

LOS RIFTS DE RAWSON Y VALDÉS: TECTÓNICA *PRE-BREAKUP* Y CONTROL ESTRUCTURAL GONDWÁNICO

Pedro Kress¹, Ofelia Silio¹, Emilio Rojas Vera² y Federico Späth³

1: YPF S.A., Exploración *Offshore*. pkress@ypf.com; ofelia.silio@ypf.com

2: YPF S.A., Geología de Desarrollo. emilio.a.rojas@ypf.com

3: YPF S.A., Geofísica de Desarrollo. federico.spath@ypf.com

Palabras clave: Rawson-Valdés, Estructura, Estratigrafía, Pre-breakup, Zona de Fractura del Colorado

ABSTRACT

The Rawson and Valdés rifts, located under the shelf south of the Río Negro High, that separates them from the Colorado Basin, and north of the Golfo San Jorge Basin, record an extensional history before the breakup of the South Atlantic. The basins were first identified by gravity and seismics (refraction and reflection) in the late 1960's. The wildcat YPF.Ch. PV.es-1 confirmed the existence of sedimentary basins off the coast, east of the Valdes peninsula. Regional seismic grids recorded in the 1970's and 1990's identified several NNW-SSE oriented grabens (Rawson Basin), with three segments bearing distinctive features. The Valdés Basin represents a set of more isolated and less continuous grabens, although with a similar orientation. Structural features of the Rawson Basin comprise a broad basin in the NNW, with a depth to basement exceeding 6 km, segmented by horst and graben structures, along an SSW dipping master detachment, known as the Ameghino subbasin. In the SSE, the so called southern subbasin is built up by narrower (20-30 km width) symmetrical basins, with a depth to basement of 2-3 km. Both subbasins are separated by a lineament with oblique tectonic features and the presence of intrusives and volcanoes. It is proposed to link up this lineament with the Colorado Fracture Zone, segmenting the SDRs developed underneath the shelf edge and the Jagüelito shear zone, defined onshore. The latter is associated to the Gondwana orogen and was reactivated during Middle Triassic times (243 Ma). Structural differences across the Rawson Basin could indicate that this long living feature controlled both the extensional deformation of the rift as well as later, affected the northwards propagation of the first segment precluding the breakup of the South Atlantic Volcanic Divergent Margin. In the Ameghino subbasin, the wildcat Tayra investigated the existence of a potential petroleum system on a structural high and turned out to be a dry hole. The late synrift infill drilled across, was built up of fluvial red beds without age-diagnostic elements. Onshore thermochronological AFT samples close to the Valdés Basin yielded cooling data between 200 and 160 Ma, which would indicate a lower and upper limit for tectonic stripping during crustal extension. After breakup, the area was exposed to exhumation. During the latest Cretaceous, the Valdés Basin started to subside, while the Rawson basin remained devoid of sedimentation until Late Early Miocene times, when the present shelf was flooded for the first time.

INTRODUCCIÓN

Al igual que las Cuencas del Salado y del Colorado, históricamente, las Cuencas de Rawson y de Valdés han sido interpretadas como un conjunto de grábenes vinculados a la apertura del Atlántico Sur (Burke, 1976; Bianchi, 1984). Sin embargo, entre éstas no existe una vinculación directa con la extensión cortical que finalmente dio lugar a la ruptura de corteza continental y generación de corteza oceánica. Mientras que las Cuencas de Rawson y de Valdés se disponen con orientación NNW-SSE, las fracturas continentales que dieron lugar a las primeras efusiones del margen magmático divergente y paralelas a la futura zona de transición entre corteza continental y oceánica tienen una orientación que varía de N-S a NNE-SSW. Por lo tanto, es probable que el origen de las cuencas se vincule a una zona de debilidad cortical, reactivada extensionalmente en el contexto general del desmembramiento de Gondwana (Uliana y Biddle, 1988; Uliana *et al.* 1989; Ramos, 1996; Lovecchio *et al.* 2020), sin una vinculación mecánica con la ruptura continental posterior. Hasta la fecha, no existen dataciones que permitan fijar con exactitud el tiempo del inicio de la deformación extensional, aunque sí algunas evidencias indirectas, en línea con los eventos tectónicos determinados a escala regional. Por otro lado, tampoco es claro, en qué momento las Cuencas de Rawson y Valdés pasaron a un estadio de *postrift*. A juzgar por la información sísmica, el espesor de *sag* es muy reducido, lo cual puede deberse al escaso atenuamiento del manto litosférico y consecuente subsidencia o erosión durante la exhumación del margen producto del ajuste flexural asociado a la ruptura continental.

Existe una gran incertidumbre sobre el relleno sedimentario de los grábenes, ya que existen solo dos pozos que atravesaron parcialmente a estas secuencias. Hasta la fecha, en términos de prospectividad de hidrocarburos los resultados no han sido positivos, aunque dada la escasa cantidad de información disponible, la capacidad predictiva de los datos existentes es muy limitada.

Con el objetivo de realizar una revisión de la cuenca en el marco de un estudio integral de la plataforma continental argentina, se han interpretado más de 200.000 km de secciones sísmicas 2D, la mayoría de ellas de tipo regional y de calidad y profundidad de iluminación muy variable. No obstante, el mallado de mayor densidad presente en particular sobre la Cuenca de Rawson, pudo ser reinterpretado, sobre todo en secciones 2D SPAN de ION registradas en 2008, que mostraron por primera vez la estructura profunda de la cuenca. Por otro lado, las líneas de Spectrum (TGS_Nopec) cubren el extremo sudoriental de la cuenca, localizada por debajo del talud actual. La información sísmica fue combinada con el dato gravimétrico y magnetométrico satelital.

BASE DE DATOS Y ANTECEDENTES EXPLORATORIOS

La Fig.1 muestra la base de datos sísmica y de pozos existente. Las primeras investigaciones datan de principios de la década del sesenta con registros sísmicos de refracción y reflexión ad-

quiridos por Lamont (Universidad de Columbia), junto con el Servicio de Hidrografía Naval (Ludwig *et al.* 1968). Los mismos estuvieron destinados a identificar cuencas sedimentarias por debajo de la plataforma continental a escala regional. Simonato (1963) presenta un estudio con propuestas de investigar posibles cuencas al norte de la Cuenca del Golfo San Jorge a partir de pruebas de refracción sísmica. Sin embargo, recién en 1973 se registró sísmica en la Península Valdés con la cual se ubicó un pozo de estudio para investigar la columna sedimentaria y en 1976 se perforó el pozo de estudios YPF.Ch.PV.es-1 (Península Valdés).

El pozo se ubica al sudeste de la Península Valdés (Punta Delgada), en el flanco occidental de la Cuenca de Valdés y alcanzó una profundidad final de 2754 mbbp. Se encontraron alrededor de 900m de sedimentos terciarios marinos con abundantes restos fósiles, cuya bioestratigrafía fue revisada en diversas oportunidades. Estos trabajos asignaron la fauna de foraminíferos al Mioceno medio, tardío, temprano, Oligoceno y Paleoceno temprano (Caramés *et al.* 2004; Guler *et al.* 2021 y trabajos allí citados), si bien Masiuk *et al.* (1976) también menciona presencia del Eoceno. A partir de 900 mbbp, este pozo investigó 1000 m de columna mesozoica de ambiente continental con gran desarrollo de arenas con buenas propiedades petrofísicas. Esta columna se considera análoga a las secuencias del Grupo Chubut, aunque no se cuenta con elementos bioestratigráficos datables. Finalmente, se atravesaron 800 m de niveles pelíticos paleozoicos similares a los aflorantes en la Sierra Grande de Río Negro. Recientemente Lovecchio *et al.* (2022) comprobaron una edad emsiana (Devónico) del basamento mediante análisis de circones detríticos en testigos coronas.

En cuanto a la evaluación hidrocarburífera, se realizaron tres ensayos a pozo abierto, recuperándose en uno de ellos fluido inyectado con rastros de hidrocarburo liviano a medio proveniente del Paleozoico. Sin embargo, un análisis geoquímico posterior no logró comprobar presencia de hidrocarburos, por lo que no se descarta que el hidrocarburo pudiera ser un contaminante antrópico. Por último, se recuperó un testigo lateral del Paleozoico con impregnación parcial de hidrocarburos livianos.

Con la información sísmica calibrada contra los datos del pozo se demostró que existía un incremento de espesor sedimentario hacia el este, indicando la presencia de una cuenca en el *offshore* (Mainardi *et al.* 1980). Esto impulsó la adquisición sísmica regional 2D a mediados de la década del setenta. Aunque el dato no alcanzaba a mostrar rasgos muy profundos por la configuración de los streamers utilizados, mostró la existencia de grábenes que se alineaban en sentido NNW-SSE, cuya distribución fue corroborada con gravimetría (Bianchi 1984). En general se podían diferenciar grábenes más profundos hacia el Este, lo que hoy se conoce como la Cuenca de Rawson y más someros y menos continuos hacia el sur, lo que correspondería a la Cuenca de Valdés.

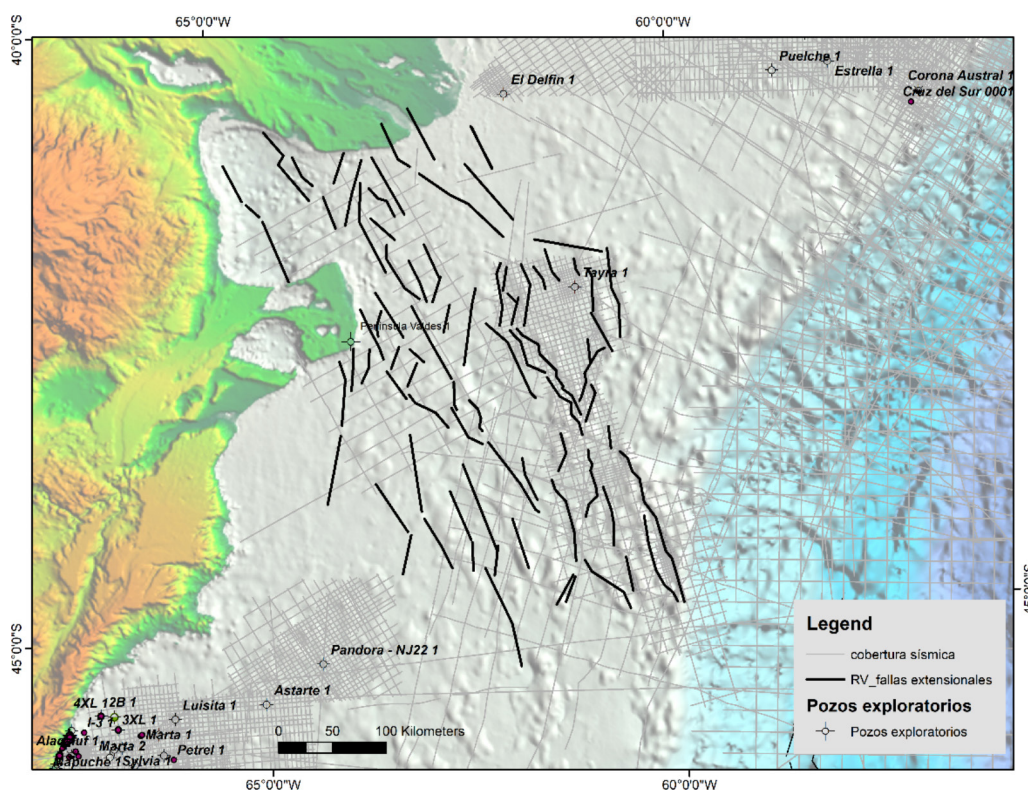


Figura 1. Cuenca de Rawson Valdés, base de datos sísmica y pozos perforados. Los trazos en negro indican las principales fallas extensionales que delimitan los grábenes y hemigrábenes del sistema de *rifts*.

A mediados de la década del ochenta, en el marco del plan Argentina, la Secretaría de Energía define tres áreas a licitar que cubrían la totalidad de los grábenes de la Cuenca de Rawson. Fueron adjudicados a un consorcio liderado por Exxon, Chevron, CAPSA e YPF, que registraron 10.000 km de Sísmica 2D y gravimetría (Otis y Schneidermann 2000). Se identificaron varias estructuras prospectables y se decidió perforar un alto estructural.

El pozo ESSO.Tayra.x-1 fue perforado por ESSO en el año 1990, ubicado en la Cuenca de Rawson en el *offshore* argentino y alcanzó una profundidad final de 2992 mbbp. El objetivo fue investigar la secuencia de areniscas y conglomerados fluviales de edad cretácica, en un alto estructural interno del hemigraben Ameghino de orientación N-S en la parte NW de la cuenca (véase sección Estructura de las Cuencas de Rawson y Valdés, más abajo). La secuencia marina terciaria posee 1300 m de espesor y su fauna indica edades miocenas, según las revisiones bioestratigráficas de Hardenbol *et al.* (1990). Por debajo de la discordancia erosiva en los 1350 m y hasta los 2900mbbp se encuentra la secuencia mesozoica. La misma está representada por arcilitas y areniscas rojizas de ambiente fluvial árido, relleno del hemigraben Ameghino. Si bien no se encontraron fósiles que permitan diagnosticar la edad de esta secuencia de *rift*, se descarta que sea paleozoica en base a dataciones radiométricas en illitas autigénicas y detríticas. Por debajo de los 2900 m y hasta la profundidad final el pozo penetró 90 m de areniscas líticas con tobas, interpretadas como la

secuencia de *pre-rift*. No se encontraron evidencias de hidrocarburos ni se penetraron niveles con potencial generador, por lo que no se realizaron ensayos a pozo abierto en este sondeo. Sin embargo, los informes geoquímicos llevados a cabo sobre el cutting sugieren existencias de posibles “cocinas” en las partes más profundas de la cuenca.

Continanzia *et al.* (2012), publican una revisión sobre las Cuencas de Rawson y Valdés, que incluye correlaciones estratigráficas entre pozos y mapeo de la base del *synrift*, presentando una vinculación de las cuencas con el margen conjugado.

MARCO REGIONAL

La Figura 2 muestra el contexto estructural de la plataforma continental argentina en una reconstrucción paleogeográfica, representativa de los inicios de apertura del Atlántico Sur. En el subsuelo de la plataforma continental argentina se preservaron los procesos extensionales que precedieron la apertura del Atlántico Sur. Al igual que las Cuencas del Colorado y del Salado, las Cuencas de Rawson y Valdés ya habían entrado en fase de *sag* cuando avanza el proceso extensional y volcánico que finalmente daría lugar a la generación de corteza oceánica.

Los *rifts* de Salado, Colorado y Rawson Valdés estarían asociados a zonas de debilidad cortical, producto de sucesivas acreciones de “terraneos” Precámbricos y Paleozoicos (Ramos, 2008). Las geometrías que controlan a estas zonas de debilidad son complejas y han dado a interpretaciones múltiples, sobre todo si se intenta integrar ambos márgenes (Pángaro y Ramos 2012; Will y Frimmel 2018; Lovecchio *et al.* 2020).

En particular, en estadios previos a la ruptura continental los grábenes de Rawson, parecen alinearse directamente con las cuencas del SE africano (grábenes de Bredasdorp, Pletmos, Gamtoos, y Algoa) cuyo origen se remonta al colapso del Cape Foldbelt en el Jurásico Inferior, entre los 180 y 200 Ma (Tankard *et al.* 2009), en el marco de una extensa faja transtensional. Si esta correlación es correcta y esta faja se extiende a lo que luego sería la placa sudamericana, las cuencas serían el resultado de esfuerzos tensionales que actúan sobre estructuras de edad Paleozoicas. González *et al.* (2020) analizan en detalle las diferentes zonas de cizalla en el Macizo Norpatagónico y proponen la existencia de una faja colisional durante el Paleozoico inferior, que luego fue retrabajado por la orogenia gondwánica y afectada por esfuerzos extensionales a partir del Triásico alrededor de los 243 Ma (González *et al.* 2014).

En este contexto, la Cuenca de Rawson se encuentra limitada al norte por el Alto de Río Negro (Urien y Zambrano 1996), mientras que hacia el sur desarrolla una relación compleja donde las fallas extensionales de la Cuenca de Valdés interfieren en alto ángulo con las fallas que limitan los grábenes de la parte nororiental de la Cuenca del Golfo San Jorge. El Alto de Río Negro representa la continuidad del Macizo Norpatagónico por debajo de la actual plataforma continental argentina. En su extremo NNW, a juzgar por la información gravimétrica la cuenca podría continuar

en tierra, a manera de depocentros aislados, con una posible vinculación con los grábenes más occidentales de la Cuenca del Colorado. Hacia el SSE, las cuencas son truncadas por la zona de transición entre corteza continental y oceánica.

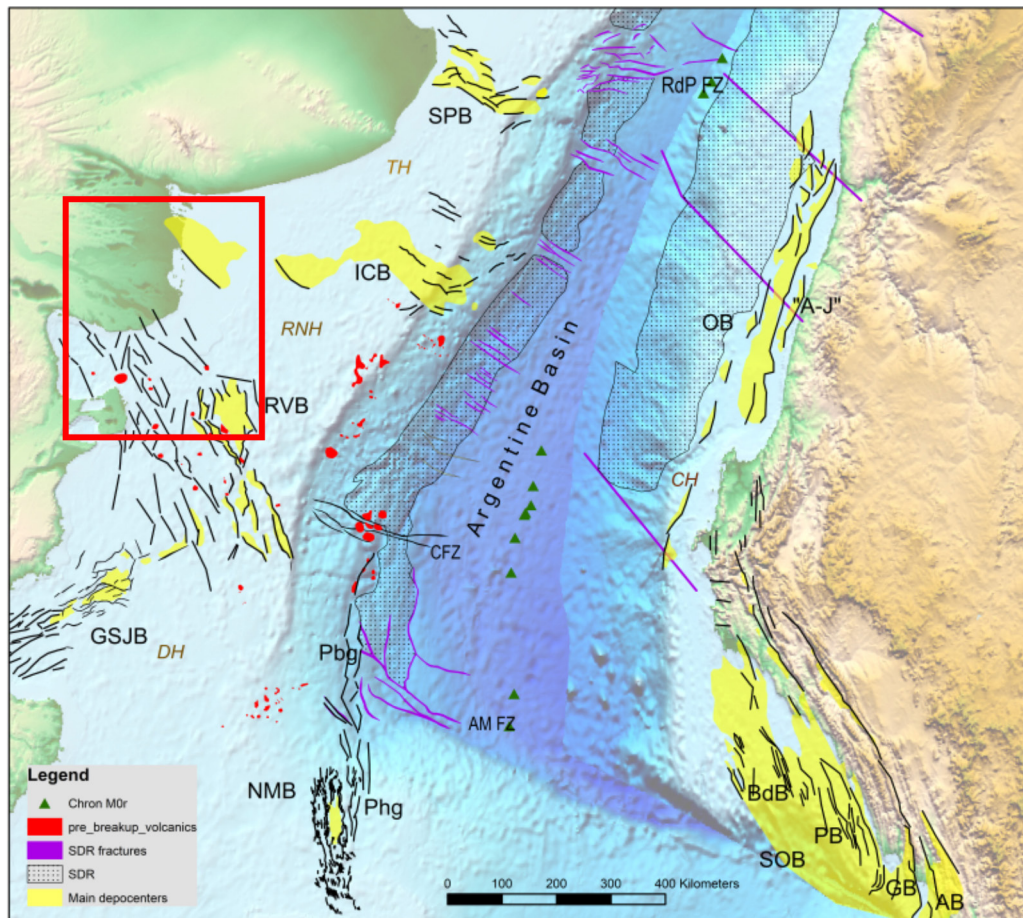


Figura 2. Marco regional de la cuenca de Rawson Valdés en el contexto del inicio de la apertura del Atlántico Sur. Reconstrucción de los estadios iniciales del Atlántico Sur alrededor de tiempos de la anomalía magnética M0 (Aptiano inferior). Topobatemía actual tomada como referencia de <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>. Los triángulos verdes son los puntos correspondientes a mediciones de la anomalía M0 (Base del Aptiano) tomados de Seton *et al.* (2014). Las abreviaturas para las diferentes cuencas son en sentido horario: OB: Cuenca de Orange; "A-J": Graben A-J Graben al este de la Cuenca de Orange principal; SOB: Cuenca Outeniqua Austral; BdB: Cuenca de Bredasdorp; PB: Cuenca de Pletmos; GB: Cuenca de Gamtoos; AB: Cuenca de Algoa; AMFZ: Zona de fractura de Agulhas Malvinas; NMB: Cuenca Malvinas Norte; Phg: Graben de Phyllis; Pbg: Graben de Piedrabuena; GSJB: Cuenca del Golfo San Jorge (*Offshore*); CFZ: Zona de fractura del Colorado; RVB: Cuenca de Rawson Valdés; RNH Alto de Río Negro ICB Cuenca Colorado interior; TH Alto de Tandilia SPB Cuenca de Salado-Punta del Este. Modificado de Kress *et al.* (2021)

BASAMENTO E INTRUSIVOS MAGMÁTICOS

La Cuenca de Rawson se origina a partir de esfuerzos extensionales que reactivan zonas de debilidad preexistentes. La continuación de este basamento en el continente ha sido descrita por

González *et al.* (2014, 2020), donde se han propuesto evidencias de sobrecorrimientos y colisiones durante el Paleozoico.

La secuencia estratigráfica aflorante en el continente, al igual que la complejidad tectónica ha sido resumida recientemente por González *et al.* (2020). El basamento de las Cuencas de Rawson y de Valdés fue investigado por el pozo YPF.Ch.PV.es-1 (Península de Valdés). Las metamorfitas de bajo grado poseen circones que arrojaron una edad máxima de sedimentación de 406 Ma correspondiente al Emsiano/Devónico Inferior (Lovecchio *et al.* 2022).

En las secciones sísmicas, el basamento se diferencia de la cobertura sedimentaria por tener una respuesta acústica más homogénea. En algunas secciones en la parte norte de la Cuenca de Valdés se observan geometrías de reflectores que podrían interpretarse como metamorfitas plegadas, con ejes de pliegues orientados NNW-SSE. Por otro lado, se observan una serie de lineamientos con componente de rumbo con una orientación NW-SW, que precederían al proceso extensional (Fig. 3).

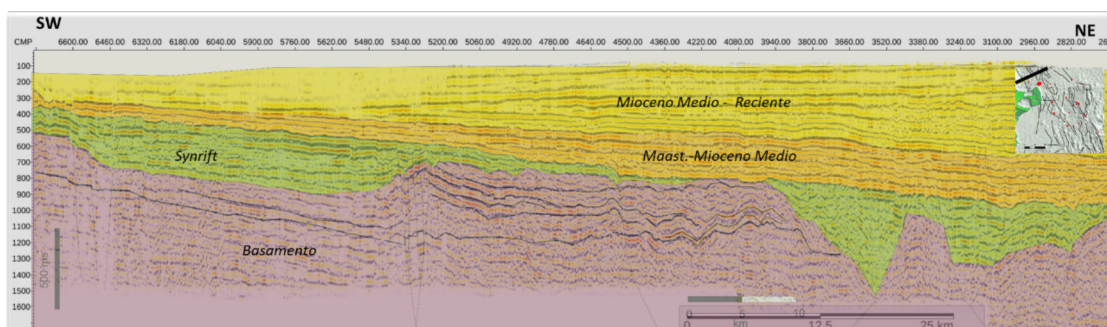


Figura 3. Sección sísmica ubicada en el norte de los grábenes de la Cuenca de Valdés que muestra las características del basamento, una secuencia más laminada y de mayor reflectividad interpretada como *synrift* y la cobertura Cretácica y Cenozoica. Dentro del basamento se reconocen estratos plegados que podrían corresponder a metamorfitas paleozoicas. Los ejes de estas estructuras tienen una orientación aproximada NNW-SSE. En la parte central de la figura se reconoce una estructura (tipo pop-up) interpretada como de origen transcurrente y de orientación NW-SE.

Dentro de basamento se observan geometrías con amplitudes más fuertes que coinciden con anomalías positivas magnéticas y se interpretan como intrusivos. Ante la falta de muestras, la edad de éstos es muy difícil de determinar y su génesis puede corresponder a eventos magmáticos paleozoicos (arco magmático septentrional, Ramos 2008), con edades de entre 300 y 260 Ma bien jurásicos (Grupo Marifil). Por otro lado, existen rasgos interpretados como construcciones volcánicas localizados sobre los *plays* que separan a los grábenes (Fig. 4). Estos aparatos volcánicos se diseminan en una franja que podría representar un lineamiento que vincula a la zona de fractura del Colorado con la zona de fractura de Jagüelito (ver sección Discusión).

APERTURA DE LA CUENCA Y RELLENO SEDIMENTARIO

La edad correspondiente al inicio de los depósitos de *synrift* se ha vinculado al marco regional extensional relacionado con los estadios iniciales de la apertura de Gondwana entre el Jurásico

Medio y el Jurásico Superior (Uliana y Biddle 1988). Patrones extensionales semejantes han sido descritos para la cuenca de Cañadón Asfalto (Figari *et al.* 2015; Figari *et al.* 2020) Sin embargo, estudios termocronológicos sobre apatitas del Granito Arroyo Salado (Ordovícico), indica una trayectoria de enfriamiento que se inicia alrededor de los 200 Ma y se estabiliza a los 160 Ma (Lateandes, informe interno para YPF). Teniendo en cuenta de que se trata de las limitaciones propias de una sola muestra, si este enfriamiento pudiese correlacionar con la exhumación cortical del *rift* y posterior extensión, el proceso de *rifting* de las Cuencas de Valdés y de Rawson habría ocurrido principalmente durante el Jurásico Inferior y Medio. A partir del Jurásico Superior disminuye el gradiente y la roca registra un calentamiento inferior a los 80°C, de modo que se podría especular que a partir de ese instante, la cuenca entró en un estadio de *postrift/sag*. Sin embargo, el enfriamiento siguió con un gradiente sensiblemente menor hasta la actualidad (Fig. 5).

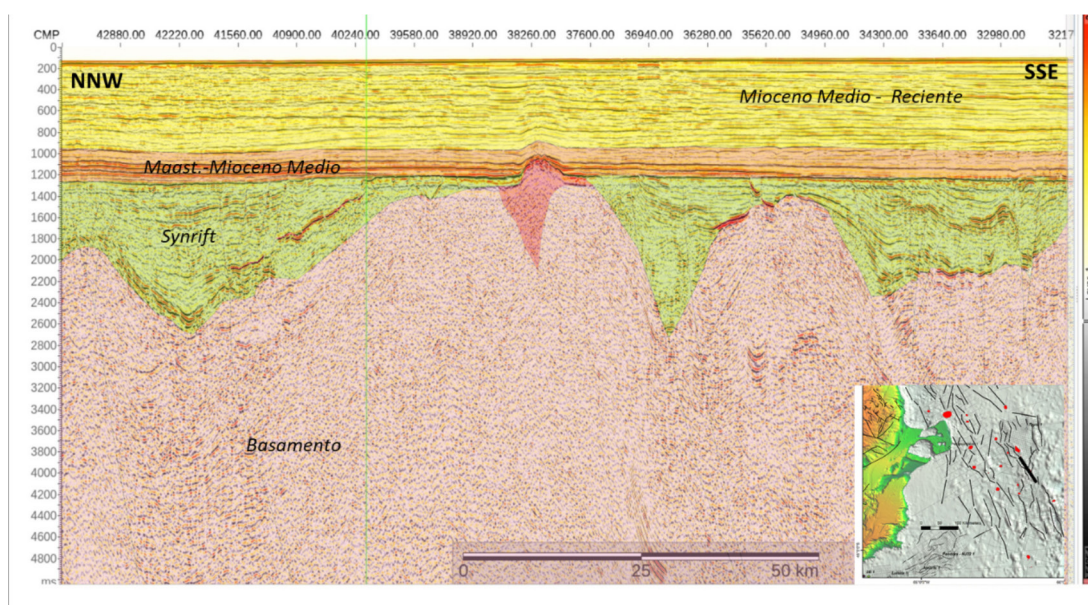


Figura 4. Intrusivos y construcciones volcánicas (resaltados en rojo oscuro) en la parte central de la Cuenca de Rawson. Dentro del *synrift* se observan reflectores fuertes que son interpretadas como intrusivos con características similares al Complejo Volcánico Sedimentario (Grupo Lonco Trapial, Jurásico Superior s.l.). Por otro lado, sobre los altos estructurales se observan construcciones volcánicas probablemente más jóvenes. Estos cuerpos siguen una alineación NW-SE, similar a la zona de fractura del Colorado. Ver texto para más detalles Escala vertical en ms.

La figura 7 muestra un cuadro cronoestratigráfico simplificado que relaciona las Cuencas de *rift* de Rawson y Valdés con la Cuenca Argentina, separados por el Alto de Río Negro, con una orientación aproximada SW-NE. En la misma se esquematiza el rango temporal durante el cual habría ocurrido por un lado el *rifting* de la Cuenca de Rawson y de Valdés (ambas consideradas como un desarrollo sincrónico) y los procesos posteriores registrados como depósitos post-breakup. Se indica además el dato del basamento Devónico en la profundidad final del pozo YPF.Ch.PV.es-1 y las edades regionales para los arcos magmáticos Pérmicos (Ramos, 2008) y el Complejo Marifil

(Zaffarana *et al.* 2020). En base a lo descrito más arriba, se limita tentativamente el intervalo de *rifting* al Jurásico Inferior y Medio a unos 40 Ma. La secuencia de *sag* fue poco espesa, lo cual explicaría el escaso atenuamiento cortical que se observa en la señal gravimétrica, y fue probablemente erosionada por exhumación antes de la discordancia de *break-up* relacionado con la apertura del Atlántico Sur.

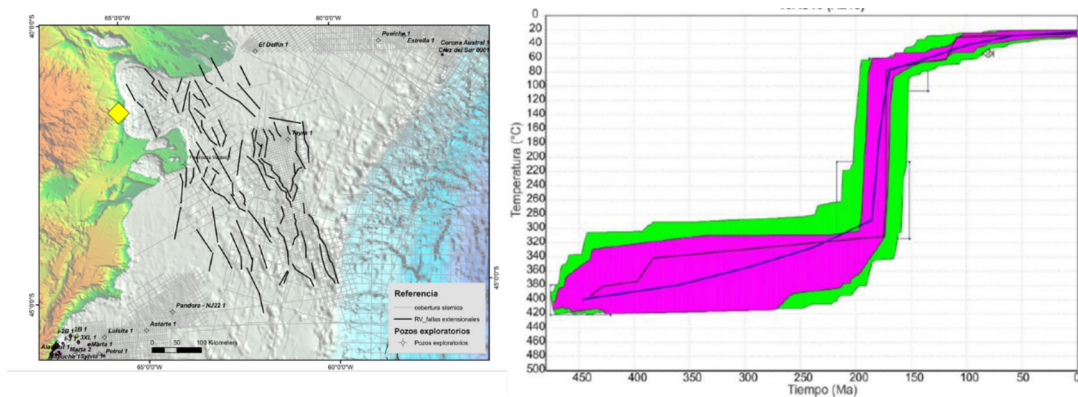


Figura 5. Mapa de ubicación y resultados termocronométricos sobre AFT del granito Arroyo Salado que podría ser tomado como un indicador de la edad del proceso *rifting* de las Cuencas de Rawson y de Valdés. (de Kress *et al.*, 2021; 2022). El mapa indica las principales fallas extensionales en negro. El rombo amarillo la posición de la muestra.

No se disponen de dataciones del relleno del *synrift* ni *sag*. No obstante, sísmicamente se puede diferenciar en la mayoría de los grábenes al menos 4 fases de relleno, aunque no es posible asegurar si estos eventos son sincrónicos entre varios grábenes aislados por altos estructurales (Fig. 6).

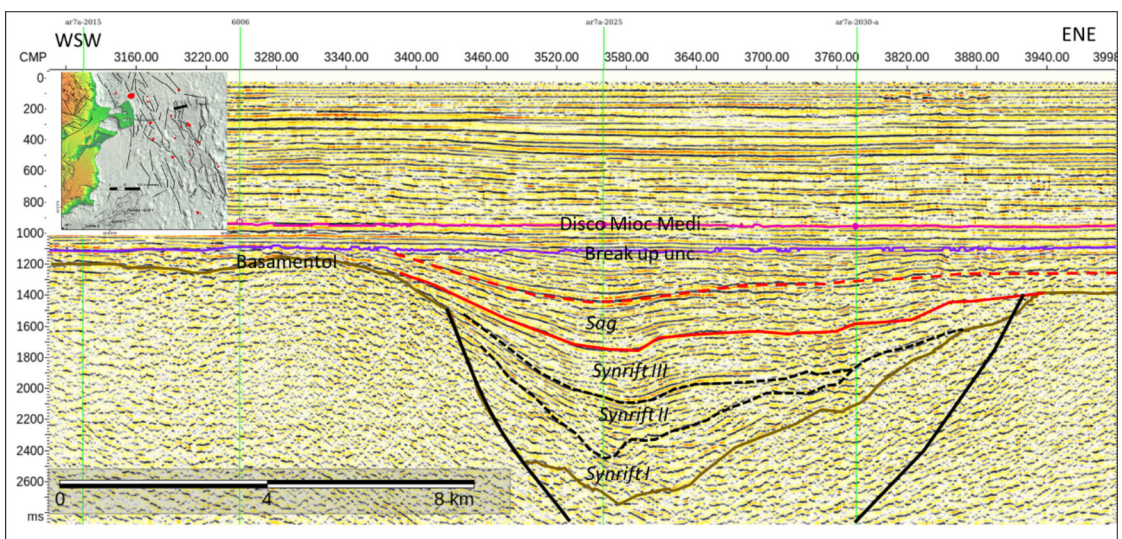


Figura 6. Arquitectura depositacional interna de los grábenes de Rawson. Si bien el patrón se puede identificar en la mayoría de los depocentros, no se puede concluir que los rellenos asociados sean sincrónicos. La ubicación de la línea corresponde a la línea negra en el mapa en el ángulo superior izquierdo. Ver texto para más detalles. Sección en tiempo TWT (ms)

- *Synrift I*: relleno inicial, caracterizado por fuertes amplitudes, discontinuas, limitadas a las partes más profundas de la cuenca. Se interpreta que estas facies sísmicas podrían representar condiciones de cuenca “*overfilled*” con alternancia de depósitos de abanicos aluviales y secuencias lacustres. Acomodación fuertemente controlada por fallamiento extensional.
- *Synrift II*: relleno caracterizado por amplitudes fuertes, lateralmente más continuas, aunque mayormente limitadas a la extensión del *Synrift I*. Se interpreta como una fase de menor aporte clástico, con establecimiento de sistemas lacustres efímeros o perennes. Acomodación controlada por fallamiento extensional
- *Synrift III*: marca una etapa de expansión mayor del ámbito deposicional, con reflectores lateralmente continuos hacia el depocentro y patrones sísmicos más caóticos hacia el borde. Se interpreta como una fase de mayor aporte clástico relacionado con una reactivación extensional, que no llega a colmatar a la cuenca.
- *Sag*: Por encima de una discordancia claramente identificable en los centros de los grábenes pero paraconcordante hacia los *plays* que los limitan se identifica un conjunto de reflectores

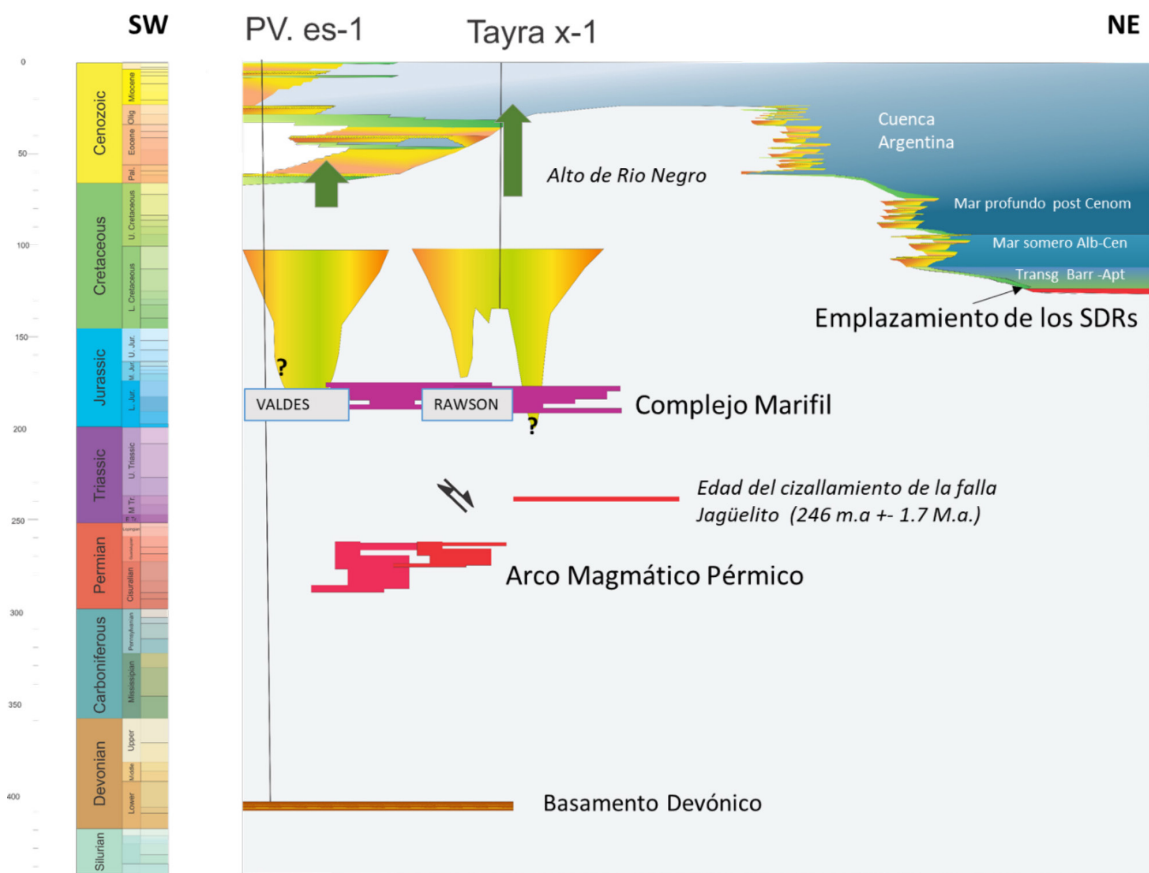


Figura 7. Esquema cronoestratigráfico de las Cuenas de Rawson y Valdés en el contexto de la evolución de la plataforma continental argentina. La columna de la izquierda indica millones de años. En el diagrama los colores amarillos indican litologías dominadas por arenas y los colores verdes, mayor contenido pelítico. La estratigrafía de la Cuenca Argentina está basada en Kress *et al.*, (2021).

paralelos que se acuñan hacia los bordes y se encuentran truncados por la discordancia de “*breakup*” del margen Atlántico. Esta secuencia está marcada por una expansión del ámbito sedimentario, aunque con menor subsidencia: En algunos grábenes se pueden observar dos ciclos, aunque en otras posiciones de la cuenca el ciclo superior se encuentra erosionado.

El pozo Tayra atravesó la secuencia de *sag* y parte del *synrift* III, con secuencias que fueron descriptas como depósitos continentales “*red beds*”. El pozo YPF.Ch.PV.es-1 en cambio, se ubica en una posición más externa del hemigraben, por lo que solo atravesó el estadio de *sag*. Los perfiles eléctricos de ambos pozos (Fig. 9) muestran los estadios evolutivos más importantes y su correlación. En ambos pozos el *synrift* está caracterizado por una alternancia de arenas y pelitas, con mayor contenido de arenas en el pozo Valdés es-1, por su posición marginal (Figs. 8 y 9).

En síntesis, si bien no es posible datar los eventos que contribuyeron a la sedimentación de *synrift* y *sag*, se pueden diferenciar varias etapas de relleno. El hecho de que el objetivo de Tayra fue un alto estructural no necesariamente elimina el potencial de la cuenca (ver próxima sección)

El Alto de Río Negro separa las Cuenas de Rawson y de Valdés de la Cuenca del Colorado y la Cuenca Argentina (Fig. 2). Este Alto estuvo expuesto a la erosión hasta el Mioceno Medio y pudo haber sido potencialmente una fuente de sedimentos tanto para la Cuenca del Colorado como la Cuenca Argentina. Comparando las Cuenas de Valdés y de Rawson se observa una clara diferenciación en el patrón sedimentario. Mientras que la Cuenca de Rawson (ejemplificada por el registro del pozo ESSO.Tayra.x-1) sufrió una exhumación que persistió hasta el Mioceno, la Cuenca de Valdés siguió subsidiando durante la mayor parte del Maastrichtiano-Paleógeno, preservando el registro de la transgresión Maastrichtiano-Daniana (Masiuk *et al.* 1976; Hardenbol

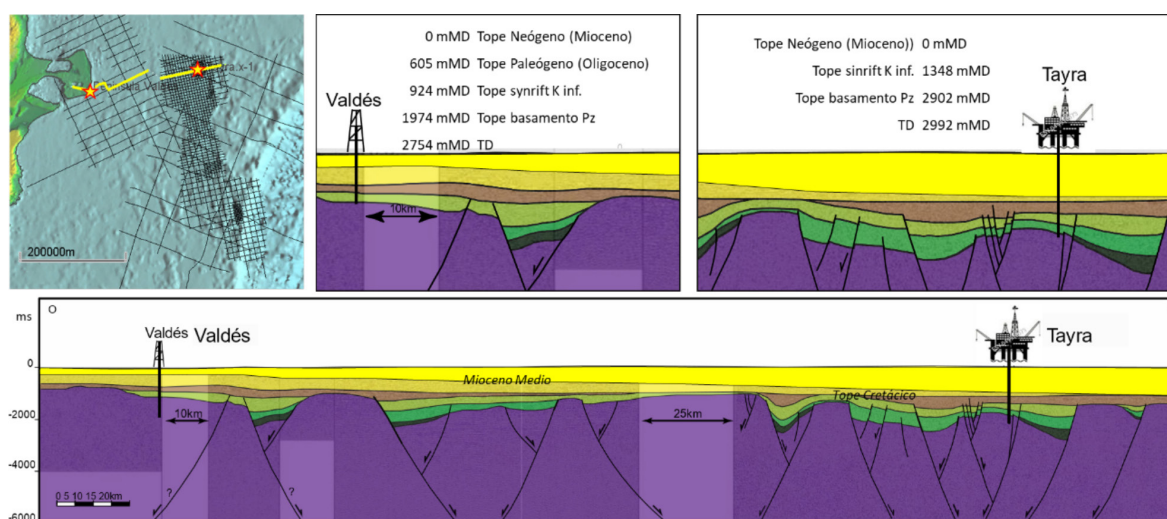


Figura 8. Correlación entre los pozos YPF.Ch.PV.es-1 y ESSO.Tayra.x-1, siguiendo varios segmentos de secciones sísmicas. Arriba: Mapa de ubicación de la sección. Detalles de la estructura y relleno sedimentario de los pozos Valdés (onshore) y Tayra (offshore) e indicación de las profundidades a las que fueron definidos los marcadores estratigráficos en cada pozo. Abajo: sección integrada que muestra la geometría de los hemigrábenes y grábenes de las Cuenas Valdés y Rawson. Escala vertical en metros.

*et al.*1990). Esta diferencia se hace evidente al analizar los niveles atravesados por los pozos YPF.Ch.PV.es-1 y ESSO.Tayra.x-1. En los perfiles geológicos de pozo (Fig. 8) el sondeo YPF.Ch.PV.es-1 (Cuenca de Valdés) posee unidades asignadas bioestratigráficamente al Oligoceno y Daniano, que se acuñan y no fueron atravesadas en el sondeo ESSO.Tayra.x-1 (Cuenca de Rawson).

Estos registros marinos podrían ser parte de la conexión existente en el Maastrichtiano-Daniano entre el Atlántico y la Cuenca del Golfo San Jorge. Entre el Paleoceno y el Eoceno, el pozo YPF.Ch.PV.es-1 registra un hiato entre el Daniano y el Eoceno, que también se reconoce en la Cuenca del Golfo San Jorge (Carames y Malumian 2003) y que allí coincide con los depósitos continentales del “Casamayorenses” y “Mustersenses”. El Oligoceno está marcado por una nueva ingresión marina que en el pozo YPF.Ch.PV.es-1 está representado por un ambiente marino marginal. Finalmente, en el Mioceno Inferior a Medio, se establece definitivamente un ambiente marino, lo que marca también la inundación de la cuenca de Rawson, tal como lo registra el pozo ESSO.Tayra.x-1 (Fig. 8).

La parte nororiental de la Figura 7 está basada en Kress *et al.* (2021), donde se resumen los cuatro grandes estadios evolutivos de la Cuenca Argentina y su extensión hacia las cuencas que subyacen a la plataforma continental. Luego de una etapa de transición durante la ruptura, caracterizada por el emplazamiento de los cuerpos magmáticos (SDRs), durante el Barremiano Aptiano se produce una ingresión marina que genera condiciones relativamente someras que perduran hasta el Cenomaniano. A partir del límite Cenomaniano/Turoniano se inicia una profundización de la cuenca que pasa a transformarse en un margen pasivo maduro.

CORRELACIÓN ENTRE POZOS

La Figura 9 muestra una correlación entre los dos pozos de la cuenca, YPF.Ch.PV.es-1 y ESSO.Tayra.x-1 que cruza la parte norte de la Cuenca de Valdés y Rawson. La correlación puede establecerse con mayor confianza para el Cenozoico, incluso considerando las variaciones laterales de facies. Sin embargo, no pueden establecerse correlaciones para en Mesozoico, ya que ambos pozos fueron perforados en hemigrábenes diferentes. El pozo Península Valdés es-1, perforado desde la costa, se encuentra en una posición marginal. En la sección se observan los grábenes más amplios y menos profundos de la Cuenca de Valdés, mientras que la Cuenca de Rawson está representada por la subcuenca de Ameghino. La sección está orientada aproximadamente perpendicular al eje de los grábenes. El pozo ESSO.Tayra.x-1 perforó un alto interno de la cuenca, atravesando una sección reducida de *sag (postrift)* y el *synrift* III (por carácter sísmico), compárese también con la Figura 7.

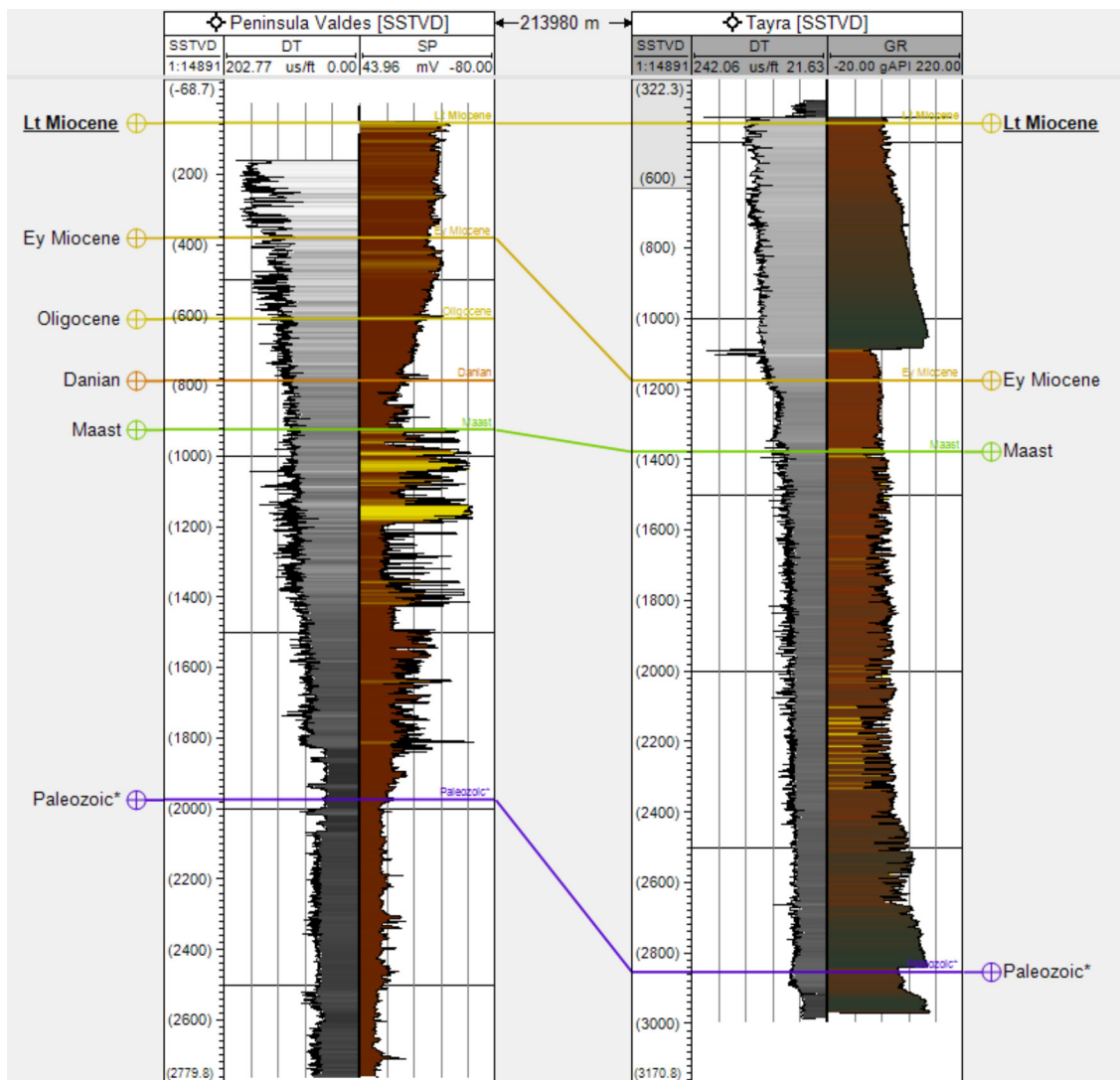


Figura 9. Correlación y marcadores con edades entre los pozos Península Valdés (YPF.Ch.PV.es-1) y ESSO.Tayra.x-1. Se observa un patrón más arenoso para el *syn-rift* pre-Maastrichtiano del pozo YPF.Ch.PV.es-1 por ubicarse en posiciones más proximal. Note la discordancia Maastrichtiano-Daniana y la ausencia del Paleógeno en el Pozo Tayra. La sección fue horizontalizada al nivel Mioceno tardío. Escala vertical en metros.

MODELO GRAVIMÉTRICO

La anomalía de aire libre del *offshore* del área de las Cuencas de Rawson y Valdés indica la combinación de varios efectos (Fig. 10).

- Las cubetas sedimentarias de los grábenes aparecen en su mayoría como anomalías negativas con amplitudes cuyas fuentes se deberían resolver dentro de la corteza.
- Estos depocentros continúan hacia el *onshore* donde líneas sísmicas de poca profundidad de iluminación confirman la existencia de cubetas sedimentarias.

- Hacia el sudeste y este, donde se encuentra el talud continental se observan una serie de anomalías positivas de mayor amplitud y longitud de onda que posiblemente se relacionan con cuerpos magmáticos remanentes de los estadios iniciales de la apertura.
- El fuerte gradiente negativo más hacia el este sería en gran parte el efecto batimétrico no compensado del talud, aunque luego se ve compensado por las anomalías positivas relacionadas con los SDRs y el atenuamiento cortical asociado.

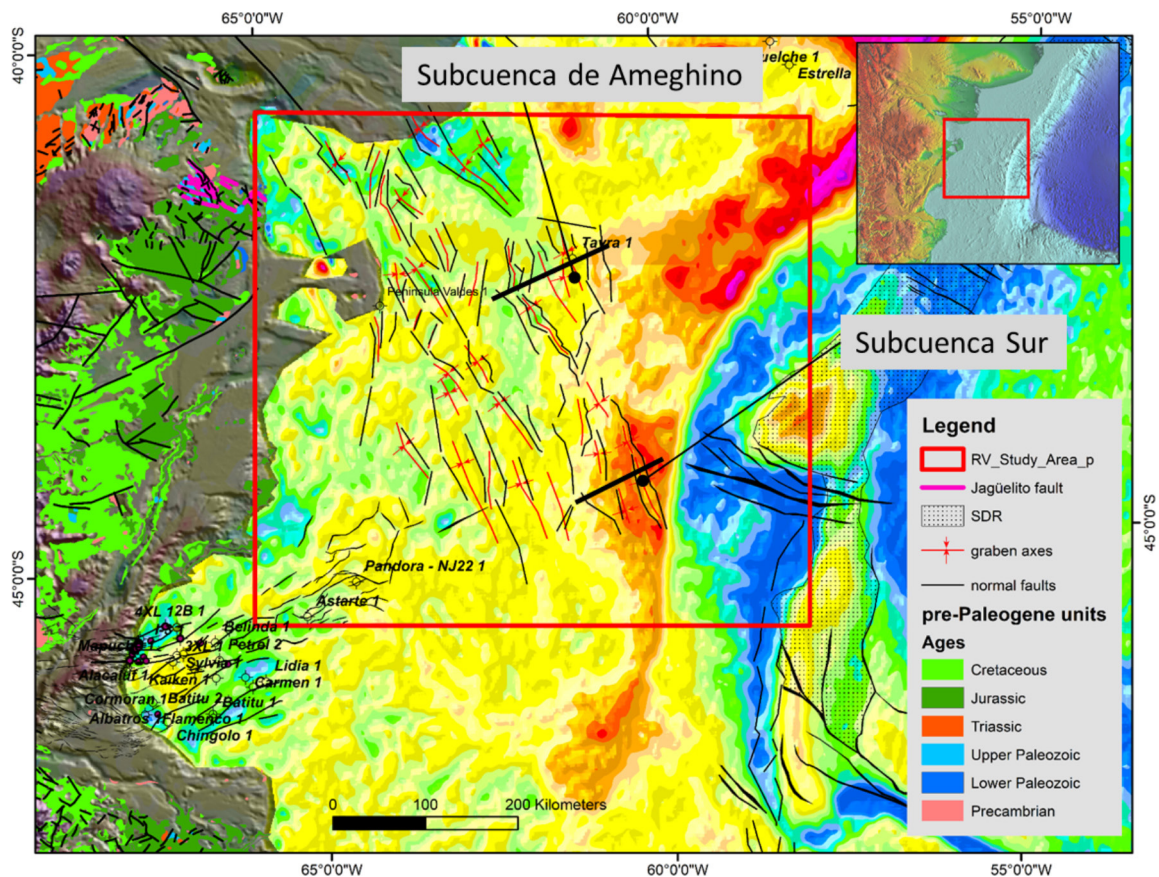


Figura 10. Mapa que combina afloramientos y topografía del onshore con anomalía gravimétrica de aire libre en el *offshore*. Para la escala de colores de la anomalía gravimétrica ver figura 12. (modificado de Kress *et al.* 2021b). Las líneas negras indican la posición de las secciones de la Figura 11.

Las cubetas sedimentarias, producto de la subsidencia tectónica del sistema de *rift*, muestran una clara señal gravimétrica, identificable incluso en la anomalía de aire libre de origen satelital (Sandwell *et al.* 2014). Este contraste de densidad entre el basamento y el relleno indicaría que entre el relleno de las cuencas y el inicio de la exhumación del basamento en el cual se desarrollan, transcurrió un tiempo suficiente como para que el relleno de los grabenes tenga una respuesta gravimétrica diferente desde el inicio del proceso de relleno.

De este modo, la señal gravimétrica es una buena aproximación a la distribución de depocentros, aún en áreas donde la cobertura sísmica tiene una menor densidad.

Por otro lado, el modelado gravimétrico de secciones permite determinar, con densidades obtenidas de la columna perforada por el pozo ESSO.Tayra.x-1, realizar la geometría profunda de las estructuras, asumiendo una densidad constante para el basamento involucrado.

ESTRUCTURA DE LAS CUENCAS DE RAWSON Y DE VALDÉS

La interpretación sísmica del mallado de la Cuenca de Rawson permitió identificar una serie de grábenes profundos (con profundidades del basamento en los depocentros de unos 6 km) limitados por fallas extensionales, mientras que la Cuenca de Valdés presenta depresiones más anchas aunque menos profundas (3 a 4 km). La parte sudoriental de la Cuenca de Valdés interfiere con el patrón extensional de orientación SSW-NNE del flanco norte de la Cuenca del Golfo San Jorge (Fig. 2).

Para definir el estilo estructural se realizaron dos secciones representativas del sistema de grábenes del norte (Subcuenca de Ameghino) y sur (Subcuenca Sur) respectivamente. Para determinar mejor la profundidad del basamento se combinó la interpretación estructural con el dato gravimétrico en un modelo integrado. Se observa una muy buena correspondencia entre los grábenes y anomalías negativas y los *plays* con anomalías positivas.

En el NNW, la cuenca desarrolla una cubeta ancha (60 km y una profundidad máxima que excede los 6 km) (Fig. 11, sección superior), estructurada por *plays* y grábenes, y con un plano de despegue hundiéndose hacia el SSW, denominada Subcuenca de Ameghino.

En el sector SSE, la Subcuenca sur, se distinguen grábenes simétricos más angostos (20 - 30 km) y 2-3 km de profundidad (Fig. 11, sección inferior). Ambas zonas se encuentran separadas por una franja marcada por una tectónica oblicua y la presencia de cuerpos magmáticos alineados.

El extremo SSE del conjunto de grábenes de la Cuenca de Rawson parece truncarse contra el borde continental, con algunas fallas reactivadas puntualmente con componente transcurrente. Hacia el sur, la poca cobertura sísmica hace suponer que las fallas pierden rechazo y van desapareciendo contra el borde norte de lo que sería el cratón del Deseado.

DISCUSIÓN

Mediante la reinterpretación de información existente y recientemente registrada y la integración de esta con datos potenciales se pudo realizar un nuevo modelo de las Cuencas de Rawson y Valdés. Este modelo es más preciso en el caso de la primera, ya que la Cuenca de Rawson tiene una mayor densidad de datos, mientras que la Cuenca de Valdés, con un mayor espaciado entre líneas (Fig. 1) y de menor calidad presenta mayor incertidumbre en la interpretación.

Tanto la Cuenca de Rawson como la de Valdés carecen de una importante subsidencia térmica como la de la Cuenca del Colorado o del Salado. Ello podría interpretarse como producto

de un menor atenuamiento cortical o bien un desgarre cortical limitado a una zona relativamente estrecha, sin involucrar un adelgazamiento regional de la corteza. Por otro lado, el hecho de que las anomalías se pueden modelar involucrando las geometrías de las cuencas indica una contribución mínima del manto superior.

Desde el punto de vista estratigráfico, la existencia de información termocronométrica permitió limitar mejor el intervalo de enfriamiento producto de la exhumación de la corteza por el proceso extensional. La comparación de la sección Cenozoica revela que la subsidencia posterior al *breakup* es diferente entre las dos cuencas.

Desde el punto de vista estructural se han definido dos zonas con estilos diferentes. En la parte NW de la Cuenca de Rawson se confirmó la existencia de la subcuenca de Ameghino, una gran cubeta dividida internamente por un *horst*. Los depocentros a ambos lados del *horst* fueron denominados depocentro oriental y central respectivamente. Más hacia el SW, existe otro graben llamado depocentro occidental, con menor extensión lateral pero con mayor continuidad hacia el SSE.

Esta franja se corresponde a un lineamiento que vincularía la zona de fractura del Colorado en el borde la plataforma, con la zona de cizalla de Jagüelito en el *onshore*, de origen Paleozoico (orogenia gondwánica) y reactivada durante el Triásico tardío (243 Ma). Las diferencias estructurales en la Cuenca de Rawson indicarían que esa faja controló la deformación extensional de la misma, a la vez que incidió en el primer segmento del desarrollo del margen volcánico divergente del Atlántico Sur. Estos tres grábenes convergen hacia el sur, contra un alto marcado por actividad volcánica (Fig. 4).

Más al sur se abren otros grábenes, más elongados, menos profundos, cuyo contraste de densidad se ve parcialmente soslayado por las anomalías positivas próximas al talud. El alto que separa ambas regiones con diferentes estilos estructurales se alinea con fallas de componente transcurrente y una alineación de cuerpos magmáticos.

Este lineamiento parece ser la continuación noroccidental de la zona de fractura del Colorado. La zona de fractura del Colorado marca un límite de segmento de los SDRs de primer orden. De modo que, durante el proceso de apertura del Atlántico Sur, la misma jugó un papel importante en la redistribución de la deformación rotacional. Un registro de este cambio está dado por la orientación de los cuerpos magmáticos denominados SDRs que se emplazan a lo largo de fisuras paralelas a la futura zona de transición entre corteza continental y oceánica. Al sur de la fractura del Colorado, los SDRs muestran un emplazamiento orientado N-S mientras que al norte toman un rumbo NNE-SSE. Proponemos que ese cambio se relaciona con una zona de debilidad en el basamento *pre-breakup* entre África y América del Sur. Por debajo de la plataforma continental, esta línea marcaría el cambio en el estilo estructural que se observa principalmente en la Cuenca de Rawson y en menor medida en la parte norte de la Cuenca de Valdés, marcado por cuerpos magmáticos alineados y un cambio en la orientación de las fallas extensionales de

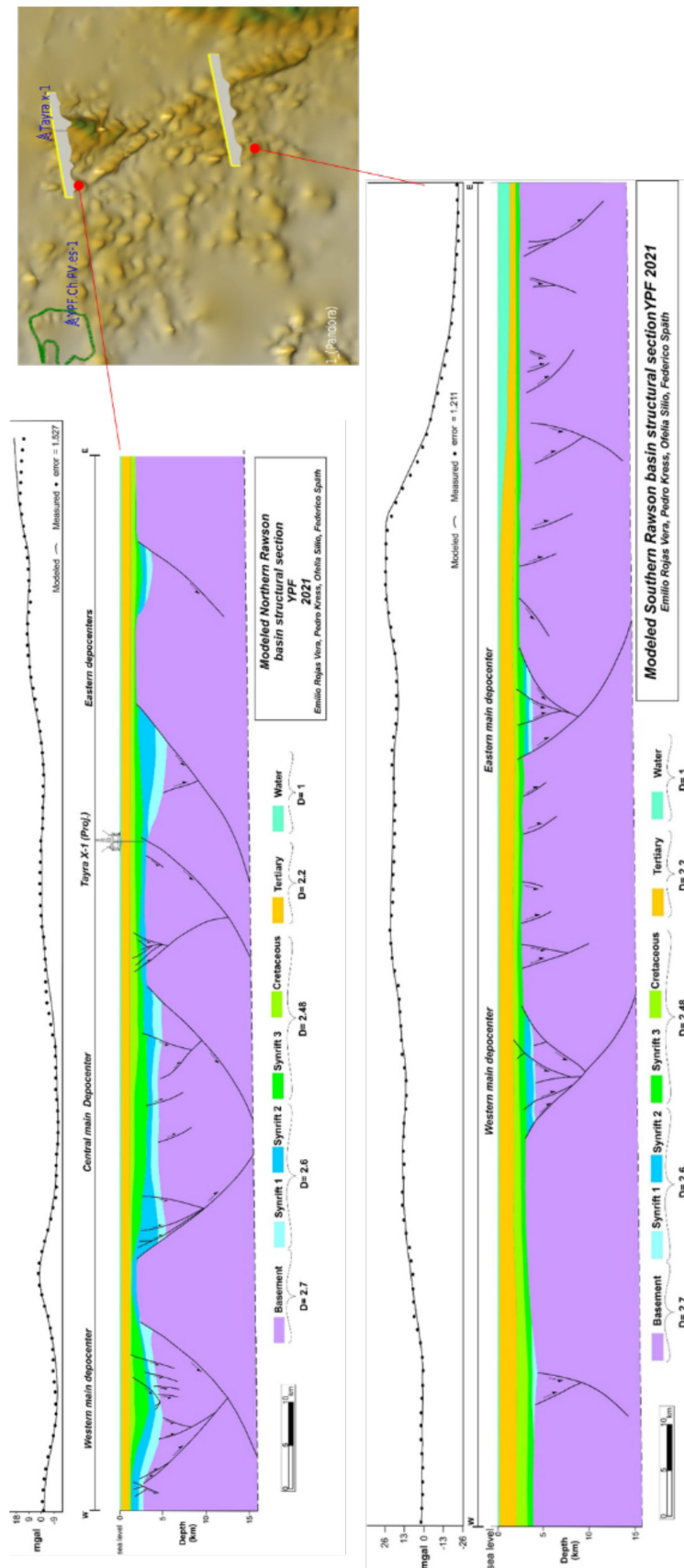


Figura 11. Estructura y depocentros de las Cuencas de Rawson y Valdés definidos a partir de la interpretación del basamento. Las líneas indican la ubicación de las dos secciones representativas. Se observa la buena correlación entre los depocentros y la señal gravimétrica.

transtensionales e incluso transpresivos. Siguiendo la misma traza hacia el continente, esta zona de debilidad parece vincularse con la fractura de Jagüelito, identificada por González *et al.* (2020), como un límite cortical coincidente con el borde norte del Orógeno Transpatagónico.

González *et al.* (2014) han datado la actividad de la zona de cizalla de Jagüelito en 246 ± 1.7 Ma (Triásico Medio), previo al inicio de la extensión de las Cuencas de Rawson y Valdés y previo a la ruptura del Atlántico Sur. Es posible entonces, que la zona de fractura del Colorado / zona de cizalla de Jagüelito haya jugado un papel en controlar tanto el estilo extensional de las Cuencas de Rawson y de Valdés como también condicionó la geometría inicial de la apertura del Atlántico Sur. Todo este contexto se resume en el mapa de la Figura 12.

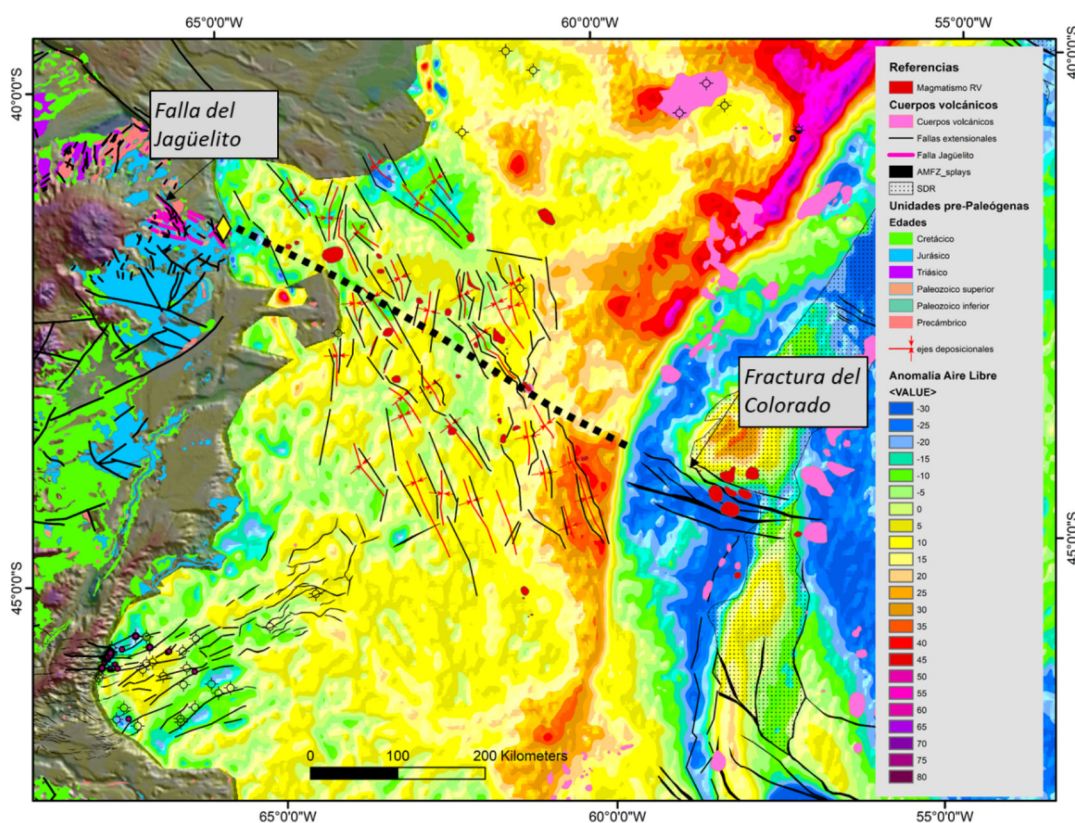


Figura 12. Mapa que muestra la posible relación entre la zona de fractura del Colorado y la zona de cizalla de Jagüelito transversal a los grábenes de las cuencas de Rawson y Valdés. Ver texto para más detalles (modificado de Kress *et al.* 2021b).

CONCLUSIONES

El estudio de la estructura y relleno estratigráfico de los *rifts* de Rawson y Valdés definir dos zonas con estilos estructurales diferentes que pueden tener impacto en la prospectividad de la cuenca. Las conclusiones extraídas a través de los pozos YPF.Ch.PV.es-1 y ESSO.Tayra.x-1 pueden no ser concluyentes con respecto a la parte SE de la cuenca, con estilos estructurales y

entrampamientos diferentes. El concepto que marcó la perforación de Tayra fue evaluar un alto estructural rodeado de grábenes donde podría haber secuencias lacustres como generadores de hidrocarburos. El resultado del pozo fue que en las secuencias perforadas no se encontraron evidencias de petróleo, aunque si manifestaciones de gas. La complejidad de la cuenca surgida a partir de este análisis sugiere un grado de heterogeneidad mucho mayor y la existencia de plays que aún no han sido probados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las Gerencia de Exploración *Offshore* de YPF la publicación de este trabajo y a los revisores Eduardo Figari y Luis Rébora por las sugerencias y comentarios realizados.

REFERENCIAS

- Bianchi, J.L. 1984 Interpretación Tectogenética y paleoambiental de la Cuenca de Rawson, IX, Cong. Geol. Arg. San Carlos de Bariloche, Actas III, p 47-60
- Burke, K., 1976 Development of graben associated with the initial ruptures of the Atlantic ocean, Tectonophysics, 36,1-2, p 93-12, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(6\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(6)90009-3)
- Caramés A., y Malumian, N., 2004, Foraminíferos del Paleógeno de Pozo Península de Valdés (YPF. Ch.PV.es-1), Patagonia Septentrional, Argentina, Ameghiniana 41,3,, p 461-474
- Continanza, J., R. Manceda, G.M. Covellone, A.S. Gavarrino 2011 Cuenca de Rawson y Valdés: síntesis del conocimiento exploratorio – Vision actual, VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, p 47-63
- Figari, E.G., Scasso, R., Cuneo, R. y Escapa, I., 2015. Estratigrafía y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut, Argentina. LAJSBA. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis. V. 22 (2) 2015, 135-169
- Figari, E.G., Hechem, Continanza, M.J., Gavarrino, A., Urrez, N. y García, D.G., 2020. Cuencas Hidrocarburíferas, sus Sistemas Petroleros y Principales Yacimientos. Relatorio XXI Congreso Geológico Argentino, Provincia del Chubut.
- González, S.N. G.A. Greco, P.D. Gonzalez, A.M. Sato, E.J. Llambías, R. Varela, M.A.S. Basei, 2014. Geología, Petrografía y Edad U-Pb de un enjambre longitudinal NO-SE de diques del Macizo Norpatagónico Oriental, Río Negro, Rev. Asoc. Geol. Arg., 71, 2, p 174-183.
- González, P.D., Naipauer, M., Sato, A.M., Varela, R., Basei, M.A.S, Cabana, M.C., Vlach, S.R.F., Arce, M., Parada, M., 2020 Early Paleozoic structural and metamorphic evolution of the Transpatagonian Orogen related to Gondwana Assembly, International Journal of Earth Sciences, <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01939-0>
- Guler M.V. González Estebenet, M.S., Navarro, E.L., Fuentes, S. Cuitiño, J.I., Palazessi, L., Pérez Panera, J.P., Barreda, V., 2021 Miocene Atlantic transgressive – regressive Events in northeastern and *offshore* Patagonia: A palynological perspec-

- tive, *Journal of South American Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.sames.2021.103239>
- Hardenbol, J., Pflum, C.E., Stover, L.E., Millioud, M.E., Gartner, S. 1990 Biostratigraphic and Geohistory Analysis of the Tayra x-1 well in the Rawson Basin, Argentina, Exxon Production Research EPR, internal report.
- Kress, P. Catuneanu, O., Gerster, R., and Bolatti, N. 2021 Tectonic and Stratigraphic evolution of Cretaceous Western South Atlantic, *Journal of Marine and Petroleum Geology*, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105197>
- Kress, P, Silio, O., Rojas Vera, E., y Späth, F., 2021b The Rawson *rift* system: pre-breakup extensional tectonics underneath the Argentine Shelf, GSL Energy Group, *Petroleum Geology of the South Atlantic*, Abstracts with Programs, The Geological Society, London.
- Ludwig, W.J., Ewing, J.I, Ewing., M., 1968 Structure of Argentine Continental Margin, AAPG, 52,12, p 2337-2368
- Lovecchio, J.P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N.D., Ramos, V.A., 2020 Mesozoic *rifting* evolution of SW Gondwana: a poliphased subduction-related history responsible for basin formation along the Argentinean Atlantic margin, *Earth Science reviews*, 203, 103138 <https://doi.org/10.1016/j.earthscirev.2020.103138>
- Lovecchio, J.P., Naipauer, M., Ramos, V.A 2022 Datación del prerift paleozoico de la Cuenca de Valdés y correlación con unidades del Macizo Norpatagónico, XXI Cong. Geol. Arg. Puerto Madryn. Chubut.
- Mainardi, E.C., Turic, M.A., Stublej, R. 1980 La Exploración Petrolífera en la Plataforma Continental Argentina, ARPEL/RANE, Mexico 27 pp
- Masiuk, V., Becker, D., Garcia Espiasse, A., 1976 Micropaleontología y sedimentología del Pozo YPF.Ch.PV.es-1, (Península Valdés), Provincia de Chubut, República Argentina, Importancia y correlaciones, ARPEL/RANE XXIV, Buenos Aires, p 70-89
- Otis, R.M. Schneidermann, N. 2000 A failed hydrocarbon system – Rawson Basin, en M.R. Mello and B.J. Katz, eds, “Petroleum Systems of South Atlantic Margins, AAPG Memoir 73, p 417-427
- Pángaro, F., 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*, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.010>
- Ramos, V.A., 1996 Evolución Tectónica de la Plataforma Continental, en Turic, M.A. y Ramos, V.A. (Eds) Relatorio, XII, Cong. Geol. ArG.y III Cong. Geol Hidrocarburos, Buenos Aires, p385-404.
- Ramos, V.A. 2008 Patagonia: A paleozoic continent *adrift*? *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 26, 3: 235-251, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2008.06.002>
- Simonato, I.B. 1963 Propuesta de perforación de un pozo estratigráfico en la Península Valdéz, YPF, inf. Int.
- Tankard, A., Welsink, H., Aukes, P. Newton, R., Stettler, E., 2009, Tectonic evolution of the Cape and Karoo basins of South Africa, *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 26, 8, p 1379-1412 <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.01.022>
- Uliana, M.A., Biddle, K.T, 1988. Mesozoic-Cenozoic Paleogeographic and Geodynamic Evolution of

- Southern South America, *Rev.Bras. Geoc.* 18,2, p 172-190
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Cerdan, J., 1989 Mesozoic extension and the formation of Argentine Sedimentary Basins, En A.J. Tankard y H.R.Balkwill (Eds.) *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*, AAPG, Memoir 46, p 599-614
- Urien, C.M. y Zambrano, J.J., 1996 Estructura del Margen Continental, en Turic, M.A. y Ramos, V.A. (Eds) *Relatorio, XII, Cong. Geol. ArG.y III Cong. Geol Hidrocarburos*, Buenos Aires, p 29-65
- Sandwell, D. T., R. D. Müller, W. H. F. Smith, E. Garcia, R. Francis, 2014 New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure, *Science*, Vol. 346, no. 6205, pp. 65-67, <https://doi.org/10.1126/science.1258213>
- Zaffarana, C.B., Lagorio, S.L., Gallastegui, G., Wörner, G., Orts. D., Gregori. D., Poma, S., Busteros, A., Giacosa, R., Silva Nieto, D., Ruiz González, V.R., Bolthausen, B., Puigdomenech Negre, C., Haller, M., 2020 Petrogenetic study of the Lonco Trapial volcanism and its comparison with the Early-Middle Jurassic magmatic units from northern Patagonia, *Journal of South American Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102624>
- Will T.M., Frimmel, H.E 2018 Where does a Where does a continent prefer to break up? Some lessons from the South Atlantic margins, *Gondwana Research*, 53,1 p 9-19, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.014>

