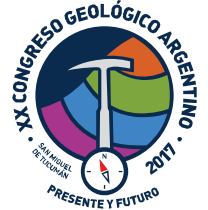




XX CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO
GEOLOGÍA, PRESENTE Y FUTURO
Agosto de 2017 | San Miguel de Tucumán



SIMPOSIO 15

La Geocronología como herramienta para la resolución de problemas geológicos y tectónicos

Coordinadores

CARMEN MARTÍNEZ DOPICO
MAXIMILIANO NAIPAUER



GEOCRONOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN: EL CRETÁCICO INFERIOR DE LOS ANDES

Beatriz AGUIRRE-URRETA¹, Marina LESCANO¹, Andrea CONCHEYRO¹, Verónica VENNARI², Maisa TUNIK³, Maximiliano NAIPAUER¹, Víctor A. RAMOS¹

¹Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN, UBA-CONICET). Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. aguirre@gl.fcen.uba.ar

²Grupo vinculado al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), Museo de Historia Natural de San Rafael, Mendoza.

³Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, CONICET y Universidad de Río Negro, Sede Alto Valle, Av. Roca 1242, 8332 General Roca, Río Negro.

RESUMEN

Se actualiza la bioestratigrafía de alta resolución de amonites y nanofósiles calcáreos con análisis U-Pb CA-ID-TIMS en circones del Grupo Mendoza (Formaciones Vaca Muerta y Agrio) del Cretácico Temprano de la cuenca Neuquina. Los bioeventos reconocidos de nanofósiles calcáreos han permitido ajustar la ubicación del límite Jurásico/Cretácico en la Formación Vaca Muerta y varios horizontes guía en la Formación Agrio. Estos bioeventos son correlacionados con las zonaciones de amonites, las que a su vez muestran robustas correlaciones con las registradas en el Tethys. Se cuenta con cuatro dataciones U-Pb CA-ID-TIMS, una en la Formación Vaca Muerta ($139,55 \pm 0,18$) y tres en la Formación Agrio ($130,39 \pm 0,16$ Ma, $129,06 \pm 0,16$ Ma y $127,42 \pm 0,15$ Ma). Estas edades, ancladas bioestratigráficamente, permiten proponer una edad cercana a 140 Ma para el límite Jurásico/Cretácico, una edad cercana a 132 Ma para la base del Hauteriviano y una edad de 126-127 Ma para el límite Hauteriviano-Barremiano. Estas edades difieren marcadamente de las actualmente aceptadas por la Comisión Internacional de Estratigrafía de la UICG.

Palabras clave: CA-ID-TIMS U-Pb, amonites, nanofósiles, cuenca Neuquina, Argentina.

ABSTRACT

High resolution geochronology and biostratigraphy: the Lower Cretaceous of the Andes. High-resolution biostratigraphic studies of calcareous nanofossils and ammonites combined with CA-ID-TIMS U-Pb ages in the Mendoza Group (Vaca Muerta and Agrio Formations) of the Early Cretaceous of the Neuquén Basin are updated. The recognized bioevents of calcareous nanofossils allowed constraining the Jurassic/Cretaceous boundary in the Vaca Muerta Formation and several guide horizons in the Agrio Formation. These nanofossil bioevents are correlated with zonations of ammonites, which in turn show robust correlations with those recorded in the Tethys. There are four U-Pb CA-ID-TIMS ages, one in the Vaca Muerta Formation (139.55 ± 0.18) and three in the Agrio Formation (130.39 ± 0.16 Ma, 129.06 ± 0.16 Ma and 127.42 ± 0.15 Ma). These ages, anchored biostratigraphically, allow us to propose an age *ca.* 140 Ma for the Jurassic-Cretaceous boundary, an age close to 132 Ma for the base of the Hauterivian and an age of 126-127 Ma for the Hauterivian-Barremian boundary. These ages differ markedly from those currently accepted by the International Commission on Stratigraphy of the IUGS.

Keywords: CA-ID-TIMS U-Pb, ammonites, nanofossils, Neuquén Basin, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los pisos "estándar" del Cretácico Inferior están basados en secciones estratigráficas ubicadas en la provincia Mediterránea del Tethys y se definen principalmente sobre la base de bioestratigrafía de amonites y de nano-

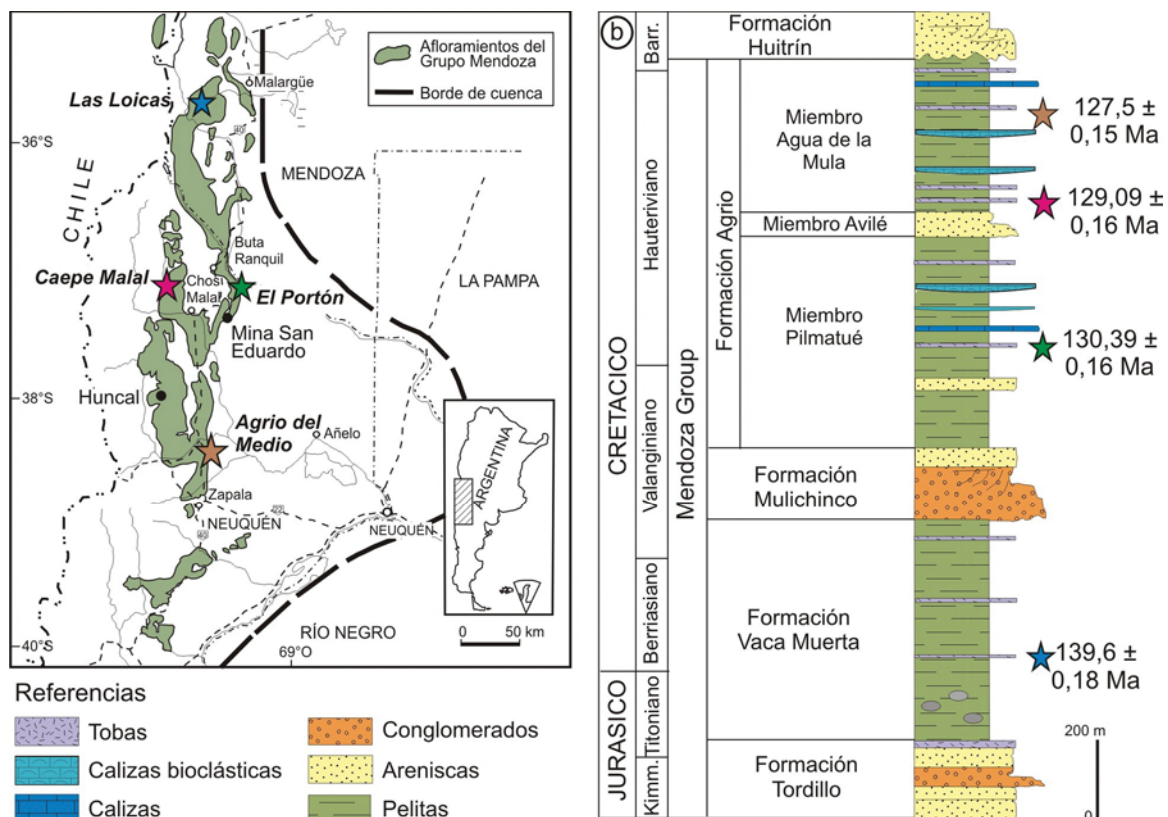
fósiles calcáreos, los que han sido calibrados con la secuencia M de crones de polaridad magnética. A pesar de los esfuerzos de la Comisión Internacional de Estratigrafía, la escasez de edades radiométricas precisas ha impedido la construcción de una escala de tiempo geológica precisa para el intervalo en cuestión. Los amplios aflora-

mientos lateralmente continuos, portadores de un abundante registro fósil, combinados con tobas de caída intercaladas en las espesas sucesiones sedimentarias, hacen de la cuenca Neuquina un excelente sitio para estudios estratigráficos, paleontológicos y radioisotópicos. Es por ello que en este trabajo se presentan datos radioisotópicos de precisión que, combinados con estudios bioestratigráficos de amonites y nanofósiles calcáreos en esta cuenca, permiten modificar y mejorar la precisión de la actual escala global de tiempo geológico para el Cretácico Temprano.

MARCO GEOLÓGICO

La cuenca Neuquina se localiza en el centro-oeste de Argentina entre los 32°-40° LS; al sur de los 35° la cuenca se expande ampliamente hacia el este formando el denominado engolfamiento neuquino (Fig. 1). En su totalidad registra un relleno de más de 7.000 metros de potencia de rocas sedimentarias marinas y continentales que abarcan desde el Triásico superior al Paleoceno (Legarreta y Gulisano 1989, Legarreta y Uliana 1991). A comienzos del Jurásico Temprano se restableció en el margen occidental del Gondwana un sistema de subducción, con el desarrollo del primer arco magmático mesozoico, dominado por un régimen extensional que controló la

formación de cuencas de intra-arco y retroarco, caracterizadas por un ambiente marino. Este régimen en la cuenca de retroarco neuquina perduró desde el Jurásico Medio hasta el Cretácico Temprano, concentrando la subsidencia regional. Hacia fines del Cretácico Temprano la cuenca Neuquina se convierte en una cuenca de antepaís debido al incipiente levantamiento de la Cordillera de los Andes; proceso que produjo el retiro definitivo de los mares del Pacífico, mientras que la culminación de la estructuración de la cuenca ocurre durante el Mioceno (Ramos 1999). Las rocas del Cretácico Inferior se agrupan en el ciclo Ándico definido por Groeber (1946) que comprende sedimentitas mayormente marinas del Grupo Mendoza como así también las de ambientes transicionales a continentales pertenecientes al Grupo Bajada del Agrio. El Grupo Mendoza abarca la transgresión marina del Pacífico de edad tithoniana-neocomiana y está integrado por las formaciones, de base a techo: Tordillo, Vaca Muerta, Mulichinco/Chacho y Agrio (Fig. 1). Nuestros estudios se concentran en las formaciones Vaca Muerta y Agrio donde la presencia de tobas de caída intercaladas en la sucesión sedimentaria fosilífera han permitido obtener tanto dataciones absolutas con la metodología CA-ID-TIM U-Pb en circones como relativas, basadas en el estudio de los amonites y los nanofósiles calcáreos.

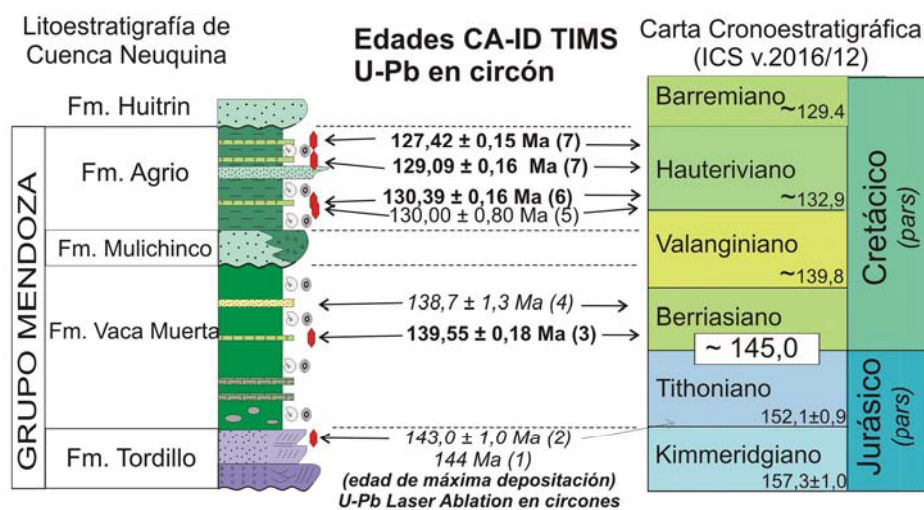


RESULTADOS

Hasta el presente, para el intervalo Berriasiano-Hauteriviano se registran en la cuenca Neuquina cuatro edades U-Pb CA-ID TIMS (Vennari *et al.* 2014, Aguirre-Urreta *et al.* 2015, 2017), dos edades U-Pb SHRIMP (Aguirre-Urreta *et al.* 2008, Schwarz *et al.* 2016) y una edad LA-ICP-MS U-Pb (Naipauer *et al.* 2015a). Son relevantes también edades LA-ICP-MS U-Pb de la Formación Tordillo (Naipauer *et al.* 2015b, Horton *et al.* 2016) (Figura 2).

de se han hallado amonites del Berriasiano tardío y la edad máxima de sedimentación, basada en el circón más joven es de $138,7 \pm 1,3$ Ma.

Aguirre-Urreta *et al.* (2008) publicaron la primera edad absoluta del Miembro Agua de la Mula de la Formación Agrio en la localidad Caepe Malal que arrojó un valor de $132,5 \pm 1,3$ Ma para la base de este miembro. Dado que la edad obtenida contenía un error relativamente grande (supera la duración promedio de una biozona de amonite) es que se decidió realizar una nueva datación en la misma toba con una metodología más precisa. Es así que Aguirre-Urreta *et al.* (2015) proporcio-



(1) Naipauer *et al.* 2015 b, (2) Horton *et al.* 2016, (3) Vennari *et al.* 2014, (4) Naipauer *et al.* 2015 a, (5) Schwarz *et al.* 2016, (6) Aguirre-Urreta *et al.* 2017, (7), Aguirre-Urreta *et al.* 2015

Figura 2. Edades U-Pb en el Grupo de Mendoza y las discrepancias con aquellas edades propuestas como límites numéricos aproximados en la Carta Cronoestratigráfica 2016. Las edades en cursiva indican edades máximas de deposición, las edades en negrita indican la metodología CA-ID-TIMS U-Pb, la edad en fuente normal indica la metodología U-Pb SHRIMP.

Vennari *et al.* (2014) presentaron una edad CA-ID TIMS U-Pb de $139,55 \pm 0,18$ Ma a partir de una toba intercalada con sedimentitas portadoras de amonites de edad berriasiana temprana en la Formación Vaca Muerta en la localidad de Las Loicas. La transición tithoniana-berriasiana es reconocida en esta unidad sobre la base de las zonas de amonites y los bioeventos de nanofósiles calcáreos que permiten establecer una buena correlación con las sucesiones tethyanas. En Las Loicas, se reconoce la primera aparición (FO) de *Nannoconus kampneri minor* como un bioevento berriasiano conocido a nivel global y considerado un evento confiable para definir la base del Cretácico. Si bien la definición formal de la base del Berriasiano se encuentra aún en discusión, estos autores han propuesto que el límite J/K debería aproximarse a los 140 Ma (Fig. 3). El análisis de Naipauer *et al.* (2015a) sobre la sedimentología, la bioestratigrafía y las áreas de procedencia correspondientes al Miembro Huncal de la Formación Vaca Muerta en el centro de Neuquén apoyaría una edad similar para ese límite, don-

naron dos edades precisas en circones de $129,09 \pm 0,16$ Ma y $127,42 \pm 0,15$ Ma por el método CA-ID TIMS U-Pb, a partir de dos tobas intercaladas entre las rocas sedimentarias marinas del Miembro Agua de la Mula de la Formación Agrio. Ambos horizontes se encuentran bien calibrados bioestratigráficamente con amonites y nanofósiles calcáreos, los que se correlacionan con la secuencia 'estándar' del Reino del Tethys. El horizonte inferior en Caepe Malal está muy cerca de la base del Hauteriviano superior, en la zona de *Spitidiscus riccardii* que se correlaciona con la parte inferior de la zona de *Subsanyella sayni* de la provincia mediterránea. En niveles superiores, aproximadamente a 10 metros del nivel de la datación se ha identificado la última aparición (LO) de *Cruceiellipsis cuvillieri*, considerado un bioevento del Hauteriviano tardío bien documentado en otras secciones de la cuenca Neuquina y que es correlacionado con amonites de la biozona de *Crioceratites schlagintweiti*.

El horizonte superior datado en Agrio del Medio, se encuentra en la zona de *Paraspiticerias groeberi*, que se

correlaciona con la parte media de la zona de *Pseudothurmannia ohmi* de la región Mediterránea (Reboulet *et al.* 2014). En estos niveles se ha reconocido la LO de *Nannoconus ligius*, bioevento que ha sido identificado en varias localidades de la cuenca Neuquina y permite definir estos niveles como próximos al límite Hauteriviano-Barremiano. Estas edades indican que la base del Hauteriviano tardío es cercana a 129,5 Ma y el techo cercano a 126-127 Ma (Fig. 3).

Recientemente Schwarz *et al.* (2016) presentaron la

primera edad numérica del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio de $130,0 \pm 0,8$ Ma (U-Pb SHRIMP en circones), procedente de una toba hallada en Mina San Eduardo e intercalada en la zona de *Holcoptychites neuquensis*, asignada al Hauteriviano temprano. Finalmente Aguirre-Urreta *et al.* (2017) han publicado una edad radioisotópica del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio en El Portón, noreste de la cuenca Neuquina. Esta edad de $130,39 \pm 0,16$ Ma (CA-ID TIMS U-Pb en circones) corresponde a una toba situada en la base de la sub-

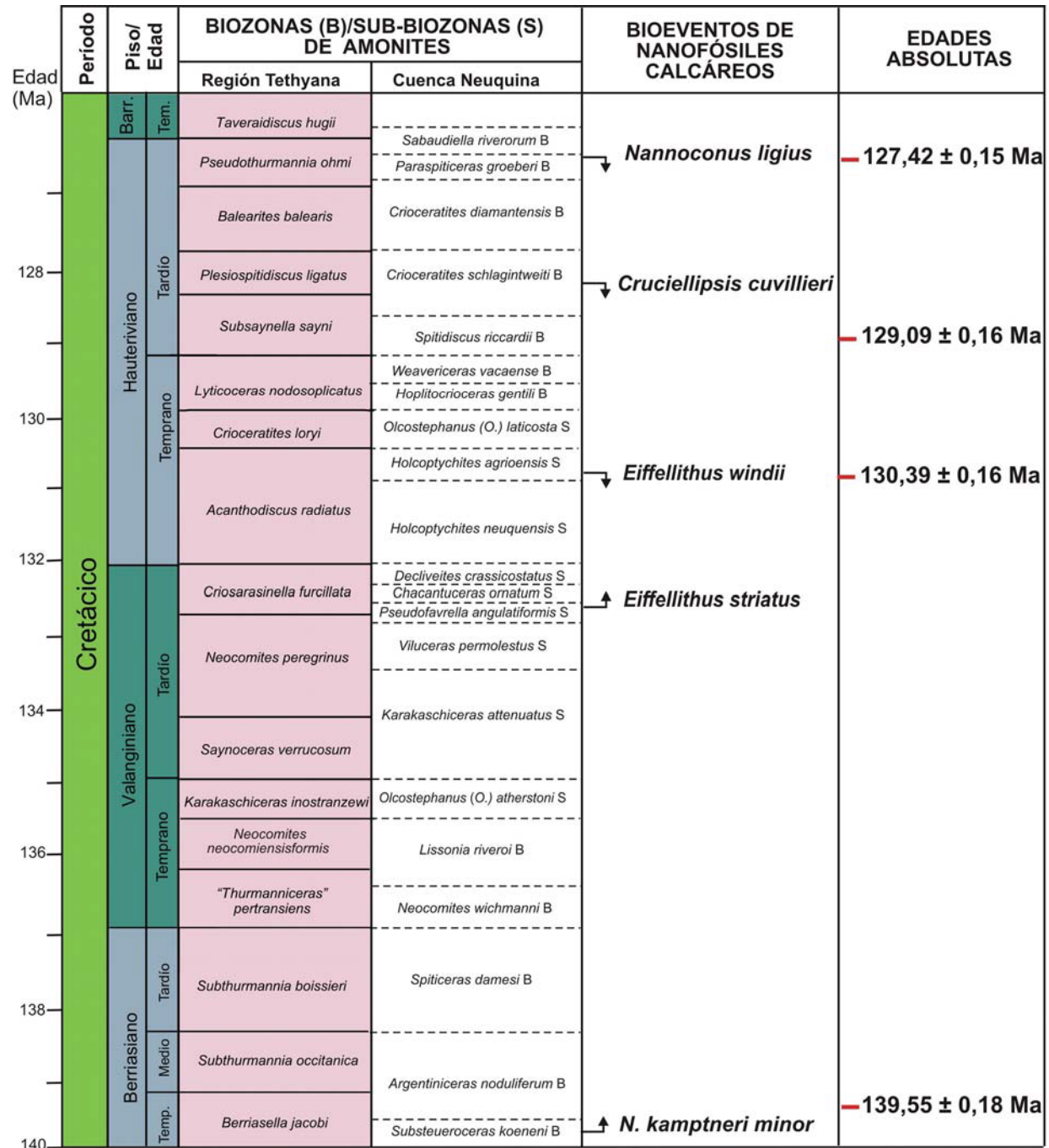


Figura 3: Correlación de zonas de amonites entre el Tethys y los Andes, bioeventos de nanofósiles calcáreos asociados a las dataciones CA-ID-TIMS U-Pb y valores absolutos de las mismas.

zona de *Holcoptychites agrioensis*, zona de *H. neuquensis* del Hauteriviano temprano. En estos niveles se ha reconocido la última aparición (LO) de *Eiffellithus windii*. Este bioevento conocido mundialmente es asignado al Hauteriviano temprano. Su correlación en la región tethyana con la zona de amonites *Acanthodiscus radiatus* confirma las correlaciones establecidas entre los esquemas de amonites de la región tethyana y el definido para la cuenca Neuquina (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Nuestros trabajos de bioestratigrafía de alta resolución cimentados en detallados estudios taxonómicos de amonites, conjuntamente con calibraciones basadas en bioeventos de nanofósiles calcáreos han permitido establecer un robusto marco temporal relativo de la cuenca Neuquina para el Berriasiano-Hauteriviano.

En el caso de la Formación Vaca Muerta, las edades obtenidas por Vennari *et al.* (2014) y Naipauer *et al.* (2015a) apoyan las propuestas de Channell *et al.* (1995, 2010) para situar la base del Berriasiano en torno a los 140-141 Ma en lugar de los 145,7 Ma de la actual escala geológica temporal de Ogg *et al.* (2016) o los 145,0 Ma de la Carta Cronoestratigráfica de la ICS (<http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-12.pdf>).

En la región Mediterránea del Tethys, Martínez *et al.* (2015) estudiaron la localidad de La Charce en la cuenca Vocontiana del sudeste de Francia (candidata para el GSSP de la base del Hauteriviano) y la localidad de Río Argos en el dominio sub-bético del sudeste de España (candidata para el GSSP de la base del Barremiano). Estos autores analizaron y combinaron los datos astrocronológicos de ambas secciones con los datos U-Pb de Aguirre-Urreta *et al.* (2015) y propusieron para la base del Valangiano una edad de $137,05 \pm 1,0$ Ma, la base del Hauteriviano a $131,96 \pm 1,0$ Ma y la base del Barremiano a $126,02 \pm 1,0$ Ma. Estos datos refuerzan nuestras diferencias con la escala de tiempo geológica oficial actual (Carta Cronoestratigráfica Internacional 2016/12 de la Comisión Internacional de Estratigrafía, ICS) y la nueva escala propuesta recientemente por Ogg *et al.* (2016).

Schwarz *et al.* (2016) consideraron que la edad de $130,0 \pm 0,8$ Ma en la zona de *Holcoptychites neuquensis* encajaba razonablemente bien con el límite coherente del Hauteriviano de $\sim 132,9$ Ma propuesto por Cohen *et al.* (2013), pero por otro lado, señalan que la duración relativamente corta de todo el período sería difícil de conciliar con su registro estratigráfico en la región del estudio. Sin embargo, no se refirieron a la contribución anterior de Martínez *et al.* (2015), quienes había propuesto una edad de $131,96 \pm 1,0$ Ma para la base del Hauteriviano y una duración mucho más larga de esta edad, ca. 6 Ma, que la que se reconoce en la carta cronoeestratigráfica global de la Comisión Internacional de Estratigrafía.

Es de destacar que ni nuestras dataciones CA-ID

TIMS U-Pb de alta precisión de la cuenca Neuquina (Aguirre-Urreta *et al.* 2015) ni la nueva escala geológica para el Valanginiano-Hauteriviano propuesta por Martínez *et al.* (2015) para la región Mediterránea que integra datos astrocronológicos, bioestratigráficos y radiocronológicos, son tomadas en consideración por Ogg *et al.* (2016). Estos autores mantienen las edades presentadas en Gradstein *et al.* (2012) para el patrón de polaridad de secuencia M y consecuentemente las calibraciones magnetoestratigráficas asociadas para el intervalo Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, como una firme propuesta de trabajo con algunas ligeras modificaciones. Las diferencias son enormes, más de 2 millones de años para la base del Valanginiano: $137,05 \pm 1$ Ma (Martínez *et al.* 2015) vs $139,4 \pm 0,7$ Ma (Ogg *et al.* 2016), casi 3 millones de años para la base del Hauteriviano: $131,96 \pm 1$ Ma (Martínez *et al.* 2015) vs $134,7 \pm 0,7$ Ma (Ogg *et al.* 2016) y más de 4 millones de años para la base del Barremiano: $126,02 \pm 1$ Ma (Martínez *et al.* 2015) frente a $130,8 \pm 0,5$ Ma (Ogg *et al.* 2016).

Ogg *et al.* (2016, p.180) adoptaron aquellas edades en lugar de las disponibles en la cuenca Neuquina, hasta que las incompatibilidades metodológicas pudieran ser resueltas "aplicando magnetoestratigrafía y otras verificaciones de las edades cronoeestratigráficas de estas importantes secciones de Argentina y otras regiones". Nuestra correlación entre los amonites australes andinos con los de la provincia Mediterránea del Tethys es cada día más robusta, tal como fue aceptada por el Grupo Kilian del ICS (Reboulet *et al.* 2014). Lo mismo sucede con los bioeventos de nanofósiles calcáreos registrados tanto en la cuenca Neuquina como en la región Mediterránea (algunos de ellos también reconocidos en el Reino Boreal) (Concheyro *et al.* 2009, Lescano y Concheyro 2014, Aguirre-Urreta *et al.* 2015, 2017).

CONCLUSIONES

Las presentes edades CA-ID-TIMS U-Pb demuestran aún más la fortaleza y potencial que revisten las dataciones radiométricas de las sucesiones sedimentarias utilizando esta metodología, que es ahora el tratamiento estándar para la geocronología U-Pb en circones y tal como señala Schmitz (2012), revolucionan el poder de resolución y la aplicación de ID-TIMS en problemas geocronológicos de calibración de la escala temporal. Nuestros estudios de bioestratigrafía de alta resolución con amonites y nanofósiles calcáreos, sumados a estas precisas edades radioisotópicas, han comenzando a llenar una brecha de más de 14 millones de años en la calibración numérica de la actual escala global de tiempo geológico para el Cretácico Temprano.

Sin duda, los proyectos de investigación en curso en la cuenca Neuquina sobre magnetoestratigrafía, astrocronología, bioestratigrafía y dataciones radioisotópicas precisas mejorarán fuertemente la cronología del Cretácico Temprano y contribuirán a la construcción de una

escala de tiempo geológica más precisa y estable.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguirre-Urreta, M.B., Pazos, P.J., Lazo, D.G., Fanning, C.M. y Litvak, V.D. 2008. First U-Pb SHRIMP age of the Hauterivian stage, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 91-9.
- Aguirre-Urreta, B., Lescano, M., Schmitz, M.D., Tunik, M., Concheyro, A., Rawson, P.F. y Ramos, V.A. 2015. Filling the gap: new precise Early Cretaceous radioisotopic ages from the Andes. *Geological Magazine* 152: 557-564.
- Aguirre-Urreta, B., Schmitz, M., Lescano, M., Tunik, M., Rawson, P., Concheyro, A., Buhler, M. y Ramos, V. 2017. A high precision U-Pb radioisotopic age for the Agrio Formation, Neuquén Basin, Argentina: implications for the chronology of the Hauterivian Stage. *Cretaceous Research* 75: 193-204.
- Channell, J.E.T., Erba, E., Nakanishi, M. y Tamaki, K. 1995. Late Jurassic–Early Cretaceous timescales and oceanic magnetic anomaly block models. En: Berggren, W.A. *et al.* (eds.), *Geochronology, Time Scales and Stratigraphic Correlation*. SEPM Spec. Public. 54: 51-63.
- Channell, J.E.T., Casellato, C.E., Muttoni, G. y Erba, E. 2010. Magnetostratigraphy, nannofossil stratigraphy and apparent polar wander for Adria-Africa in the Jurassic- Cretaceous boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 293: 51-75.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. y Fan, J.-X. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36: 199-204.
- Concheyro, A., Lescano, M., Carames, A. y Ballent, S. 2009. Micropaleontología de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en distintos sectores de la cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 342-61.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. y Ogg, G.M. 2012. *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Amsterdam, 1144 pp.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1, Hoja Chos Malal. Sociedad Geológica Argentina, *Revista* 1: 117-208.
- Horton, B.K., Fuentes, F., Boll, A., Starck, D., Ramirez, S.G. y Stockli, D.F. 2016. Andean stratigraphic record of the transition from backarc extension to orogenic shortening: A case study from the northern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 71: 17-40.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico de la cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). 10° Congreso Geológico Argentino (1989), Simposio de Cuencas Sedimentarias: p. 221-244, Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. *Special Publications, International Association of Sedimentology* 12: 429-450.
- Lescano, M. y Concheyro, A. 2014. Nanocónidos del Grupo Mendoza (Cretácico Inferior) en la Provincia del Neuquén, República Argentina: Taxonomía, cronoestratigrafía e implicancias paleogeográficas. *Ameghiniana* 51: 466-499.
- Martínez, M., Deconinck, J.-F., Pellenard, P., Riquier, L., Company, M., Reboulet, S. y Moiroud, M. 2015. Astrochronology of the Valanginian–Hauterivian stages (Early Cretaceous): Chronological relationships between the Paraná–Etendeka large igneous province and the Weisert and Faraoni events. *Global and Planetary Change* 131: 158-173.
- Naipauer, M., Tunik, M., Marques, J.C., Rojas Vera, E.A., Vujovich, G.I., Pimentel, M.M. y Ramos, V.A. 2015a. U-Pb detrital zircon ages of Upper Jurassic continental successions: implications for the provenance and absolute age of the Jurassic-Cretaceous boundary in the Neuquén Basin. En: Sepúlveda, S. *et al.* (eds.) *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*, Geological Society, *Special Publications* 399: 131-154.
- Naipauer, M., Lescano, M., Zavala, C., Aguirre-Urreta, B., Pimentel, M. y Ramos, V.A. 2015b. Estudio multidisciplinario en la Formación Vaca Muerta: ambiente de sedimentación, bioestratigrafía, edades U-Pb en circones y áreas de proveniencia del Miembro Huncal. 14 Congreso Geológico Chileno, Resúmenes Expandidos Electrónicos.
- Ogg, J.G., Ogg, G. y Gradstein, F. 2016. *The Concise Geologic Time Scale*. Elsevier, 234 pp.
- Ramos, V.A. 1999. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22: 183-190.
- Reboulet, S., Szives, O., Aguirre-Urreta, B., *et al.* 2014. Report on the 5th International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the “Kilian Group” (Ankara, Turkey, 31st August 2013). *Cretaceous Research* 50: 126-137.
- Schmitz, M.D. y Davydov, V.I. 2012. Quantitative radiometric and biostratigraphic calibration of the global Pennsylvanian- Early Permian time scale: *Geological Society of America Bulletin* 124: 549-577.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Veiga, G.D., y Fanning, C.M. 2016. First U-Pb SHRIMP age for the Pilmatué Member (Agrio Formation) of the Neuquén Basin, Argentina: implications for the Hauterivian lower boundary. *Cretaceous Research* 58: 223-233.
- Vennari, V.V., Lescano, M., Naipauer, M., Aguirre-Urreta, B., Concheyro, A., Schaltegger, U., Armstrong, R., Pimentel, M. y Ramos, V.A. 2014. New constraints on the Jurassic-Cretaceous boundary in the High Andes using high-precision U-Pb data. *Gondwana Research* 26: 374-385.