

INTEGRACIÓN DE NUEVOS DATOS BIOESTRATIGRÁFICOS EN UN MODELO REGIONAL SISMOESTRATIGRÁFICO DE LA CUENCA AUSTRAL FUEGUINA

Pablo Barros¹, Juliana Marino¹, Muriel Miller¹, Gladys Angelozzi², Diana Ronchi²,
Luciana Hiriart², Pablo Giampaoli¹

1: YPF, pablo.barros@ypf.com, juliana.marino@ypf.com, muriel.l.miller@ypf.com, pablo.giampaoli@ypf.com

2: Y-TEC, gladys.angelozzi@set.ypf.com, dianaines.ronchi@set.ypf.com, maria.l.hiriart@ypftecnologia.com

Palabras clave: Cuenca Austral, Tierra del Fuego, Bioestratigrafía, Sismoestratigrafía

ABSTRACT

Integration of newly acquired biostratigraphic data in a regional seismic stratigraphic model of the Fuegian Austral Basin

This present work integrates newly acquired biostratigraphic data with vast seismic and stratigraphic information available for the Argentinian Fuegian portion of the Austral (or Magallanes) Basin. The analyzed samples correspond to Cretaceous and Tertiary sequences targeted by different drilling exploration campaigns in the area. Two regional cross-sections, 150 km long, oriented SW-NE and NW-SE were created. These are based on 2D and 3D seismic data (*onshore* and *offshore*) and include key wells with lithological, biostratigraphic and well logs information. The work incorporates information from a revised large historical data base and new wells particularly selected for this study. These wells were calibrated onto the seismic volumes to establish a chronostratigraphic framework. Subsequently, biostratigraphic and paleoenvironmental interpretations were associated to the main seismic stratigraphic sequences obtained by detailed interpretation of the reflectors and their seismic terminations. This allowed for the mapped surfaces to be characterized as sequences boundaries (erosive or by-pass surfaces) or flooding events, building a sequence stratigraphic framework to the different evolutive events recorded in the basin. As results from this work, Cretaceous unconformities were defined by sedimentations hiatus and changes in stacking patterns. The unconformable nature of the boundary between the Cretaceous and Tertiary sequences was emphasize, were deposits along this limit vary in age and environment from the SW to NE. Paleocene relics occasionally appear as potential reservoirs located in areas reactivated by an extensional tectonic pulse. The Eocene to Oligocene sedimentation has been defined as mainly marine and two main sequences could be recognized: An Early to Middle prograding Eocene event, where sediment supply rotates clockwise (from SSW-NNE and ending W-E) and a second Late Eocene to Oligocene event, characterized by an important base-level fall and important incisions oriented WSW. This work integrates the latest subsurface data acquired to date through regional schematic cross-sections that can be used as solid bases for regional exploratory studies in the Fuegian Austral Basin.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Austral, conocida también como Cuenca de Magallanes, alcanza una superficie de aproximadamente 230,000 km² cubriendo el extremo sur de los territorios argentino y chileno. Se

ubica sobre el extremo suroccidental de la placa Sudamericana y su límite meridional lo constituye el borde norte de la placa de Scotia (Figura 1) (Rodríguez *et al.*, 2008). Está limitada hacia el oeste y sur por los Andes Patagónicos-Fueguinos, al norte por el macizo de Deseado y al este por la Dorsal de Río Chico, la cual la separa de la Cuenca de Malvinas (Robbiano *et al.*, 1996).

Diferentes estadios evolutivos han sido descriptos sobre la deformación de los Andes Fueguinos y Patagónicos (Ghiglione *et al.*, 2004, 2008, 2010, 2016, Kraemer *et al.*, 2002, Ramos *et al.*, 2004, 2008, Rodríguez *et al.*, 2008). Estos eventos de deformación tectónicos han afectado tanto la Cuenca Marginal de Rocas Verdes como a la plataforma Springhill y por lo tanto tienen un impacto mayor en su relleno sedimentario y su potencial exploratorio.

Numerosos yacimientos de petróleo y gas fueron descubiertos en esta cuenca entre la década del 50 y 60. Los principales niveles productivos corresponden a las areniscas continentales y marinas de la Formación Springhill (Berriasiano-Aptiano) y en forma subordinada las areniscas del ciclo Terciario y los depósitos volcaniclasticos Jurásicos de la Sección Tobífera.

El presente trabajo hace foco en la porción Argentina de Tierra del Fuego. Esta zona, caracterizada por su proximidad a afloramientos relacionados con la faja plegada al sur y oeste (costa atlántica), ha sido extensamente estudiada de un punto de vista tectónico, sedimentario y micropaleontológico (Riggi *et al.*, 1979, Malumian *et al.*, 2002, Olivero *et al.*, 2003).

A través de la adquisición de datos bioestratigráficos en pozos nuevos y la integración regional de numerosos volúmenes sísmicos, se pretende dar un marco geológico regional de subsuelo que se correlacione o compare con las observaciones hasta ahora realizadas.

Los resultados se presentan en forma de dos transectas regionales con descripciones de cada intervalo, sus biozonas y paleoambientes asociados, y se apoya en ejemplos de geomorfología sísmica que dan robustez a las interpretaciones propuestas. El fin del mismo es dar un marco geológico de subsuelo regional para futuros trabajos exploratorios en el área.



Figura 1. Ubicación y marco tectónico de la Cuenca Austral (modificado de Rodríguez *et al.*, 2008)

METODOLOGÍA Y MATERIAL DISPONIBLE

Este trabajo es el resultado de un estudio regional focalizado en la Isla de Tierra del Fuego, que abarca una superficie de 13500 km². El mismo se sintetizó en dos transectas regionales, orientadas principalmente en el *dip* y *strike* deposicional de las secuencias Terciarias. Sobre estas se proyectaron 14 pozos claves.

Los datos utilizados, integrados e interpretados incluyen 5500 km² de sísmica 3D (10 cubos), 600 km lineales de sísmica 2D e información de *cutting* (recortes de perforación) y perfiles eléctricos provenientes de más de 200 pozos perforados en el área. Además, se utilizó el análisis bioestratigráfico de 16 sondeos (Figura 2).

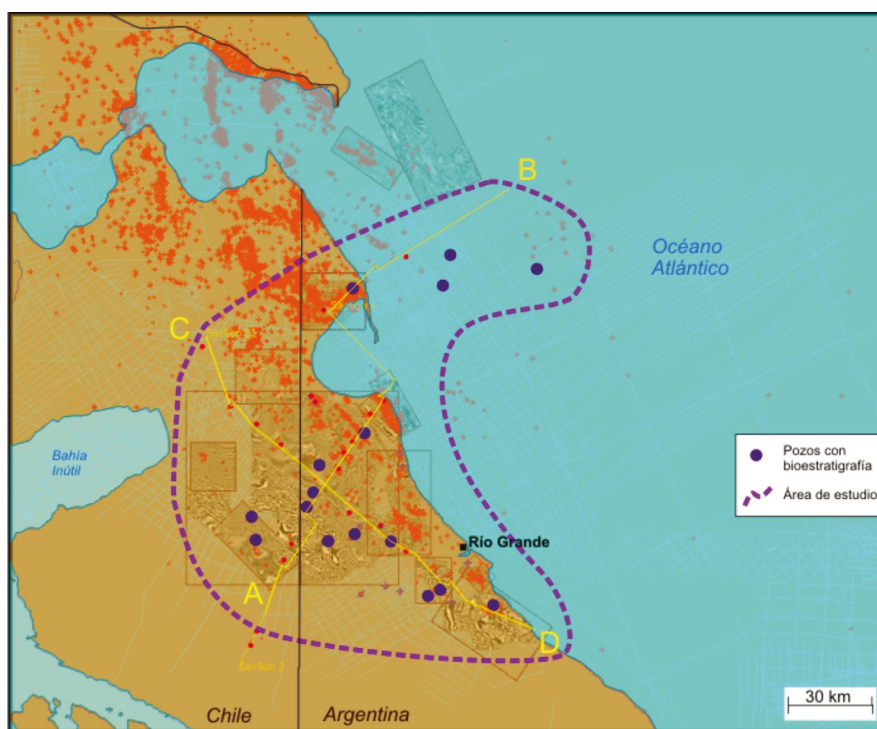


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio, sísmica 2D/3D y pozos con bioestratigrafía analizados en el presente estudio

La interpretación sísmica fue llevada a cabo acondicionando los datos para un análisis *multi-survey* (*shifts* y polaridades) en los cuales se calibraron los pozos con registros sónicos. La información sísmica en general es de buena calidad y pueden observarse reflectores continuos dentro de las secuencias Cretácicas y hasta la base del Terciario. El relleno Terciario, sinorogénico, en cambio, carece de reflectores continuos y mapeables a escala regional debido a la variabilidad litológica y a los rápidos cambios de facies que ocurren en los ambientes progradantes de antepaís (Figuras 3 y 4).

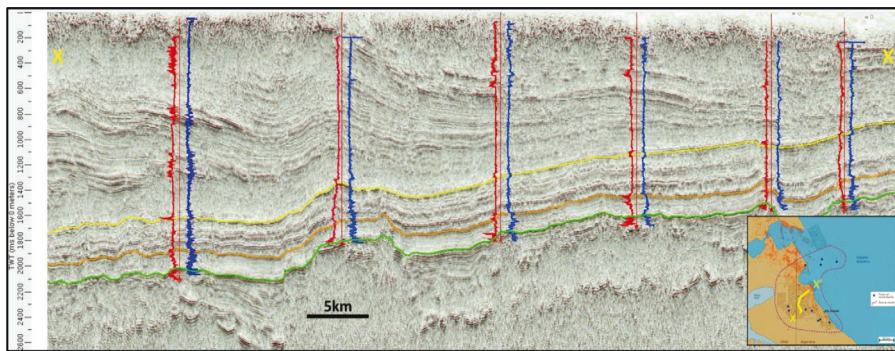


Figura 3. Sección sísmica 3D en tiempo, la continuidad de los horizontes cretácicos y las progradaciones sinorogénicas. Los perfiles de pozo (potencial espontáneo: rojo y resistividad: azul) muestran un relleno Terciario predominantemente pelítico.

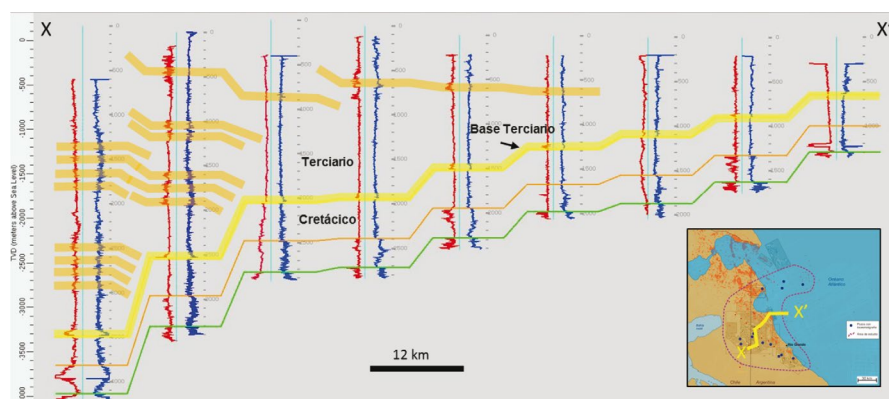


Figura 4. Corte estructural entre pozos y correlación esquemática de los distintos niveles arenosos intraterciarios.

Para la caracterización de las secuencias Cretácicas y Terciarias, se realizó el ajuste entre horizontes sísmicos, perfiles de pozo y datos bioestratigráficos.

El análisis micropaleontológico consistió en estudiar el contenido fosilífero (de foraminíferos y nanofósiles calcáreos) de más de 30.000 mts de material de *cutting*.

Para el estudio sistemático de los foraminíferos se utilizó la clasificación genérica de Loeblich y Tappan (1987; 1992) y el Catálogo de Ellis y Messina (1940 y subsiguientes). Para los nanofósiles Bown y Young (1997); Young y Bown (1997a; 1997b). Y el catálogo digital www.mikrotax.org para ambos grupos. Además de la bibliografía local del área de estudio y adyacentes para las determinaciones específicas (Archangelsky, 1969; Malumian y Masiuk, 1976; Malumian *et al.*, 2013, Menéndez, 1965, Pérez Panera, 2013, Cuciniello *et al.*, 2017; Pérez Panera, *et al.*, 2017; Bedoya Agudelo *et al.*, 2018 entre otros)

Como referencia se utilizaron las biozonaciones de foraminíferos planctónicos de Bolli y Saunders (1985), Berggren y Pearson (2005) para el Cenozoico y Caron (1995) para el Cretácico. Para los nanofósiles las Biozonaciones de Martini (1971) y la de Sissingh (1977) para el Cenozoico y Cretácico respectivamente.



Teniendo en cuenta la naturaleza de las muestras y para evitar errores de interpretación debido a contaminación, se consideraron principalmente las últimas ocurrencias (*Last Occurrence*, LO) de los principales marcadores bioestratigráficos.

Los paleoambientes se definieron en base a los taxones proxy más representativos o dominantes, considerando las características tafonómicas, abundancia y diversidad de las asociaciones recuperadas, como también el modo de vida y la relación entre fauna planctónica/bentónica.

La figura 5 resume los principales eventos registrados en este sector de la Cuenca Austral (nanofósiles y foraminíferos bentónicos y planctónicos).

Un ejemplo de pozo tipo del área de estudio y su calibración entre perfiles, litología (afloramiento y subsuelo) e interpretación de ambientes y edades obtenidos a partir del estudio bioestratigráfico se presenta en la figura 6.

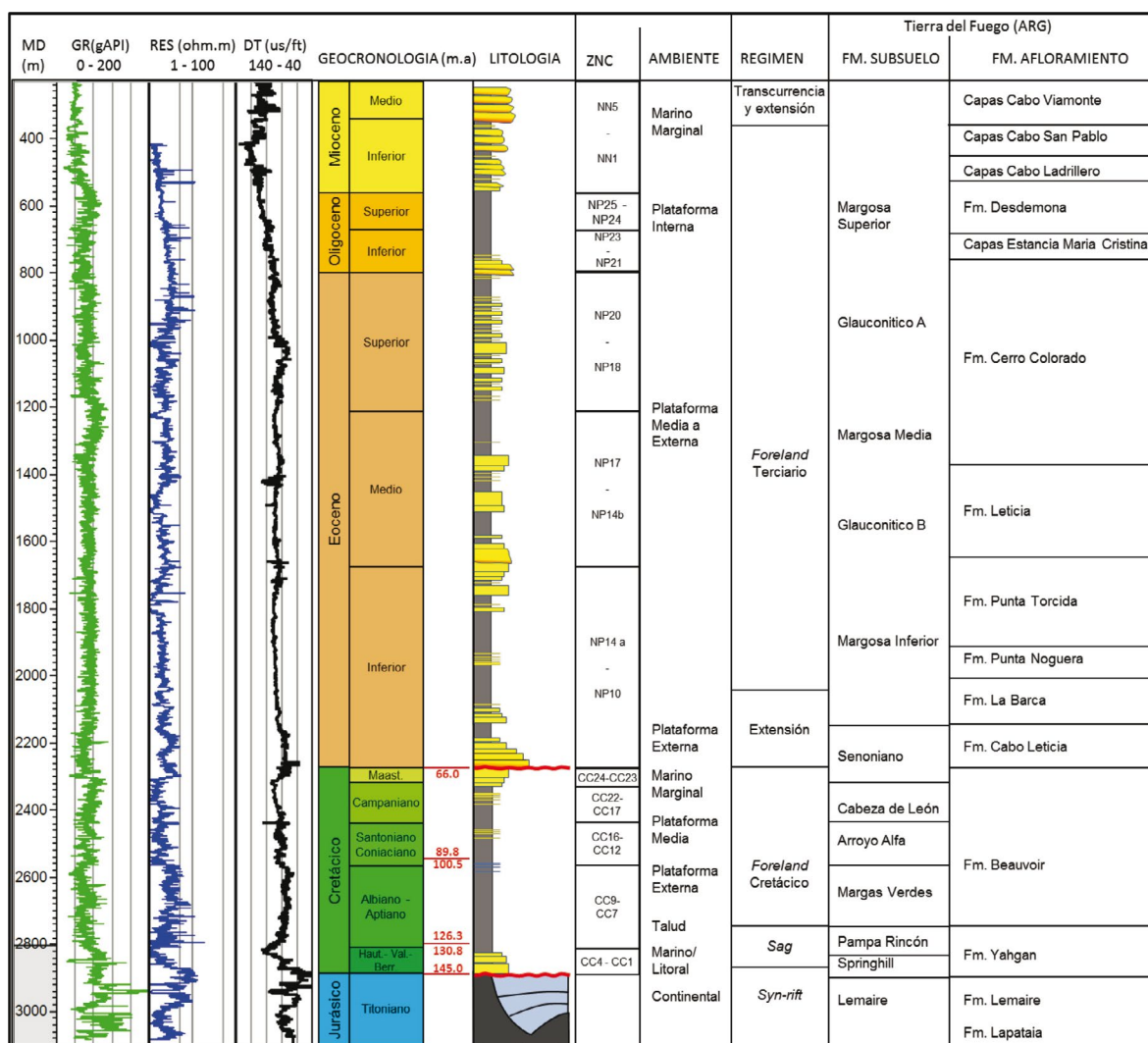


Figura 6. Calibración entre perfiles, eventos y litología. Se presenta una columna litológica compuesta por observaciones de afloramiento (Martinioni *et al.*, 1999, 2010, Malumian y Olivero (2006), Olivero y Malumian (2008), Torres Carbonell *et al.*, 2009, Ponce *et al.*, 2007, 2008) y subsuelo (Rodríguez *et al.*, 2008). El límite K/T estaría incluido dentro del intervalo Senoniano, compuesto por depósitos Maastrichtianos y Eocenos Inferiores.

RESULTADOS

La integración de datos bioestratigráficos nuevos sumado a las revisiones de estudios realizados previamente (GEMA S.R.L.), junto con la interpretación sísmica y de pozos, permitió obtener un marco estratigráfico regional con edades ajustadas y caracterización de paleoambientes.

Los resultados del trabajo se resumen en dos transectas regionales (Figura 7).

Dentro del área de estudio se definieron 8 secuencias principales, 5 para el relleno Cretácico y 3 para el Terciario. Las mismas se describen a continuación:

Jurásico tardío – Cretácico Inferior (Berriasiano?)

La secuencia basal, está asociada a los depósitos de edad Jurásica tardía, (correspondientes a la denominada “Serie Tobífera”) depositados sobre el basamento Paleozoico. En este trabajo se distinguieron sísmicamente hasta 3 subsecuencias sinsedimentarias. Estos depósitos en forma de cuña están situados en hemigrábenes asimétricos controlados por fallas de basamento de vergencia NE que posteriormente han sido reactivadas tanto en el estadio extensional como compresional enmarcadas en un estadio de *syn-rift* (Figura 7). En este trabajo no se ha podido asignar edades a la misma debido a la falta de un análisis palinológico o de dataciones absolutas. El relleno superior, que involucra a las secuencias más antiguas de la Formación Springhill, corresponde a la “Zona de *Hoeglundina porcellanea* - *Reinholdella fuenzalida*” de edad Berriasiano? – Valanginiano Temprano (Ronchi y Angelozzi, 1999, 2001).

Valanginiano – Hauteriviano

Sobre el *syn-rift*, se definió una primera secuencia sedimentaria asociada a un estadio de “sag” de edad Valanginiana – Hauteriviana. Se la caracteriza por reflectores de alta amplitud que forman un intervalo de potencia variable caracterizado por mayores espesores en los hemigrábenes y menor en los altos de basamento (Figura 7).

En las sedimentitas correspondientes a esta secuencia se registraron asociaciones foraminíferológicas identificadas por la presencia de fósiles dominantes y/o característicos subdivididos en las siguientes zonas: “Zona de *Pseudopolymorphina martinezi*” Valanginiano s.l. (Masiuk y Viña, 1986; Ronchi y Angelozzi, *op. cit.*) y “Zona de *Lenticulina nodosa* – *Astacolus gibber*” Valanginiano tardío – Hauteriviano temprano (Masiuk y Viña, *op. cit.*; Ronchi y Angelozzi, *op. cit.*).

Las asociaciones de foraminíferos bentónicos que permitieron definir las zonas son características de un ambiente marino somero templado-frío y baja fertilidad de las aguas superficiales.

Aptiano – Albiano

Sobre las anteriores, se identificó sísmicamente un intervalo transparente asociado en los pozos del área de estudio a litologías que se caracterizan por una predominancia de facies finas (pelitas y margas) portadoras de asociaciones de microfósiles del Aptiano – Albiano.

Las sedimentitas aptianas se registraron por la presencia del nanofósil *Eprolithus floralis* (FO) globalmente reconocido en la base de la ZNC CC7 (Sissingh, 1977; Manivit, 1981; Bown, 1988; Young *et al.*, 2018) juntamente con la presencia dominante o exclusiva de radiolarios. Por encima de estos se observan abundantes foraminíferos planctónicos como *Muricohedbergella porstdownensis*, *Muricohedbergella delrioensis*, *Praeglobotruncana delrioensis*, *Planobeterohelix moremani* y *Muricohedbergella planispira*, junto a formas bentónicas autóctonas de Cuenca Austral como *Dorothia mordojovichi* y *Lingulogavelinella magallánica*, *Valvulineria fueguina*, *Tritaxia gaultina australis* (Natland 1974, Malumian y Masiuk, 1976) y otras cosmopolitas como *Spiroplectinata annectens*, *Marsonella oxycona*, *Lingulogavelinella indica*, *Osangularia utaturensis*, *Tribachia australiana* y *Marginulina cephalotes*, asignados al Albiano.

Entre los nanofósiles marcadores se reconocieron la FO y LO de *Sollasites falklandensis*, FO de *Eiffelithus turrisseiffeli* y LO de *Axopodorhabdus albianus* delimitando las ZNC CC8-CC9 del Albiano.

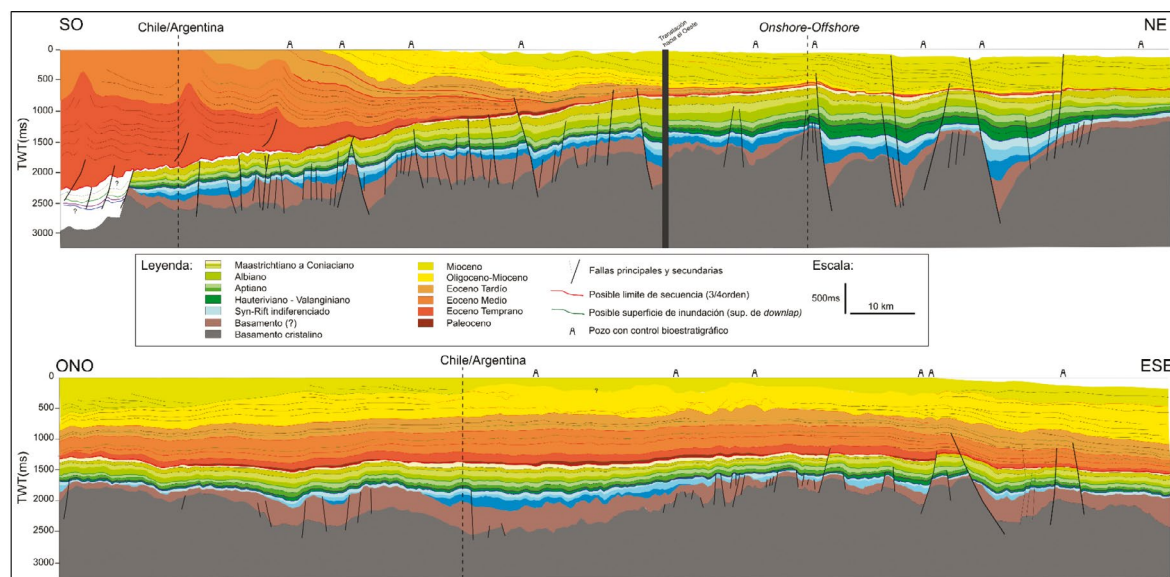


Figura 7. Secciones interpretadas regionales en Tiempo. NOTA: los espesores cretácicos al Sur están afectados por la compactación de los sedimentos y velocidad de las reflexiones sísmicas, dando un espesor aparente menor al real. Arriba, corte Dip. Abajo, corte strike. Ubicación de los cortes en Figura 2.

Coniaciano– Santoniano – Campaniano

El Cretácico Tardío muestra geometrías de reflectores sísmicos subparalelos, donde predominan las bajas amplitudes donde los pozos muestran poca variabilidad litológica y un régimen de depositación y deformación similar al Cretácico Temprano (Figura 7). No obstante,

las asociaciones micropaleontológicas analizadas indican un hiatus importante (en la zona de estudio) que abarcaría la mayor parte del Cenomaniano y Turoniano.

Muchos nanofósiles incluidos en esta secuencia tienen rangos que se extienden ampliamente dentro del Cretácico Tardío, no obstante, se reconocen bioeventos mediante los cuales se puede precisar de manera fidedigna la edad de las asociaciones que se incluyen.

Las ZNC CC12-CC16 corresponden al Turoniano tardío(?) – Coniaciano – Santoniano. Esta asociación contiene la FO de *Eiffellitus eximius* y LO de *Eprolithus floralis*.

Las ZNC CC17-CC22 del Campaniano incluye una asociación de formas entre las cuales se registra la FO de *Arkangelskiella cymbiformis* y LOs de *Reinhardtites anthophorus* y *Eiffellitus eximius*.

Estas sedimentitas son portadoras de una microfauna correspondiente a las denominadas “Zona de Notoplanulina rakauoana” y “Zona de Gaudyina healyi” designadas por Malumián y Masiuk (1976), para el Campaniano – Coniaciano. Entre las formas planctónicas se reconocieron: *Costelagerina pilula*, *Globotruncana lapparenti*, *Rugoglobigerina bulbosa*, *Wittheinella báltica*, *Planobeterohelix reussi* y *Globigerinelloides alvarezii*. Entre las bentónicas *Gaudryina healyi*, *Dorothyia bulleta*, *Notoplanulina australis*, *Notoplanulina rakauoana*, *Gavelinella murchinsonensis*, *Alabamina australis australis*, *Gavelinella (Berthelina) ex. gr. berthelini*, y *Gyroidinoides nodus*.

En sentido general, estas asociaciones muestran una somerización, pasando de condiciones marinas de plataforma externa, media a interna.

Maastrichtiano Temprano

Esta secuencia deposicional presenta menor expresión sísmica que las descritas anteriormente, no obstante, se caracteriza por reflectores de mayor amplitud que marcan, al igual que los datos de pozo, un cambio litológico a facies más gruesas.

Los análisis bioestratigráficos caracterizan este intervalo en casi toda el área de estudio por una asociación microfaunística integrada por foraminíferos aglutinados, denominada “Zona de foraminíferos arenaceos” (Malumián y Masiuk, 1976) donde se encuentran *Haplophragmoides walteri*, *Haplophragmoides* spp, *Trochammina* spp, *Trochammina texana* y *Ammodiscus cretaceus*. Los elementos microfaunísticos que caracterizan esta zona habitan ambientes marinos someros y caracterizan áreas parálidas, en donde se interdigitan sedimentos marinos y continentales. Estas especies tienen una amplia tolerancia a factores desfavorables como la salinidad, PH, contenido en oxígeno y turbidez de las aguas.

Paleoceno – base del Eoceno Temprano

Este intervalo está presente localmente en algunos de los pozos estudiados. La presencia del mismo está controlada por las fallas de *rift* Jurásicas (Figura 8).

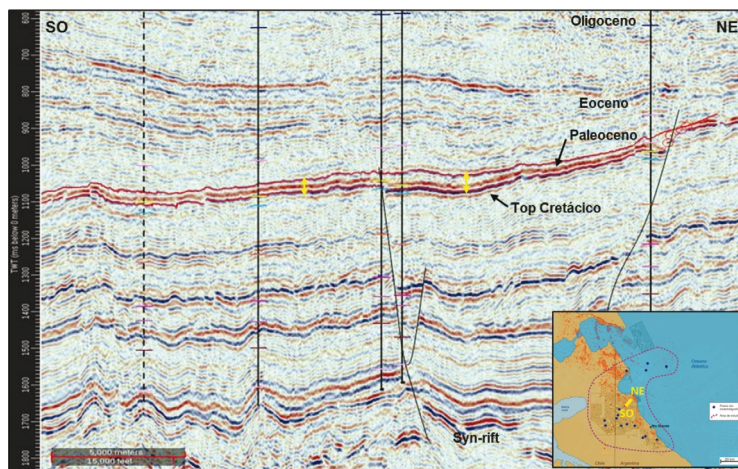


Figura 8. Ejemplo de reactivación normal de fallas de basamento y preservación de depósitos Paleocenos.

Los microfósiles danianos típicos de Argentina no han sido registrados en los sondeos analizados. Las asociaciones recuperadas de nanofósiles (*Chiasmolithus bidens*, *Hornibrookina teuriensis*, *Hornibrookina australis*, *Fasciculithus tympaniformis* y *Toweius occultatus*, ZNC NP5 – NP10) y foraminíferos planctónicos (*Subbotina triloculinoides*) indicarían edades entre el Paleoceno Tardío y base del Eoceno Temprano. La presencia de *Fasciculithus* sugeriría un incremento de temperatura de las aguas sobre la plataforma.

Eoceno

La secuencia Eocena presenta el mayor espesor sedimentario observado en el área y es claramente reconocible en los cortes sísmicos por su aspecto progradante en dirección NE (Figura 7, corte *dip*) y está caracterizado en los pozos por una predominancia de depósitos finos e intercalaciones arenosas locales.

Hacia el Sur se observa la secuencia completa del Eoceno, actualmente levantada y casi expuesta desde el sur de Laguna Hortensia y Uribe, mientras que hacia el norte (*offshore*) se condensa y solo se reconoce en pozos la porción más tardía de esta época.

A partir de la interpretación sísmica y bioestratigráfica se dividió en tres intervalos: temprano, medio y tardío.

Eoceno Temprano (ZNC NP11 – NP14a) se caracteriza por la presencia de *Discoaster lodoensis*, *Discoaster kuepperi*, *Helicosphaera seminulum*, *Toweius pertusus*, *Toweius occultatus*, *Toweius rotundus* y *Zygrhablithus bijugatus nolfii* entre los nanofósiles y *Subbotina triloculinoides* y *Acarinina wilcoxensis* entre los foraminíferos planctónicos.

Su geometría sísmica se caracteriza a su vez por tener una relación de downlap o onlap (relativo en función de la inclinación inicial) sobre los depósitos Cretácico Tardíos y en ciertas áreas, los de edad paleocena.

Eoceno Medio (ZNC NP14b – NP17) contiene los siguientes eventos de nanofósiles *Sphenolithus spiniger*, *Chiasmolithus solitus*, *Ch. modestus*, *Ch. medius*, *Ch. grandis* y *Pemma basquensis* junto a la presencia de los foraminíferos planctónicos: *Acarinina primitiva*, *Globigerina frontosa*, *Globigerina boweri* y *Acarinina spinuloinflata*.

Eoceno Tardío (ZNC NP18 – NP20) entre los nanofósiles característicos de este intervalo se registraron *Chiasmolithus oamaruensis*, *Helicosphaera compacta*, *Toweius callosus*, *Isthmolithus recurvus*, *Pseudotriquetrorhabdulus inversus*, *Reticulofenestra bisecta*, *R. reticulata*, *R. daviesii*, *R. umbilica* y *R. lockeri* y la LO de los foraminíferos planctónicos *Subbotina linaperta*, *Globigerinatheka index*, *Subbotina angiporoides minima*, *Truncarotaloides collactea* y *Globorotaloides turgida* acompañados por *Globigerina euapertura* y *Subbotina angiporoides*.

Entre los foraminíferos bentónicos característicos del Eoceno de la cuenca se recuperaron *Bathysiphon eocenicus*, *Anomalinoidea pinguiglabra*, *Elphidium saginatum*, *Lagenoglandulina annulata*, *Cyclammina incisa*, *Praeglobobulimina pupoides* y *Neugeborina longiscata*.

De manera general los datos bioestratigráficos muestran que, durante el Eoceno (el sector *onshore* actual de la Cuenca) se encontraba dentro de un ambiente marino, variando de sur a norte entre condiciones de plataforma externa-talud superior hasta plataforma media. En el sector *offshore* actual las condiciones que predominaban durante el Eoceno son menos profundas (plataforma media).

Incrementos en la diversidad de los nanofósiles y foraminíferos a finales del Lutetiano y durante el Bartoniano, marcarían un evento transgresivo (posible superficie de máxima inundación) evidenciado también por una superficie importante de downlap en la sísmica (Figura 9).

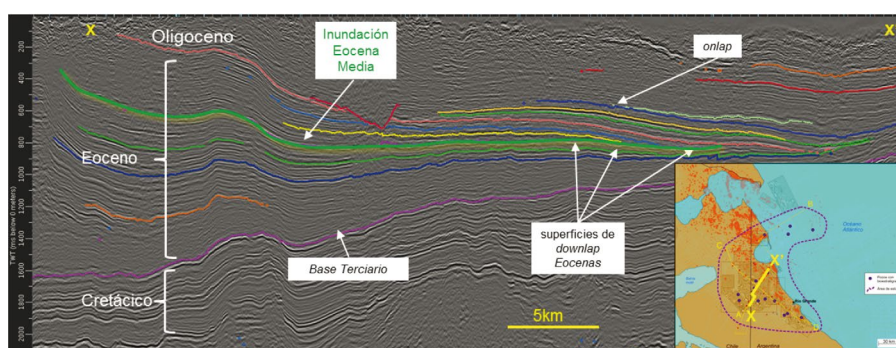


Figura 9. Progradaciones Eocenas en el área de estudio, mostrando una relación de downlap con un reflector interno (verde), interpretado como el evento transgresivo Lutetiano – Bartoniano.

Los resultados de la bioestratigrafía y la interpretación sísmica indicarían 3 condiciones de sedimentación diferentes. Un contexto de antifosa, donde se observan progradaciones relacionadas al avance del frente de plegamiento con progradaciones en dirección SO-NE, en un contexto marino que alcanza su mayor profundidad en el centro del área estudiada (Carmen Silva). Un contexto de plataforma, hacia el norte de la zona de estudiado (área de San Sebastián o Cabo

Nombre). Por último, en la zona sur este del área de estudio (Lago Fuego), un contexto marino profundo donde la sedimentación se ve influenciada por la presencia de un alto de basamento. La presencia de estos tres ambientes en el Eoceno indica la importancia de la configuración topográfica previa para el desarrollo de la sedimentación en este período.

Sísmicamente no se observan reflectores continuos como en el Cretácico, pero se distinguen anomalías de amplitud locales correspondientes a cambios litológicos en pozos (Figura 10). Extracciones de amplitud en estas anomalías muestran geoformas elongadas orientadas en sentido NO-SE que se pueden interpretar como barras de shoreface o como turbiditas de tipo “*shingled*” según la posición de las mismas en las progradaciones y la geoforma extraída (Figura 11).

Dentro de cada intervalo Eoceno, se observan cambios sedimentarios de menor escala. Esto es visible en el sector sur del área de estudio donde se denotan aumentos locales de espesor entre fallas de despegue sinsedimentarias, interpretados como mini cuencas de *piggy-back*. También se han identificado progradaciones y canalizaciones con desarrollo de cañones y abanicos en sentido axial al avance de la faja plegada (Figuras 12 y 13).

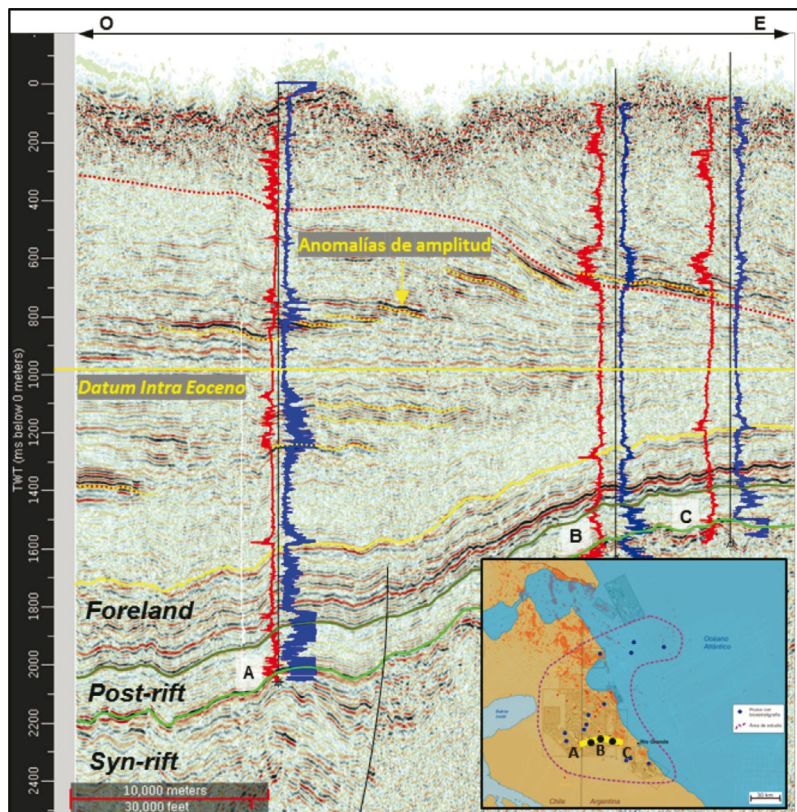


Figura 10. Corte sísmico horizontalizado a un nivel Intraceno. Anomalías de amplitud Eocenas mostrando el quiebre de las progradaciones. Nótese la deformación tectónica sinsedimentaria que aumenta la inclinación de las mismas respecto al datum utilizado y los depósitos atravesados por los pozos B y C que se disponen en relación de onlap sobre las progradaciones anteriores (depósitos turbidíticos).

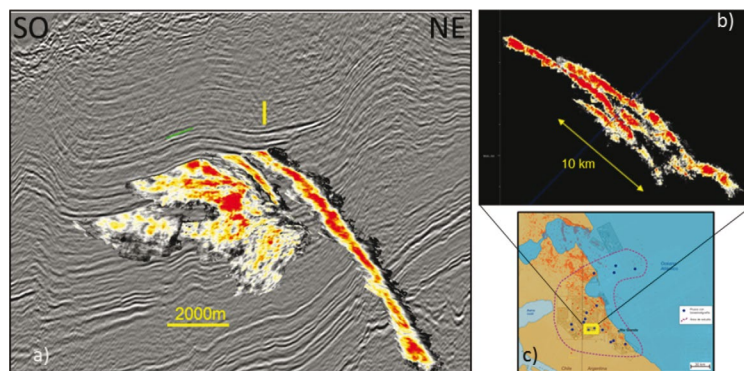


Figura 11. Extracción de amplitudes en las progradaciones Eocenas y geoformas obtenidas; a) Línea arbitraria SO-NE se observan las anomalías de amplitud en 3D; b) mapa en planta de las anomalías de amplitud eocenas; c) mapa de ubicación.

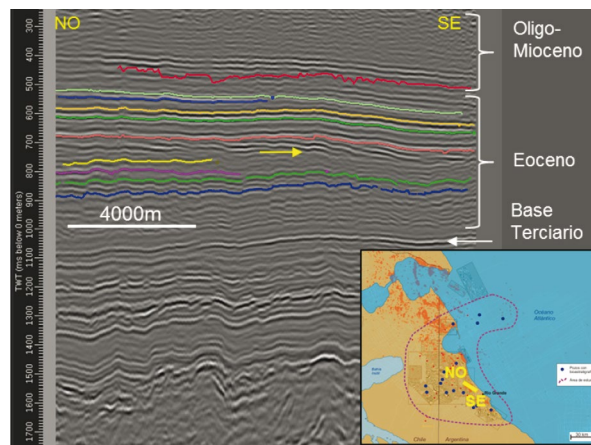


Figura 12. Corte sísmico en tiempo. Ejemplo de progradaciones intraeocenas en sentido NO-SE en un contexto de relleno de antepaís con dirección de preferencia SO-NE.

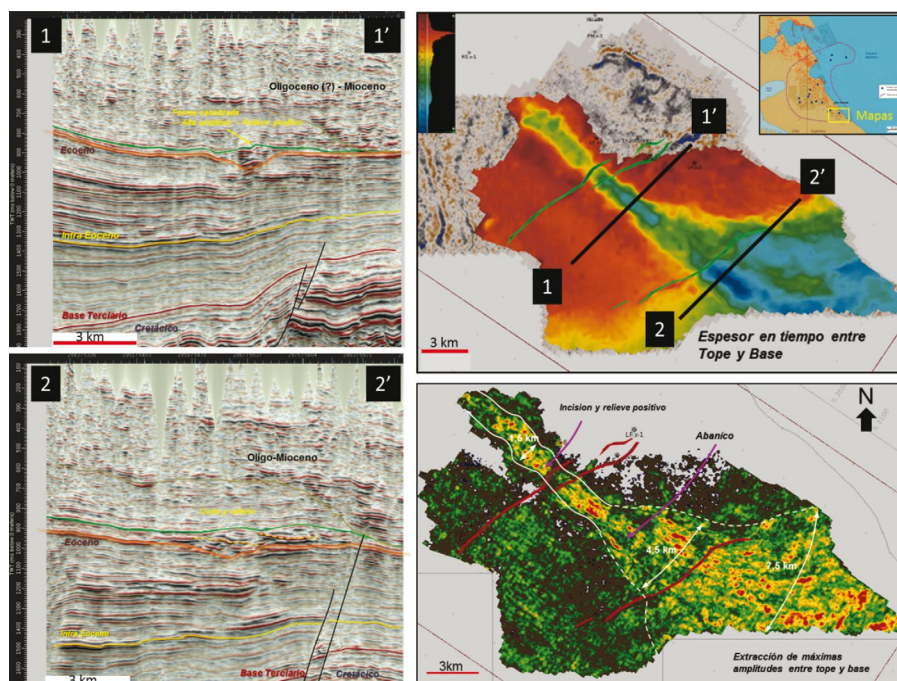


Figura 13. Mapa de espesor, cortes sísmicos y extracción de amplitudes del intervalo superior del Eoceno, mostrando el desarrollo de sistemas sedimentarios en dirección NO-SE en un contexto de progradación SO-NE.

Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano

El Oligoceno y Mioceno Temprano se registra principalmente al norte del área de estudio. El mismo, se encuentra parcialmente exhumado y erosionado hacia el sur por los pliegues de la faja plegada, mal iluminado por el dato sísmico en su parte somera y pobremente muestreado en el intervalo superior de los pozos (cañería guía).

Este periodo se caracteriza en la zona estudiada por un pronunciado cambio en la dirección de sedimentación, con una dirección preferencial ONO hacia el ESE. La base de este intervalo tiempo es fuertemente erosiva, truncando los depósitos del Eoceno Superior, formando valles incisos en dirección SE reconocibles sísmicamente (Figura 14) con desarrollo de lóbulos en el extremo SE del área de estudio.

Por encima de este evento se reconoce una superficie de *downlap*, asociada a un evento transgresivo, sobre la cual se desarrollan progradaciones en dirección SE. En el sector de la Bahía de San Sebastián, es posible definir la posición del quiebre de plataforma que conforma la dirección de aporte interpretada (Figura 15).

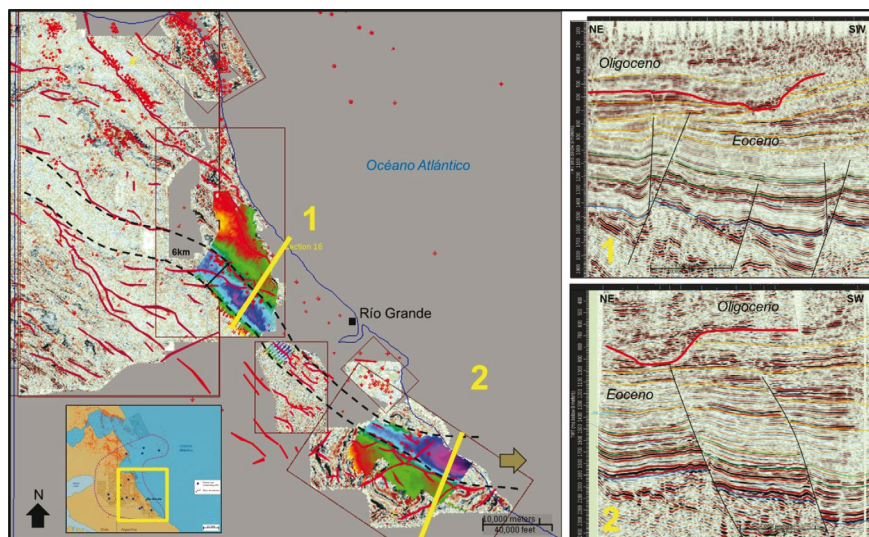


Figura 14. Incisión NO-SE durante el periodo Oligoceno-Mioceno. Mapa de ubicación y cortes sísmicos asociados

La asociación micropaleontológica de estas sedimentitas se caracteriza por presentar una buena diversificación con baja abundancia. Entre los principales bioeventos de foraminíferos planctónicos se reconocen *Globigerina ciperoensis*, *Globigerina euapertura*, *Globigerina ampliapertura*, *Globigerina angiporoides*, *Globorotalia obesa*, *Catapsydrax stainforthi*. Los foraminíferos bentónicos más conspicuos son *Lenticulina gyroscalprus*, *Hoeglundina elegans*, *Uvigerina gallowayi*, *Uvigerina jacksonensis*. Por último, los principales nanofósiles de este intervalo son: *Cyclicargolithus abisectus*, *Helicosphaera carteri*, *Helicosphaera euphratis*, *Helicosphaera obliqua*, *Helicosphaera recta*, *Reticulofenestra*

lockeri, y *Triquetrorhabdulus carinatus*. Esta asociación corrobora la interpretación sísmica que asocia estos depósitos a condiciones paleoambientales marinas de plataforma media en el sector centro norte estudiado y marino profundas hacia la zona sureste.

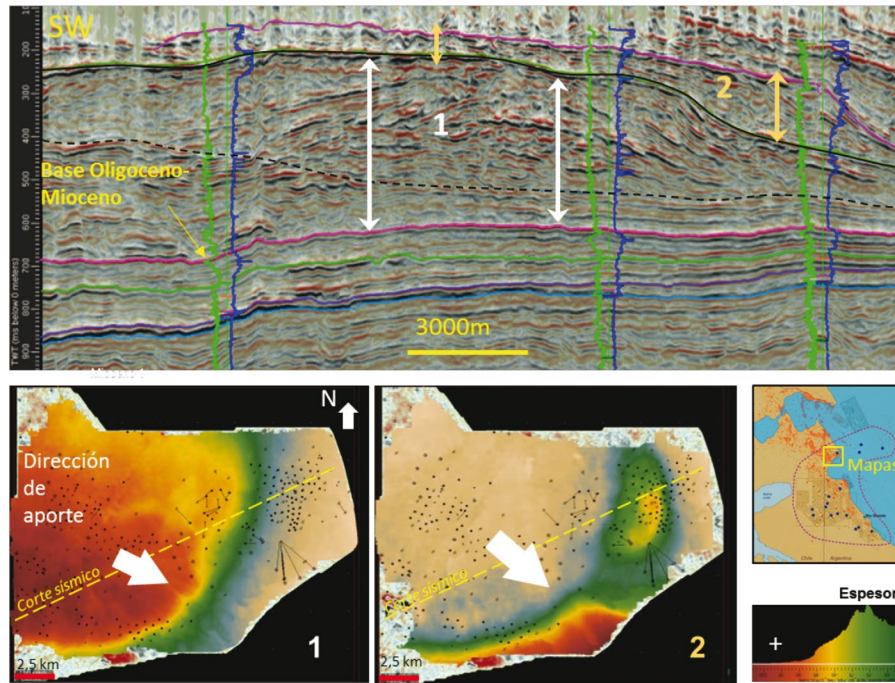


Figura 15. Corte sísmico SO-NE mostrando las secuencias Oligo-Miocenas y mapas de espesor correspondientes. Se observa una dirección de aporte NO-SE.

DISCUSION

El análisis regional de las secuencias antes descriptas, resumidas en las transectas, permiten asociar las mismas a diferentes estadios evolutivos de la cuenca.

Syn-Rift

La secuencia basal asociada a los depósitos que conforman el relleno de los hemigrábenes en el área de estudio estaría incorporada a la etapa de *syn-rift* de la cuenca. La edad de la misma está referida al Jurásico Superior. La extensión de este evento esta datada por varios autores entre ~152 y 142Ma (Tithoniano – Berriasiano) (Kleipes *et al.*, 2010 y Calderón *et al.*, 2007), los cuales extenderían la edad del mismo hasta el Berriasiano, incluyendo las secuencias más antiguas de la Fm. Springhill.

Sag

La etapa de sag se asocia a las secuencias de edad Valanginiano – Hauteriviano. De neto carácter transgresivo, comprende las formaciones Springhill, *Inoceramus Inferior* (Pampa Rincón) (Rodríguez *et al.*, 2015).

Entre el Hauteriviano tardío y el Aptiano, las asociaciones faunísticas muestran un cambio dramático de condiciones paleoambientales, pasando de un ambiente marino marginal a talud superior, sin quedar registrado el Barremiano. Este cambio paleoambiental indicaría una profundización importante de la cuenca hasta este periodo y podría incluir este intervalo tiempo como parte del estadio de sag, donde la inundación estaría asociada al desarrollo de corteza oceánica en la cuenca Marginal Rocas Verdes en el sector oeste (Carbonell *et al.* 2014). Este evento está distribuido y representado en toda la cuenca, tanto en Tierra del Fuego como en Santa Cruz y es conocida litológicamente como Lutitas con Ftanita (TdF Chile); Margas Verdes/Nueva Argentina (TdF Argentina) o Rio Mayer Superior (Santa Cruz).

Antepaís Cretácico

A partir del Albiano y hasta el Maastrichtiano, este sector de la cuenca parece estar caracterizado por un bajo aporte sedimentario en el cual los ciclos tienden a la somerización.

En el caso del Albiano la somerización observada en las condiciones paleoambientales, podría estar asociada al comienzo del cierre de la cuenca Marginal Rocas Verdes e inicio del antepaís Cretácico (Carbonell *et al.*, 2014).

Los ciclos regresivos sucesivos desde el Coniaciano hasta el Maastrichtiano estarían relacionados a pulsos tectónicos generados por la formación y migración de la faja plegada y corrida al Oeste y su influencia en el nivel eustático en estos sectores alejados de la cuenca, donde predominan las condiciones marinas de plataforma.

Un ejemplo de desarrollo del antepaís cretácico y pulso tectónico asociado es el documentado por la discordancia e hiatus de 10 Ma representado por la ausencia de los pisos Cenomaniano - Turoniano. Este podría estar asociado a la obducción de la corteza oceánica antes de los 86 Ma, tal como desarrolla Kepleis *et al.*, (2010) (según dataciones de zircones detríticos realizados en la Cordillera Darwin, hecho que reafirma las dataciones mencionadas en Fildani *et al.*, (2003).

Dentro de las secuencias Cretácicas, la zona de foraminíferos arenáceos, de edad Maastrichtiana Temprana, representaría el máximo regresivo observado.

Extensión Paleocena

Entre las secuencias del antepaís cretácico y terciario, se define un evento extensional observado sísmicamente, en subsuelo y afloramiento (Ghiglione *et al.*, 2008, 2013); asociado al

“*oroclinal bending*” del Cretácico Tardío (Carbonell *et al.*, 2014). y separación de los bloques Sud Americano y el Antártico, previo a la apertura del Pasaje de Drake (Ghiglione *et al.*, 2014). Relictos de depósitos Paleocenos representaría un potencial reservorio. Litológicamente asociado con la formación “Senoniano” en Tierra del Fuego (Argentina), estaría a veces confundido o agrupado con los depósitos de edad Maastrichtiana.

Antepaís Terciario

El antepaís terciario en el área de estudio se caracteriza por una discordancia angular sobre los depósitos subyacentes del Cretácico Superior y Paleoceno. La proximidad de la faja plegada es notoria en el sector sur donde los depósitos Eocenos sinorogénicos muestran un frente de plegamiento orientado en dirección ONO-ESE. Este cambio de dirección está bien documentado por Carbonell *et al.*, 2014 y Ghiglione *et al.*, 2014 entre otros. La sedimentación sinorogénica con la formación de cuencas de *piggy-back* y cambios en la dirección de aporte (de SO-NE a NO-SE) en subcuencas, observadas en subsuelo serían correlacionables en edad a las descritas en afloramiento por Carbonell *et al.*, 2012.

Paleoambientalmente, se reconocen tres ambientes tectonosedimentarios. Un sector sur, marino a marino profundo, influenciado por el avance de la faja plegada (antefosa), un sector norte de plataforma en el que predominan condiciones marinas menos profundas durante todo el Terciario y un sector SE, cercano a la faja plegada pero aislado a su vez por altos de basamento posiblemente reactivados, que lo mantienen en condiciones marino-profundas. Los sedimentos terciarios observados en afloramiento estarían directamente correlacionados a este subambiente tectonosedimentario.

El límite entre el sector de antefosa y plataforma estaría situado en el equivalente de la zona norte de Chorrillos/San Sebastián y Cabo Nombre y correspondería al equivalente de un “bulbo periférico” o bulge. En el sector *offshore*, la sedimentación Eocena, de poco espesor, estaría condicionada en todo momento por la generación de espacio en zonas relacionadas a hemigrábenes jurásicos.

Incrementos en la diversidad de los nanofósiles y foraminíferos a finales del Lutetiano y durante el Bartoniano, marcarían un evento transgresivo (posible superficie de máxima inundación) y podría coincidir con el óptimo climático del Eoceno medio ya registrado en otras localidades de la Cuenca Austral (Concheyro, 1995, Malumián, 1999; Pérez Panera, 2013).

Durante el Oligoceno-Mioceno se observa un importante cambio en la dirección de aporte, con un dominio de la dirección hacia el SO y la generación de importantes formas incisas en el sector central del área de estudio. La ubicación de estas incisiones parecería estar condicionada por la dirección NO de los hemigrábenes y a los altos topográficos al momento de la sedimentación. Estas zonas servirían de corredores sedimentarios por los cuales se podrían estar depositando las

formaciones de edad Oligocena-Miocena descriptas en afloramiento por Ponce *et al.*, 2008 en Cabo Domingo o los corredores sedimentarios propuestos para el Mioceno por Ghiglione *et al.*, 2016. Por último, también se podría inferir una menor influencia del avance de la faja plegada al SO durante este período, asociado a un cambio en el régimen tectónico.

CONCLUSION

Este trabajo integra multidisciplinariamente una vasta serie de datos de subsuelo con el conocimiento geológico global de la cuenca publicado en la literatura, y da un marco estructural y estratigráfico unificado al área de estudio (*onshore* y *offshore*). En él se definieron secuencias cronoestratigráficas y ambientes deposicionales dentro de un modelo sismoestratigráfico regional con el sustento de la bioestratigrafía.

El aporte de la bioestratigrafía permite ubicar discordancias temporales dentro del Cretácico la cuales no eran evidentes en sísmica y perfiles.

Los depósitos de edad Paleocena se encuentran restringidos localmente y asociados a fallas de basamento reactivadas por un evento extensional en este periodo. Los mismos muestran potencial hidrocarburífero al haberse encontrado pozos con rastros en este intervalo.

El antepaís Terciario se divide en 3 ambientes tectonosedimentarios en el área estudiada. El entendimiento de cada uno permite definir las mejores zonas de desarrollo de reservorio y potencial exploratorio.

Finalmente, la identificación de las incisiones Oligo-Miocenas apoya el estudio de su extensión en el sector *offshore* de Tierra del Fuego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a las gerencias de Estudios de Subsuelo de YPF y Geociencias de YTEC, quienes promovieron este estudio en conjunto. Agradecen al personal técnico del laboratorio de Bioestratigrafía por el procesamiento de gran parte del material estudiado. El presente trabajo fue financiado por el proyecto IB 602 Biozonación Integral de Cuenca Austral y Malvinas (Laboratorio de Bioestratigrafía de YTEC) y Evaluación del Play Terciario de la Cuenca Austral en el ámbito de la isla de Tierra del Fuego (YPF).

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|---|
| <p>Alvarez-Marrón, J., K.R. McClay, S. Harambour, L. Rojas y J. Skarmeta, 1993, "Geometry and evolution of the frontal part of the Magallanes fore-</p> | <p>land thrust and fold belt (Vicuna area), Tierra del Fuego, southern Chile", AAPG Bulletin, 77(11), p. 1904-1921.</p> |
|---|---|

- Archangelsky, S., 1969, "Estudio del paleomicroplankton de la Formación Río Turbio (Eoceno), provincia de Santa Cruz", *Ameghiniana* 6(3), p. 181-218.
- Bedoya Agudelo E., E. Olivero, A. Concheyro, P. Torres Carbonell y D. Martinioni, 2018, "Calcareous nannofossil from La Barca Formation (paleocene/Eocene boundary) Tierra del Fuego, Argentina", *Ameghiniana* 55(2), p. 223-229
- Berggren, W.A. y P.N. Pearson, 2005, "A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation", *The Journal of Foraminiferal Research* 35, p. 279-298.
- Bolli, H.M. y J.B. Saunders, 1985, "Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera", en Bolli, H.M., Saunders, J. B. y Pech-Nielsen, K. (eds.) *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, Great Britain, p. 155-262
- Bown, P., 1988, (Ed.) "Calcareous Nannofossil Biostratigraphy". Kluwer Academic Publisher. Printed in the United Kingdom at the Universited Press, Cambridge.
- Bown, P.R. y J.R. Young, 1997, "Mesozoic calcareous nannoplankton classification", *Journal of Nannoplankton Research*, 19, p. 21-36.
- Carbonell, P.J.T., L.V. Dimieri, E.B. Olivero, F. Bohoyo y J. Galindo-Zaldívar, 2014, "Structure and tectonic evolution of the Fuegian Andes (southernmost South America) in the framework of the Scotia Arc development", *Global and Planetary Change*, 123, p. 174-188.
- Caron, M., 1985, "Cretaceous planktic foraminifera", en H.M. Bolli, J.B. Saunders y K. Perch-Nielsen (eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, p. 17-86.
- Concheyro A., 1995, "Nanofósiles calcáreos del Cretácico Superior y Paleógeno de Patagonia, Argentina", Tesis Doctoral, Facultad Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Tomo I: 162 p. Tomo II: 159 p.
- Cuciniello C.D, J.P. Perez Panera, E. Bedoya Agudelo y E. Olivero, 2017, "Morfogrupos de foraminíferos aglutinados del Mienbro LB2, Formación La Barca en el área Cabo San José -Punta Ainol (Paleoceno, Cuenca Austral, Argentina)", 20° Congreso Geológico Argentino. Tucumán.
- Ellis, B. y A. Messina, 1940, (et seq.). "Catalogue of Foraminifera. American Museum of Natural History". Special Publication Series, 30 volúmenes.
- Ghiglione, M.C., A.T. Navarrete-Rodríguez, M. González-Guillot y G. Bujalesky, 2013, "The opening of the Magellan Strait and its geodynamic implications", *Terra Nova*, 25(1), p. 13-20.
- Ghiglione, M.C., J. Quinteros, D. Yagupsky, P. Bonillo-Martínez, J. Hlebszevtich, V.A. Ramos y S. Quesada, 2010, "Structure and tectonic history of the foreland basins of southernmost South America", *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), p. 262-277.
- Ghiglione, M.C., V.A. Ramos, J. Cuitiño y V. Barberón, 2016, "Growth of the Southern Patagonian Andes (46-53 S) and Their Relation to Subduction Processes", en *Growth of the Southern Andes*, Springer, Cham, p. 201-240.
- Ghiglione, M.C., F. Suarez, A. Ambrosio, G. Da Poian, E.O. Cristallini, M.F. Pizzio y R. M. Reinoso, 2009, "Structure and evolution of the Austral Basin fold-thrust belt, southern Patagonian Andes", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(1), p. 215-226.
- Ghiglione, M.C., C. Sue, M.E. Ramos, J.E. Tobal y R.E. Gallardo, 2016, "The relation between Neogene Denudation of the southernmost Andes and sedimentation in the *offshore* Argentine and Malvinas

- basins during the opening of the Drake Passage”, en *Geodynamic Evolution of the Southernmost Andes*, Springer, Cham, p. 109-135.
- Ghiglione, M.C., D. Yagupsky, M. Ghidella y V.A. Ramos, 2008, “Continental stretching preceding the opening of the Drake Passage: evidence from Tierra del Fuego”, *Geology*, 36(8), p. 643-646.
- Ghiglione, M., V. Ramos y E. Olivero, 2004. “Chronology of orogenic front propagation in the Fuegian fold-thrust belt”. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 45, p. 59-62.
- Klepeis, K., P. Betka, G. Clarke, M. Fanning, F. Hervé, L.Rojas, ... y S. Thomson, 2010, “Continental underthrusting and obduction during the Cretaceous closure of the Rocas Verdes *rift* basin, Cordillera Darwin, Patagonian Andes”. *Tectonics*, 29(3).
- Kraemer, P.E., J.V. Ploszkiewicz y V.A. Ramos, 2002, “Estructura de la Cordillera Patagónica Austral entre los 46 y 52 S”, en *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Santa Cruz. Relatorio del 15 Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Santa Cruz, Asociación Geológica Argentina, p. 353-364.
- Loeblich, A.R. y H. Tappan, 1987, “Foraminiferal genera and their classifications”. Van Nostrand Reinhold, New York, 2 vol, 1182 pp.
- Loeblich, A.R. y H. Tappan, 1992, “Present status of foraminiferal classification”, en Y. Takayanagi y T. Saito (eds.), *Studies in Benthic Foraminifera. Proceedings of the Fourth International Symposium on Benthic Foraminifera*, Sendai, 1990 (Benthos '90). Tokai University Press, Tokyo, Japan, p. 93-102.
- Malumián, N., A.A. Ardolino, M. Franchi, M. Remesal y F. Salani, 1999, “La sedimentación y el volcanismo terciarios en la Patagonia extraandina”, en *Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales*, Vol. 29, No. 18, p. 557-612.
- Malumián, N. y V. Masiuk, 1976, “Foraminíferos de la Formación Cabeza de León (Cretácico superior, Tierra del Fuego, Rep. Argentina)”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 31, p. 180-202.
- Malumián, N. y E.B. Olivero, 2006, “El Grupo Cabo Domingo, Tierra del Fuego: bioestratigrafía, paleoambientes y acontecimientos del Eoceno-Mioceno marino”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61(2), p. 139-160.
- Malumián, N., T. Hromic y C. Nañez, 2013, “El Paleógeno de la Cuenca de Magallanes: Bioestratigrafía y discontinuidades”. *Anales Instituto Patagonia (Chile)* 41(1), p.29-52.
- Malumián, N., E. Olivero y C. Concheyro, 1994, “Eocene microfossils from the Leticia Formation, Tierra del Fuego Island, Argentina”, *Reunión Anual de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina*.
- Manivit, H., 1981, “Les nannofossiles du Crétacé Moyen Européen”, *Cretaceous Research*, 2, p. 361-369.
- Martini, E., 1971, “Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation”. 2nd. Conference on Planktonic Microfossils, Roma 2, p. 739-785.
- Martinioni, D.R., E. B. Olivero y S. Palamarczuk, 1999, “Estratigrafía y discordancias del Cretácico Superior-Paleoceno en la región central de Tierra del Fuego”. *Anales del Servicio Geológico Mineiro Argentino*, 33, p. 7-16.
- Martinioni, D.R. y E.B. Olivero, 2010, “Estratigrafía y sedimentología del Mesozoico superior-Paleógeno de la Sierra de Beauvoir y adyacencias, Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina” (No. 550

- 55). e-libro, Corp.
- Masiuk, V. y F. Viñas, 1986, "Acerca de la Lenticulina nodosa y especies vinculadas", Boletín de informaciones petroleras, Tercera Época, año III, N°8.
- Menéndez, C.A., 1965, "Microplankton fósil de sedimentos terciarios y cretácicos del norte de Tierra del Fuego (Argentina)", *Ameghiniana* 4(1), p. 7-18.
- Natland, M.L., E. Gonzalez, A. Cañon y M. Ernst, 1974, "A system of Stages for Correlation of Magallanes Basin Sediments", *Geol. Soc. Am. Mem.* 139, p. 1-125.
- Olivero, E.B. y N. Malumián, 2008, "Mesozoic-Cenozoic stratigraphy of the Fuegian Andes, Argentina", *Geologica Acta: an international earth science journal*, 6(1).
- Olivero, E.B., N. Malumián y S. Palamarczuk, 2003, "Estratigrafía del Cretácico Superior-Paleoceno del área de Bahía Thetis, Andes fueguinos, Argentina: acontecimientos tectónicos y paleobiológicos", *Revista geológica de Chile*, 30(2), p. 245-263.
- Perez Panera J.P., C.D. Cuciniello, E. Bedoya Agudelo y E. Olivero, 2017, "Early Eocene Calcareous nannofossil of Punta Torcida Formation, Austral Basin, Patagonia: Biostratigraphy and Paleoceanography", 16th International nannoplankton Association meeting, Athens, Greece.
- Pérez Panera J.P., 2013, "Nanofósiles calcáreos y bioestratigrafía del Cretácico del sudeste de la Cuenca Austral, Patagonia, Argentina", *Ameghiniana*, Vol.49 (2).
- Ponce, J.J., E.B. Olivero y D.R. Martinioni, 2008, "Upper Oligocene-Miocene clinoforms of the foreland Austral Basin of Tierra del Fuego, Argentina: Stratigraphy, depositional sequences and architecture of the foredeep deposits", *Journal of South American Earth Sciences*, 26(1), p. 36-54.
- Ponce, J.J., E.B. Olivero, D.R. Martinioni y M.L. Cabrera, 2006, "Sustained and episodic gravity-flow deposits and related bioturbation patterns in Paleogene turbidites (Tierra del Fuego, Argentina)". *SPECIAL PUBLICATION-SEPM*, 2006, vol. 88, p. 253.
- Ramos, V. A., 2004, "Tectonics of the southernmost Andes: a comparison between the Patagonian and the Fuegian Cordilleras". *Appligata*, 45, p. 1-10.
- Ramos, V.A. y M. C. Ghiglione, 2008, "Tectonic evolution of the Patagonian Andes". *Developments in Quaternary Sciences*, 11, p. 57-71.
- Robbiano J.A., H. Arbe y A. Gangui, 1996, "Cuenca Austral Marina", en Ramos, V.A., Turic, M.A. (eds.). *Geología y Recursos de la Plataforma Continental Argentina*, Buenos Aires, p. 323-342.
- Rodriguez, J. F., M. Miller y M.J. Cagnolatti, 2008, "Sistemas Petroleros de Cuenca Austral, Argentina y Chile", en VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Simposio de Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas).
- Ronchi, D. y G. Angelozzi, 2001, "Estudio Bioestratigráfico de la Cuenca de Malvinas e Isla de tierra del Fuego". Informe inédito.
- Ronchi D. y N. Angelozzi, 1999, "Zonación y Correlación Bioestratigráfica de la Cuenca de Malvinas". Informe inédito.
- Sissingh, W., 2007, "Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton". *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw, Classic Papers*.
- Torres Carbonell, P.J., N. Malumián y E.B. Olivero, 2009, "El Paleoceno-Mioceno de Península Mitre: antefosa y depocentro de techo de cuña de la cuenca Austral, Tierra del Fuego, Argentina",

- Andean geology, 36(2), p. 197-235.
- Torres Carbonell, P.J., L.V. Dimieri y E.B. Olivero, 2013, "Evaluation of strain and structural style variations along the *strike* of the Fuegian thrust-fold belt front, Argentina", Andean Geology, 40(3).
- Young, J.R. y P.R. Bown, 1997a., "Higher Classification of calcareous nannofossils", Journal of Nanoplankton Research, 19, p. 15-20.
- Young, J.R. y P.R. Bown, 1997b, "Cenozoic calcareous nannofossil classification". Journal of Nanoplankton Research, 19, p. 36-47.
- Young, J.R., P.R. Bown y J.A. Lees, 2018, Sitio Web International Nannoplankton Association. <http://www.mikrotax.org/Nannnotax3>.
- Young, J.R., B.S. Wade y B.T. Huber, 2017, Sitio Web < <http://www.mikrotax.org/pforams> >.