.
- Auboin, J.A., Borrello, A.V., Cecione, G., Charrier, R., Chotin, P., Frutos, J., Thiele, R. y Vicente, J.C. 1973. Esquisse paleogeographique et structurale des Andes Meridionales. *Revue de Géographie Physique et de Geologie Dynamique* 15(1-2): 11-71, Paris.
- Augustsson, C. y Bahlburg, H. 2008. Provenance of late Palaeozoic metasediments of the Patagonian proto-Pacific margin (southernmost Chile and Argentina). *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 97: 71-88.
- Augustsson, C., Münker, C., Bahlburg, H. y Fanning, C.M. 2006. Provenance of Late Palaeozoic metasediments of the SW South American Gondwana margin: a combined U-Pb and Hf-isotope study of single detrital zircons. *Journal of the Geological Society* 163: 983-995.
- Baldi, J.E. y Nevestic, V.A. 1996. Cuenca costafuera del Golfo San Jorge. En Ramos, V.A. y Turic, M.A. (eds.) *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*. Asociación Geológica Argentina e Instituto Argentino del Petróleo, 171-192, Buenos Aires.
- Bell, C.M. y Suárez, M. 2000. The Río Lácteo Formation of Southern Chile. Late Paleozoic orogeny in the Andes of southernmost South America. *Journal of South American Earth Sciences* 13(1-2): 133-145.
- Bertrand, H., Féraud, G., Haller, M., Luais, B., Martínez, M., Alric, V. y Fornari, M. 1999. The Mesozoic silicic large igneous province of Patagonia: chronology and origin evidenced by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Sr-Nd isotopes. 2° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Actas 167-169, Córdoba.
- Biddle, K.T., Uliana, M.A., Mitchum Jr., R.M., Fitzgerald, M.G. y Wright, R.C. 1986. The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. En Allen, P.A. y Homewood, P.Z. (eds.) *International Association of Sedimentologists, Special Publication* 8: 41-61.
- Bruce, R.M., Nelson, E.P., Weaver, S.G. y Lux, D.R. 1991. Temporal and spatial variation in the southern Patagonian batholith: constraints on magmatic arc development. En Harmon, R.S. y Rapela, C.W. (eds.) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America, Special Paper 265: 1-12.
- Bruhn, R.L. 1977. Rock structures formed during back-arc basin deformation in the Andes of Tierra del Fuego. *Geological Society of America, Bulletin* 90: 998-1012.
- Bruhn, R.L., Stern, C.R. y De Wit, M.J. 1978. Field and geochemical data bearing on the development of a Mesozoic volcano tectonic and back arc basin in Southernmost South America. *Earth Planetary Science Letters* 41: 32-46.
- Calderón, M., Fildani, A., Hervé, F., Fanning, C.M., Weislogel, A. y Cordani, U. 2007. Late Jurassic bimodal magmatism in the northern sea-floor remnant of the Rocas Verdes Basin, southern Patagonian Andes. *Journal of the Geological Society* 164: 1011-1022, London.
- Caminos, R., Haller, M.A., Lapido, O., Lizuaín, A., Page R. y Ramos, V.A. 1981. Reconocimiento geológico de los Andes Fueguinos. Territorio Nacional de Tierra del Fuego. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 759-786, Buenos Aires.
- Cawood, P.A., Landis, Ch., Nemchin, A. y Hada, S. 2002. Permian fragmentation, accretion and subsequent translation of a low latitude Tethyan seamount to the high latitude east Gondwana margin: evidence from detrital zircon age data. *Geological Magazine* 139(2): 131-144.
- Cawood, P.A. 2005. Terra australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth-Science Reviews* 69: 249-279.
- Cembrano, J., González, G., Arancibia, G., Ahumada, I., Olivares, V. y Herrera, V. 2005. Fault zone development and strain partitioning in an extensional strike-slip duplex: A case study from the Mesozoic Atacama fault system, Northern Chile. *Tectonophysics* 400: 105-125.
- Charrier, R. 1979. El Triásico en Chile y regiones adyacentes de Argentina. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Comunicaciones 26: 1-37.
- Charrier, R., Pinto L. y Pía Rodríguez, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*. The

- Geological Society, 21-114, London.
- Cornejo, P. y Mpodozis, C. 1996. Geología de la Región de Sierra Exploradora (25°-26°S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR 96-09, v. 1, 330 p. y v. 2, 9 mapas, Santiago.
- Cornejo, P., Mpodozis, C. y Tomlinson, A.J. 1998. Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 7 (escala 1:100.000), Santiago.
- Cornejo, P., Mathews, P., Marinovic, N., Pérez de Arce, C., Basso, M., Alfaro, J. y Navarro, M. 2006. Alteración Hidrotermal y Mineralización recurrente de Cu y Mo durante el Pérmico y Triásico en la Cordillera de Domeyko (zona de Zaldívar-Salar de Los Morros): Antecedentes Geocronológicos U-Pb, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar y Re-Os. 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 229-222, Antofagasta.
- Corvalán, J. 1976. El Triásico y Jurásico de Viñuquén Tilicura y de Hualañe, Provincia de Curicó. Implicaciones paleogeográficas. 1° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: A137-A154, Santiago.
- Cox, K.G. 1988. The Karoo Province. En MacDougall, J.D. (ed.) Continental flood basalts, Kluwer Academic 239-271, Dordrecht.
- Dallmeyer, R.D., Brown, M., Grocott, J., Taylor, G. y Treloar, P. 1996. Mesozoic Magmatic and Tectonic events within the Andean plate boundary zone, North Chile: constraints from <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Mineral Ages. *Journal of Geology* 104: 19-40.
- Dalziel, I.W.D. 1981. Back-arc basin in the southern Andes: a review and critical reappraisal. *Philosophical Transactions, Royal Society of London* A300: 319-335.
- Davidson, J., Mpodozis, C., Godoy, E., Hervé, F., Pankhurst R. y Brook, M. 1987. Late Paleozoic Accretionary Complexes on the Gondwana Margin of Southern Chile: Evidences from the Chonos Archipiélago. *Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics*, G. D. McKenzie, Ed., American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 40: 221-228, Washington.
- Duncan, R.A., Hooper, P.R., Rehacek, J., Marsh, J.S. y Duncan, A.R. 1997. The timing and duration of the Karoo igneous event, southern Gondwana. *Journal of Geophysical Research* 102: 18,127-18,138, doi: 10.1029/97JB00972.
- Feraud, G., Alric, V., Fornari, M., Bertrand, H. y Haller, M. 1999. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters* 172: 83-96.
- Fígari, E. 2005. Estructura y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, provincia del Chubut. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 177 p., Buenos Aires.
- Fildani, A., Cope, T.D., Graham, S.A. y Wooden, J.L. 2003. Initiation of the Magallanes foreland basin: Timing of the southernmost Patagonian Andes orogeny revised by detrital zircon provenance analysis. *Geological Society of America, Bulletin* 112(12): 1081-1084.
- Folguera, A. e Inanizotto, N. 2004. The Lagos La Plata y Foyntana fold and thrust belt. Long lived orogenesis at the edge of western Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 541-566.
- Forsythe, R. 1982. The Late Paleozoic to Early Mesozoic evolution of Southern South America: a plate tectonic interpretation. *Journal Geological Society* 139: 671-682, London.
- Forsythe, R. y Mpodozis, C. 1983. Geología del basamento pre Jurásico superior en el Archipiélago Madre de Dios, Magallanes, Chile. Servicio Nacional Geología y Minería, Boletín 39, 63 p.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 257-270.
- Franzese, J.R., Veiga, G.D., Schwarz, E. y Gómez-Pérez, I. 2006. Tectonostratigraphic evolution of a Mesozoic graben border system: the Chachil depocentre, southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society* 163: 707-721, London.
- Gana, P. 1991. Magmatismo bimodal del Triásico superior-Jurásico inferior, en la Cordillera de la Costa, Provincias del Elqui y Limarí, Chile. *Revista Geológica de Chile* 18: 55-67.
- Ghidella, M.E., Yañez, G. y LaBrecque, H.L. 2002: revised tectonic implications for the magnetic anomalies of the Western Weddell Sea. *Tectonophysics* 347(1-3): 65-86.
- Ghidella, M.E., Lawver, L.A., Marenssi, S. y Gahagan, L.M. 2007. Plate kinematic models for Antarctica during Gondwana break-up: A review. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(4): 636-646.
- Giambiagi, L.B. 2003. Deformación cenozoica de la faja plegada y corrida del Aconcagua y Cordillera Frontal, entre los 33°30' y 33°45' S. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(1): 85-96.
- Giambiagi, L.B. y Ramos, V.A. 2002. Structural evolution of the Andes between 33°30' and 33°45' S, above the transition zone between the flat and normal subduction segment, Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Science* 15(1): 99-114.
- Giambiagi, L.B., Suriano, J. y Mescua, J. 2005. Extensión multiepisódica durante el Jurásico temprano en el depocentro Atuel de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(3): 524-534.
- Giambiagi, L.B., Álvarez, P.P. Godoy E. y Ramos, V.A. 2003. The control of pre-existing extensional structures in the evolution of the southern sector of the Aconcagua fold and thrust belt. *Tectonophysics* 369: 1-19.
- Giambiagi, L., Becáis, F., García, V. y Clark, A.H. 2008. Temporal and spatial relationships of thick- and thin-skinned deformation: A case study from the Malargüe fold-and-thrust belt, southern Central Andes. *Tectonophysics* (en prensa).
- Godoy, P.B.E. 1979. Observaciones en el complejo ofiolítico de isla Milne Edwards - Cerro Tortuga (Isla Navarino), Magallanes, Chile. 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Actas 2: 625-638, Buenos Aires.
- Godoy, E. y Lara, L. 1998. Hojas Chañaral y Diego de Almagro. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, 5-6 (1:100.000), Santiago.
- Grocott, J. y Taylor, G.K. 2002. Deformation partitioning, magmatic arc fault systems and the emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25-27°S). *Journal of Geological Society* 159: 425-442, London.
- Guido, D., Escayola, M., De Barrio, R. Schalamuk, I. y Franz, G. 2006. The Bajo Pobre Formation Jurassic in the eastern Deseado Massif, Patagonia: Relationship with the Bahía Laura Group. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(2): 187-196.
- Gulisano, C.A. 1992. Paleogeographic evolution

- of west-central Argentina. En Westermann G.E.G. (ed.) *The Jurassic of the Circumpacific*, Cambridge University Press: 131-146.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1994. Field Guide to the Jurassic of the Neuquén Basin, province of Neuquén. *Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial, Serie E 2*: 1-111, Buenos Aires.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1996. The Jurassic of the Neuquén Basin. b) Mendoza Province, Field Guide. *Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial, Serie E 3*: 1-103, Buenos Aires.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. y Digregorio, R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica al oeste de la provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 236-259.
- Gurnis, M. 1988. Large-scale mantle convection and the aggregation and dispersal of supercontinents. *Nature* 332: 695-699.
- Hervé, F. y Fanning, C.M. 2003. Early Cretaceous subduction of continental crust at the Diego de Almagro archipelago southern Chile. *Episodes* 26(4): 285-289.
- Hervé, F. y Mpodozis, C. 2005. The western Patagonia terrane collage: new facts and some thought-provoking possibilities. *Gondwana 12° Conference (Mendoza), Proceedings, Abstracts*: 199, Córdoba.
- Hervé, F., Calderón, M. y Faúndez, V. 2008. The metamorphic complexes of the Patagonian and Fuegian Andes. *Geologica Acta* 6(1): 43-53.
- Hervé, F., Suárez, M. y Puig, A. 1984. The Patagonian Batholith S of Tierra del Fuego, timing and tectonic implications. *Journal of the Geological Society* 11: 909-917, London.
- Hervé, F., Fanning, C.M. y Pankhurst, R.J. 2003. Detrital zircon age patterns and provenance in the metamorphic complexes of Southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 107-123.
- Hervé, F., Miller, H. y Pimpirev, H. 2006. Patagonia-Antarctica connections before Gondwana breakup. En Fütteter, H. *et al.* (eds.) *Antarctica, Contributions to Global Earth Sciences*, Springer, 217-227.
- Hervé, F., Pankhurst, R.J., Fanning, C.M., Calderón, M. y Yaxley, G.M. 2007. The South Patagonian batholith: 150 my of granite magmatism on a plate margin. *Lithos* 97: 373-394.
- Hoffman, P.F. 1999. The break-up of Rodinia, birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth. *Journal of African Earth Sciences* 28: 17-33.
- Homocv, J.F. y Constantini, L.A. 2001. Hydrocarbon exploration potential within intraplate shear-related depocenters, Deseado and San Julián basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 85(10): 1795-1816.
- Iriarte, S., Arévalo, C., Mpodozis, C. y Rivera, O. 1996. Mapa Geológico de la Hoja Carrera Pinto. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 3 (1:100.000), Santiago.
- Jaillard, E., Héral, G., Monfret, T., Díaz Martínez, E., Baby, P., Lavenue, A. y Dumont, J.F. 2000. Tectonic Evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia, and Northernmost Chile. En Cordani, U.G., Milani, E.J., Tomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*, 481-559, Río de Janeiro.
- James, D.E. 1971. Plate Tectonic Model for the Evolution of the Central Andes. *Geological Society of America Bulletin* 82: 3325-3346.
- Jensen, O.L. 1984. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate: Discussion and reply. *Geological Society of America Bulletin* 95: 877-880.
- Jökat, W., Boebel, T., König, M. y Meyer, U. 2003. Timing and geometry of early Gondwana breakup. *Journal Geophysical Research* 108 (B9): 2428, doi:10.1029/2002JB001802.
- Jourdan, F., Féraud, G., Bertrand, H., Kampunzu, A.B., Tshoso, G., Watkeys, M.K. y Le Gall, B. 2005. Karoo large igneous province: Brevity, origin, and relation to mass extinction questioned by new <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age data. *Geology* 33(9): 745-748.
- Kay, S.M. 1993. Late Paleozoic tectonics in Southern South America: a global perspective. *Douzième Congrès International de la stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien, Comptes Rendus I*: 109-122, Buenos Aires.
- Kay, S.M. y Ramos, V.A. 1996. El magmatismo cretácico de las Sierras de Córdoba y sus implicancias tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 453-464, Buenos Aires.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology* 17(4): 324-328.
- Katz, H.R. 1963. Revision of Cretaceous Stratigraphy in the Patagonian Cordillera of Última Esperanza, Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 47(3): 506-524.
- Köning, M. y Jökat, W. 2006. The Mesozoic breakup of the Weddell Sea. *Journal of Geophysical Research* 111: B12102, doi:10.1029/2005JB004035.
- Kramer, W., Siebel, W.M., Romer, R., Haase, G., Zimmer M. y Ehrlichmann, R. 2005. Geochemical and isotopic characteristics and evolution of the Jurassic volcanic arc between Arica (18°30'S) and Tocopilla (22°S), North Chilean Coastal Cordillera. *Chemie der Erde* 65: 47-68.
- Lacassie, J.P. 2003. Estudio de la proveniencia sedimentaria de los complejos metamórficos de los Andes Patagónicos (46°-51° Lat S) mediante la aplicación de redes neuronales e isótopos estables. Tesis de Doctorado, Universidad de Chile, (inédita), 204 p., Santiago.
- 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): 152-171.
- Legarreta L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. *International Association of Sedimentology, Special Publication* 12: 429-450, London.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. 1. Facies sedimentarias. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29(3): 399-416.
- Lizuain, A. y Silva Nieto, D. 1996. Estratigrafía Mesozoica del Río Chubut Medio (Sierra de Taquetrén), Provincia del Chubut. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 479-494, Buenos Aires.
- Maceda, R. y Figueroa, D. 1995. Inversion of the Mesozoic Neuquén rift in the Malargüe

- fold-thrust belt, Mendoza, Argentina. En Tankard, A.J., Suárez, R. y Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 369-382.
- Marinovic, N. y García, M. 1999. Hoja Pampa Unión, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 9 (escala 1:100.000), Santiago.
- Martin, M., Clavero, J. y Mpodozis, C. 1999. Late Paleozoic to Early Jurassic tectonic development of the high Andean Principal Cordillera, El Indio Region, Chile (29-30°S). *Journal of South American Earth Sciences* 12: 33-49.
- Moscoso, R., Nasi, C. y Salinas, P. 1982. Hoja Vallenar y parte norte de la Hoja La Serena, regiones de Atacama y Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile (1:250.000), 100 p., Santiago.
- Mosquera, A. 2002. Inversión tectónica jurásica inferior en el sector central de la dorsal de Huíncul, Area Los Bastos. V° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Electronic files, Mar del Plata.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Basin. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.) *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S latitude)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 97-124.
- Mpodozis, C. y Cornejo, P. 1988. Hoja Pisco Elqui: Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile (1: 250.000) 163 p., Santiago.
- Mpodozis, C. y Cornejo, P. 1997. El rift Triásico-Sinemuriano de Sierra Exploradora, Cordillera de Domeyko (25-26°S): asociaciones de facies y reconstrucción tectónica. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 550-554, Antofagasta.
- Mpodozis, C. y Rojas, L. 2006. Orogénesis en los Andes Patagónicos Australes de Tierra del Fuego: cierre de una "Cuenca Marginal" o colisión intracontinental? 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 283-286, Antofagasta.
- Mpodozis, C. y Ramos, V.A. 1990. The Andes of Chile and Argentina. En Ericksen, G.E., M.T. Cañas Pinochet y J.A. Reinemud (eds.) *Geology of the Andes and its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources*, Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series 11: 59-90, Houston.
- Mukasa, S.B. y Dalziel, I.W.D. 1996. Southernmost Andes and South Georgia island, north Scotia Ridge: zircon U-Pb and muscovite Ar/Ar age constraints on tectonic evolution of southwestern Gondwanaland. *Journal of South American Earth Sciences* 9: 349-365.
- Munizaga, F., Maksae, V., Fanning, C.M., Giglio, S., Yaxley, G. y Tassinari, C. 2008. Late Paleozoic-Early Triassic magmatism on the western margin of Gondwana: Collahuasi area, Northern Chile. *Gondwana Research* 13: 407-427.
- Murphy, J.B., Nance, R.D. y Cawood, P.A. 2008. Contrasting modes of supercontinent formation and the conundrum of Pangea. *Gondwana Research* (en prensa).
- Naranjo, J.A. y Puig, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 62-63 (1: 250.000), 140 p., Santiago.
- Nelson, E., Bruce, B., Elthon, D., Kammer, D. y Weaver, S. 1988. Regional lithologic variations in the Patagonian batholith. *Journal of South American Earth Sciences* 1(3): 239-247.
- Nielsen, S. 2005. The Triassic Santa Juana Formation at the lower Biobío River, south central Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 547-556.
- Nullo, F.E. 1983. Descripción geológica de la Hoja 45c Pampa de Agnia, provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 199: 1-94, Buenos Aires.
- Olivero, E. y Martinioni, D. 2001. A Review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 175-188.
- Oliveros, V., Féraud, G., Aguirre, L., Fornari, M. y Morata, D. 2006. The Early Andean Magmatic Province (EAMP): 40Ar/39Ar dating on Mesozoic volcanic and plutonic rocks from the Coastal Cordillera, Northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 157: 311-330.
- Oliveros, V., Morata, D., Aguirre, L., Féraud, G. y Fornari, G. 2007. Jurassic to Early Cretaceous subduction-related magmatism in the Coastal Cordillera of northern Chile (18°30'-24°S): geochemistry and petrogenesis. *Revista Geológica de Chile* 34(2): 209-232.
- Olsen, P.E. 1997. Stratigraphic record of the early Mesozoic breakup of Pangea in the Laurasia-Gondwana rift system. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* 25: 337-401.
- Page, R. y Page, S. 1994. Petrología y significado tectónico del Jurásico volcánico del Chubut central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48(1): 41-58.
- Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. 1995. Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters* 134: 23-26.
- Pankhurst, R., Leat, P.T., Sruoga, P., Rapela, C.W., Márquez, M., Storey B.C. y Ryley, 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: 113-136.
- Pankhurst, R.J., Weaver, S.D., Hervé, F. y Larrondo, P. 1999. Mesozoic-Cenozoic evolution of the North Patagonian batholith in Aysén, southern Chile. *Journal of the Geological Society* 156: 673-694, London.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M. y Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76: 235-257.
- Panza, J.L., 1995. Hoja Geológica 4969-I-II, Bahía Laura, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 214: 1-84, Buenos Aires.
- Plószkiewicz, J.V. 1987. Descripción de la Hoja 47c Apeleg, provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 204: 1-98, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción Geológica de la Hoja 47 a b, Lago Fontana, Provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 183: 1 130, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1999a. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22(3): 183-190.
- Ramos, V.A. 1999b. Evolución tectónica de la Argentina. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 715-784, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 2004. Tectonics of the southernmost Andes: a comparison between the Patagonian and the Fuegian Cordilleras. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 45(2 supplement): 1-10, Trieste.
- Ramos, V.A. 2008. Patagonia: A Paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth*

- Sciences 26(3) (en prensa).
- Ramos, V.A. y Alemán, A. 2000. Tectonic evolution of the Andes. En Cordani, U.J. Milani, E.J., Thomaz Filho, A. y Campos, D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America, 31<sup>o</sup> International Geological Congress, 635-685, Río de Janeiro.
- Ramos, V.A. y Kay, S.M. 1991. Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En Harmon, R.S. y Rapela, C.W. (eds.) Andean Magmatism and its Tectonic Setting, Geological Society of America, Special Paper 265: 79-91
- Ramos, V.A., Niemeyer, H. Skarmeta, J. y Muñoz, J. 1982. The magmatic evolution of the Austral Patagonian Andes. *Earth Science Reviews* 18(3-4): 411-443.
- Rapela, C.W. y Alonso, G. 1991. Composición litológica y geoquímica de la Patagonia Central. 6<sup>o</sup> Congreso Geológico Chileno (Viña del Mar), Actas 5: 236, Santiago.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1999. El magmatismo gondwánico y los ciclos fanerozoicos. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 373-376, Buenos Aires.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Fanning, C.M. y Hervé, F. 2005. Pacific subduction coeval with the Karoo mantle plume: the Early Jurassic Subcordilleran Belt of northwestern Patagonia. En Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. y Pankhurst, R.J. (eds.) *Terrane Accretion Processes at the Pacific Margin of Gondwana*. The Geological Society, Special Publication 246: 217-239, London.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Dahlquist, J.A., Baldo, E.G., Casquet, C. y Galindo, C. 2008. Revisiting accretionary history and magma sources in the Southern Andes: Time variation of "typical Andean granites". 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 427-430.
- Regairaz, A.C. 1970. Contribución al conocimiento de las discordancias en el área de las Huayquerías, Mendoza, Argentina. 4<sup>o</sup> Jornadas Geológicas Argentinas (Mendoza, 1969), Actas 2: 243-254, Buenos Aires.
- Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot M. y Perrin M. 1992. The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous Boundary. *Science* 258 (5084): 975-979.
- Reutter, K.J. 1974. Entwicklung und Bauplan der chilenischen Hochkordillere in Bereich 29<sup>o</sup> südlicher Breite. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 146(2): 153-178.
- Riccardi, A. 1983. The Jurassic of Argentina and Chile. En Moullade, M. y Nairn, A.E.M. (eds.) *The Phanerozoic geology of the world II, The Mesozoic B*, Elsevier, 8: 201-263, Amsterdam.
- Riccardi, A.C. e Iglesia Llanos, M.P. 1999. Primer hallazgo de amonites en el Triásico de Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(3): 298-300.
- Riccardi, A.C. y Roller, E.O. 1980. Cordillera Patagónica Austral. En Turner, J.C.M. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Segundo Simposio, Academia Nacional de Ciencias 2: 1173-1306, Córdoba.
- Riccardi, A.C., Gulisano, C.A. Mojica, J., Palacios, O., Schubert C. y Thomson, M.R.A. 1992. Western South America and Antarctica. En Westermann, G.E.G. (ed.) *The Jurassic of the Circum Pacific*, Cambridge University Press, 122-161.
- Rivano, S. y Sepúlveda, P. 1991. Hoja Illapel. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 69, (1:250.00), 132 p., Santiago.
- Robbiano, J.A., Arbe, H. y Ganguí, A. 1996. Cuenca Austral marina. En Ramos, V.A. y Turic, M.A. (eds.) *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*. Asociación Geológica Argentina e Instituto Argentino del Petróleo, 323-341, Buenos Aires.
- Santos, J.O.S., Wildbner, W., Hatmann, W., Griffin, L.A. y McNaughton, W.L. 2008. Lower Cretaceous U-Pb age and Grenvillian Hf Model-age of the large Serra Geral Magmatism of Paraná basin, South America. 6<sup>o</sup> South American Symposium on Isotope Geology, Book of Abstracts: 90, Bariloche.
- Scheuber, E. y Andriessen, P.A.M. 1990. The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault northern Chile. *Journal of Structural Geology* 413: 243-257.
- Scheuber, E., Bogdanic, T., Jensen, A. y Reutter, K.-J. 1994. Tectonic development of the North Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. En Reutter, K.-J., Scheuber, E. y Wigger, P.J. (eds.) *Tectonics of the Southern Central Andes*, Structure and evolution of an active continental margin, 121-139, Springer-Verlag.
- Segerstrom, K. 1968. *Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 24, 58 p., Santiago.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornary, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Nerudeau, D., Cárdenas, J., Rosas S. y Jiménez, N. 2002. Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics* 345(1-4): 153-181.
- Silvestro, J. y Zubiri, M. 2008. Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la dorsal Neuquina (39°S) - Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(1): 49-64.
- Stern, C. 1980. Geochemistry of Chilean Ophiolites: Evidence for the compositional evolution of the mantle source of back-arc basin basalts. *Journal of Geophysical Research* 85(B2): 955-966.
- Suárez, M. y De la Cruz, R. 2001. Jurassic to Miocene K-Ar dates from eastern central Patagonian Cordillera plutons, Chile (45°-48°S). *Geological Magazine* 138(1): 53-66.
- Storey, B. y Mair, B.F. 1982. The composite floor of the Cretaceous back-arc basin of South Georgia. *Journal Geological Society* 139: 729-737, London.
- Suárez, M. y Márquez, M. 2007. Cuenca de retroarco toarciana en Patagonia central (Chubut), Argentina: cierre, migración del arco y ambiente tectónico durante el Jurásico Medio. *Revista Geológica de Chile* 34(1): 63-79.
- Suárez, M. y Petigrew, T.H. 1976. An upper Mesozoic island-arc-back-arc basin system in the Southern Andes and South Georgia. *Geological Magazine* 113 :305-328.
- Suárez, M., Bell, C. M. y Hutter, T. 1994. Lower Triassic lacustrine sediments in La Coipa area, Atacama, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 8(1): 9-15.
- Suárez, M., Demant, A. y de la Cruz, R. 1999. Volcanismo calcoalcalino al W de provincia Chon Aike. Grupo Ibañez, Jurásico superior - Cretácico inferior temprano, Aysén, Chile (54°30' - 46°30'S). 14<sup>o</sup> Congreso Geológico Argentino (Salta), Actas 2: 186-189.
- Thomas, C.A. 1949. *Geology and petroleum*



- exploration in Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 33: 1555-1578.
- Ugarte, F.R. 1966. La cuenca carbonífera-jurásica de la Patagonia meridional. *Universidad de la Patagonia, San Juan Bosco*, 2, Ciencias Geológicas 1(1): 37-68, Comodoro Rivadavia.
- Uliana, M.A. y Biddle, K.T. 1987. Permian to Late Cenozoic evolution of Northern Patagonia: main tectonic events, magmatic activity and depositional trends. En McKenzie, G.D. (ed.) *Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph 40: 271-286.
- Uliana, M.A. y Legarreta, L. 1993. Hydrocarbons habitat in a Triassic-to-Cretaceous sub-Andean setting: Neuquén basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geologists* 16(4): 397-420.
- Vázquez, P. y Franz, G. 2008. The Triassic Cobquecura Pluton (Central Chile): An example of a fayalite bearing A-Type intrusive massif at a continental margin Tectonophysics (en prensa).
- Vergani, G., Tankard, A.J. Belotti, H.J. y Welsnik, H.J. 1995. Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén basin. En Tankard, A.J., Suárez Sorucro R. y Welsnik, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Vergara, M., López-Escobar, L. y Cancino, A. 1991. The Pichidangui Formation, some geochemical characteristics and tectonic implications of the Triassic marine volcanism in central Chile (31° 55' to 32°20'S). En Harmon, R.S. y Rapela, C. (eds) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*, Geological Society of America, Special Paper 265: 93-98.
- Vergara, M., Levi, B. y Nyström, J.O. 1995. Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension and subsidence in the Coast Range of central Chile. *Geological Society of America Bulletin* 107(12): 1427-1440.
- Vicente, J.C. 1974. Geological cross section of the Andes between Santiago and Mendoza (33° Lat. S.) Guide Book, Excursion D-5, International Association of Volcanology and Chemistry of Earth's Interior, Symposium Andean and Antartarctic problems, 1-10, Santiago.
- Vicente, J.C. 1976. Exemple de volcanisme initial euliminaire: les complexes albitophyriques neo-triasiques et méso-jurassiques du secteur cotier des Andes Méridionales centrales (32° a 33° L. Sud). En Symposium on Andean and Antarctic Volcanology Problems, IAVCEI, Proceedings 267-329, Santiago.
- Vicente, J.C. 2005. Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean Basin: pattern of transgression and localization of main straits through the magmatic arc. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(1): 221-250.
- Vicente, J.C. 2006. Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean Basin: pattern of regression and general considerations on main features. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(3): 408-437.
- Wellkner, D., Arévalo, C. y Godoy, E. 2006. Geología del área de Freirina-El Morado. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 100 (1:100.000), 50 p., Santiago.
- Willner, A.P., Hervé, 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. *Journal of Petrology* 41(3): 309-330.
- Willner, A.P., Hervé, F., Thomson, S.N. y Massonne, H.-J. 2004. Converging PT-paths of Mesozoic HP-LT metamorphic units (Diego de Almagro Island, Southern Chile, 51°30'S): Evidence for juxtaposition during late shortening of an active continental margin. *Mineralogy and Petrology* 81: 43-84.
- Wilson, T. J., 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: Stratigraphic record from Ultima Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin* 103: 98-111
- Wysoczanski, R.J., Gibson, R.J. e Ireland, T.R. 1997. Detrital zircon age patterns and provenance in late Paleozoic-early Mesozoic New Zealand terranes and development of the paleo-Pacific Gondwana margin. *Geology* 25: 939-942.
- Zilli, N., Pedrazzini, M. y Peroni, G. 2002. La cuenca Austral. En Haller, M.J. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*, 15° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 607-664.
- Zonenshayn, L.P., Savostin, L.A. y Sedov, A.P. 1984. Global paleogeographic reconstructions for the last 160 million years. *Geotectonics* 18: 181-195.

Recibido: 3 de septiembre, 2008

Aceptado: 3 de octubre, 2008