

Eduardo B Olivero

Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), Conicet

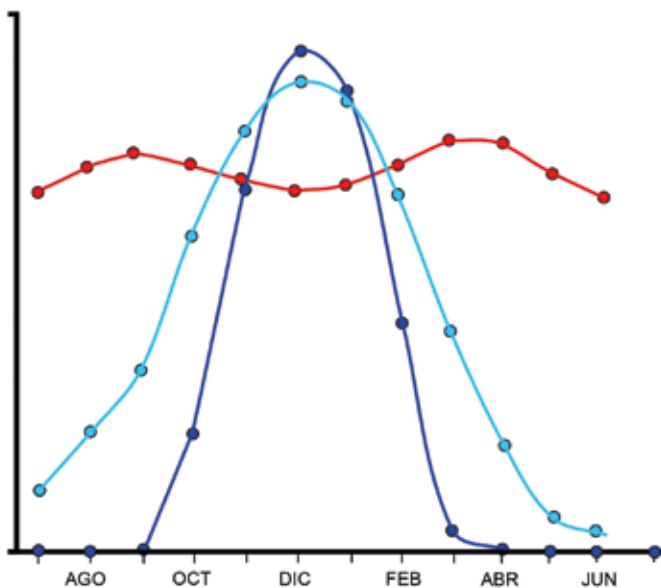
# Invertebrados marinos del Cretácico en la Antártida

**L**os actuales invertebrados marinos de la Antártida están adaptados a las extremas condiciones en que la vida debe desenvolverse en esas latitudes, sobre todo las bajas temperaturas de las aguas, que alcanzan valores cercanos a  $-2^{\circ}\text{C}$ , y la marcada estacionalidad de la producción primaria de alimentos. Realizan esa producción por fotosíntesis determinados organismos marinos que viven cerca de la superficie y generan compuestos diversos, entre ellos proteínas, grasas y azúcares, mediante la energía del Sol. La producción de nuevos alimentos es escasa o nula durante el largo período invernal de oscuridad y se activa durante el estío en coincidencia con la mayor radiación solar. Por ello, los ecosistemas antárticos han sido caracterizados como la alternancia de largas hambrunas y cortos festines.

Uno de los temas centrales de investigación actual es conocer el origen y la historia de los distintivos ecosistemas circumpolares. Una hipótesis en discusión es que resultaron de la cobertura total del continente antártico por una gruesa capa de hielo (técnicamente, el *englazamiento*), ocurrido hace aproximadamente 34 millones de años (Ma), en el Cenozoico. Estudios recientes, llevados a cabo en el archipiélago James Ross, al este de la Península Antártica, por el grupo de investigación que encabeza el autor, muestran, sin embargo, que antes de dicho congelamiento continental los ecosistemas antárticos del Cretácico Superior (101-66Ma) ya habían comenzado a adquirir rasgos similares a los actuales. Hace unos 80Ma, en efecto, se produjo un marcado enfriamiento en la Antártida por razones que se discuten, pero entre las cuales está una reducción marcada de la cantidad de gases con efecto

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Cambios iniciados hace unos 80Ma en la fauna de invertebrados de la plataforma marina antártica que coincidieron con un marcado enfriamiento del mar y del continente.



Radiación solar en la superficie en tres distintas latitudes: en rojo, el ecuador (0°); en celeste, 60°; y en azul, el polo (90°). En el hemisferio sur, el paralelo de los 60° no pasa por tierra alguna sino solo por el océano (Ushuaia está a unos 54° 48', o unos 600km más al norte). Dicho paralelo de los 60° se toma a menudo como el límite norte convencional del océano Austral y es el límite a partir del cual rige el Tratado Antártico; en el hemisferio norte, es la latitud aproximada de Uppsala en Suecia, San Petersburgo en Rusia, el centro de Canadá y el sur de Alaska. En el eje vertical del gráfico se mide en megajoules por metro cuadrado y día (MJ/m²/día) el promedio mensual de radiación solar en ausencia de nubosidad. Adaptado para el hemisferio sur de Hutchinson GE, 1957, *A Treatise on Limnology*, Wiley, Nueva York. Las curvas indican la marcada estacionalidad de la radiación en altas latitudes comparada con su relativa constancia en el ecuador.

invernadero, principalmente dióxido de carbono, en la atmósfera. Ese enfriamiento estuvo acompañado de un recambio muy significativo en el conjunto de los seres vivos o biota, el cual condujo a la exclusión de invertebrados marinos cosmopolitas, que habitaban aguas antárticas mucho más cálidas, y su reemplazo por una fauna endémica o solo propia de allí, adaptada a bajas temperaturas y a regímenes estacionales. En los ambientes antárticos terrestres, el marcado enfriamiento de la atmósfera llevó a una notable muda de la vegetación, con el reemplazo parcial de helechos y gimnospermas por plantas con flores o angiospermas.

## Los actuales ecosistemas marinos polares y circumpolares

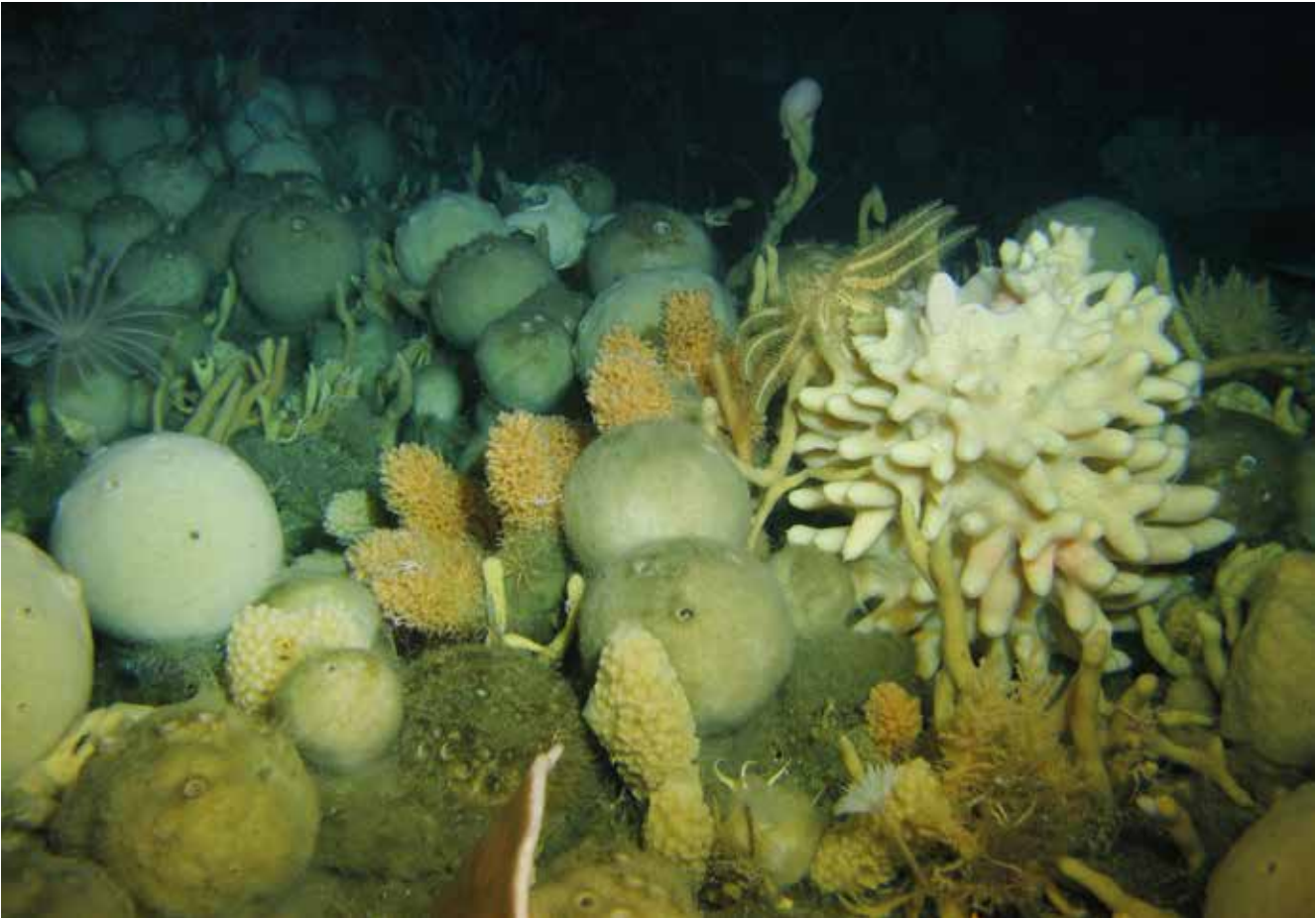
Si bien los ecosistemas marinos árticos y antárticos tienen rasgos comunes que los diferencian netamente de aquellos propios de latitudes más bajas, en especial los dos mencionados —la larga oscuridad invernal con reducción o falta de producción primaria de alimentos, y las bajas

temperaturas, cuya contraparte en los seres vivos son mecanismos fisiológicos apropiados para resistirlas—, existen diferencias importantes entre el Ártico y la Antártida. Mientras que el Ártico es un océano con la capa superficial congelada rodeado de continentes, la Antártida es un continente cubierto de glaciares rodeado de océanos. Entre las más importantes consecuencias de dicha situación están que al Ártico le llegan nutrientes con la descarga de los ríos que surcan los continentes que lo rodean, mientras que la Antártida se encuentra mucho más aislada.

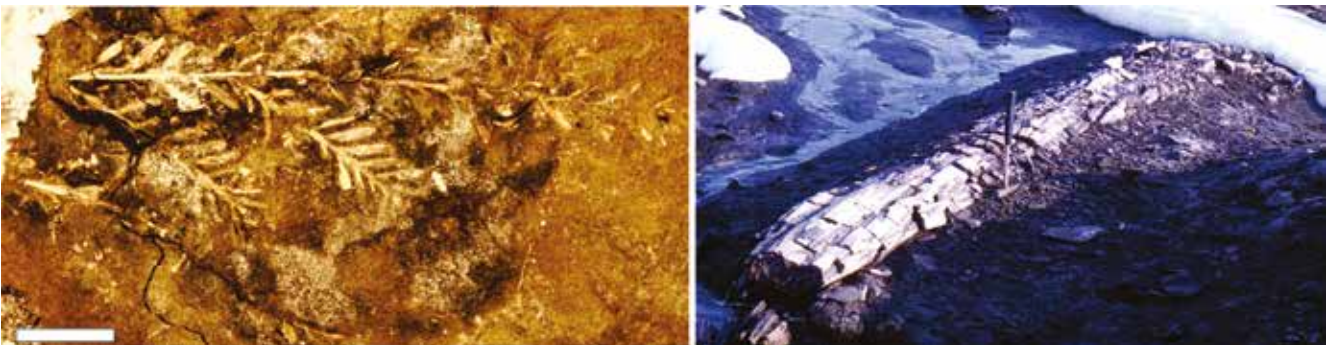
Por su posición geográfica, su espesa cobertura de hielo y nieve y su separación por la corriente circumpolar antártica de otras masas oceánicas más cálidas, la Antártida tiene ecosistemas muy diferentes de los del resto del planeta. Con un tamaño equivalente al de América del Sur, es un enorme desierto cubierto casi en el 99% por un manto de hielo de unos 3km de espesor medio. La región costera, que incluye la mayor parte de la superficie sin cobertura permanente de hielo y nieve, y la región marina adena albergan comunidades de seres vivos que contrastan fuertemente por su riqueza y diversidad biológica con las del interior continental.

Solamente en los meses de la primavera tardía y del verano llega suficiente radiación solar como para que los pequeños pero muy abundantes integrantes del fitoplancton —lo mismo que algunas algas de mayor tamaño, pero mucho menos abundantes—, que forman la base de la cadena alimentaria, puedan desarrollarse transformando la radiación solar, mediante la fotosíntesis, en proteínas, grasas y azúcares que incorporan a su organismo. Durante el resto del año, la escasez o ausencia de luz solar inhibe el desarrollo del fitoplancton y consecuentemente la producción primaria de alimento. No obstante, se piensa que, como no toda la producción estival de alimento es utilizada, el exceso se deposita en el fondo y puede ser aprovechado durante el invierno.

En líneas generales, en la Antártida se reconocen actualmente dos grandes comunidades de organismos marinos que viven en el fondo. Una está dominada por aquellos que carecen de movilidad, como las esponjas: viven fijos y se alimentan de partículas suspendidas en el agua; la otra se compone principalmente de organismos móviles que viven dentro o sobre el sedimento y se alimentan de partículas depositadas allí. La adaptación de esos organismos marinos a la marcada estacionalidad del alimento y a temperaturas polares imprime rasgos muy distintivos a las comunidades que integran, como el predominio de individuos longevos, con ciclos largos de vida, crecimiento y metabolismo muy lentos, baja tasa reproductiva y múltiples maneras de alimentación. Además, y en razón de su aislamiento geográfico, la biota antártica tiene un alto grado de endemismo, es decir, se compone de especies que solo viven allí.



Comunidad actual de organismos antárticos fijos de fondo dominada por esponjas. Foto tomada en el mar de Weddell oriental. Cortesía de C Richter, Instituto Alfred Wegener, Alemania. Copyright T Lundälv & C Richter, Uni Gothenburg & AWI.



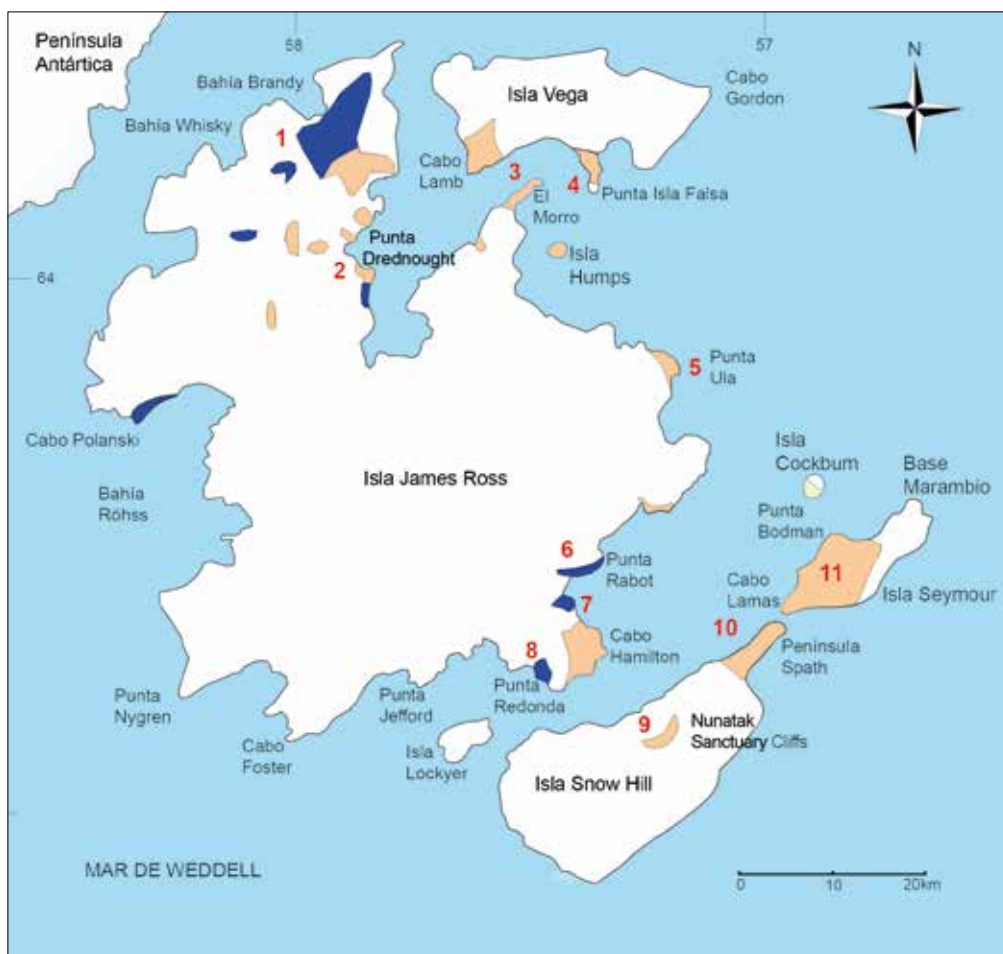
Vegetales fósiles del Cretácico de la Antártida en el lapso entre 80 y 86Ma. **Izquierda.** Hojas de coníferas del grupo de las podocarpáceas. La barra que da la escala mide 1cm. **Derecha.** Tronco fósil de gimnosperma de aproximadamente 3m de largo.

## Ecosistemas e invertebrados antárticos del Cretácico Superior

Diversos estudios geológicos permiten establecer que durante los últimos 90Ma la masa continental de la Antártida ya ocupaba una posición polar, pero que su cobertura total de hielo glacial es un rasgo relativamen-

te moderno, iniciado hace unos 34Ma. La Antártida del Cretácico Superior carecía del actual manto de hielo, y constituía un ambiente muy particular, del que no existen ejemplos modernos en el planeta. Particularmente entre hace 86 y 66Ma —el lapso del Cretácico Superior en el que enfocamos nuestras investigaciones— la Península Antártica tenía una importante vegetación boscosa, un clima relativamente cálido y estaba físicamente conecta-





Mapa del archipiélago James Ross, al este de la Península Antártica, donde trabaja el grupo de investigación que encabeza el autor. En azul, afloramientos rocosos de entre 86 y 80Ma de antigüedad; en beige, de entre 80 y 66Ma. Los números rojos indican los principales lugares estudiados, a saber: (1) bahía Brandy al noroeste y caleta Santa Marta al sureste; (2) punta Drednought; (3) cabo Lamb en la isla Vega, El Morro en la isla James Ross y el islote Humps; (4) punta Isla Falsa; (5) punta Ula; (6) punta Rabot; (7) cabo Hamilton; (8) punta Redonda; (9) Nunatak Sanctuary Cliffs; (10) península Spath, y (11) área de la isla Marambio o Seymour entre el cabo Lamas al suroeste y el cañadón Díaz al noreste.

da con América del Sur. Se ha estimado que las temperaturas de las aguas oscilaban en torno a los 20°C, y que en tierra serían algo más altas, comparables con las de actuales climas templados cálidos. El centro de la Península Antártica era una franja más elevada sobre el nivel del mar que el resto, con volcanismo activo. En su región oriental se comenzaba a formar una incipiente plataforma continental, la que luego se expandió en forma notable y alcanzó una extensión de más de 150km hacia el actual mar de Weddell. Clima cálido, bosques, posición polar con alternancia de períodos invernales de oscuridad y estivales luminosos, y estacionalidad en la producción de la base de la cadena alimentaria dieron al continente antártico del Cretácico ecosistemas únicos, por entero desconocidos en la actualidad.

En el archipiélago James Ross, situado hacia el noreste de la Península Antártica, están expuestas rocas sedimentarias de origen marino con edades de entre 86 y 66Ma, las que constituyen un conjunto de formaciones geológicas conocidas como grupo Marambio. Ellas preservan importante información paleontológica y paleoambiental, única conocida del continente antártico, a la cual los investigadores tenemos acceso privilegiado por el aeropuerto de la base argentina Vicecomodoro Marambio, en

la isla homónima, también llamada Seymour. El repositorio incluye tanto organismos fosilizados como el resultado de la interacción de organismos vivos con el sustrato, o *trazas fósiles*. Estas nos indican el comportamiento de invertebrados de cuerpos blandos que vivían en los sedimentos del fondo marino, los cuales no se preservaron en forma de fósiles. El estudio de esas rocas, de los fósiles que albergan y de las trazas permite reconocer la existencia de dos grandes ecosistemas sucesivos en la plataforma marina de los últimos 20Ma del Cretácico. El más antiguo data de entre hace 86 y 80Ma; el más reciente, entre hace 80 y 66Ma, inmediatamente antes de la gran extinción biótica de fines del Cretácico.

El ecosistema más antiguo difiere notablemente del más joven. Los invertebrados fósiles que lo componen, dominados por moluscos marinos, principalmente bivalvos y cefalópodos como los amonites y belemnites, tienen una amplia distribución geográfica: son cosmopolitas o indo-pacíficos. Entre los que sobresalen podemos citar amonites heteromorfos de conchillas rectas (*Baculites subanceps*), de enroscamiento helicoidal (*Ainoceras zinsmeisteri* y *Eubostrychoceras medinai*) o planoespiral modificado (*Yezoites australis*) y también amonites de enroscamiento planiespiral (*Metaplacenticeras subtilistiratum*). Espe-



Amonites cosmopolitas de entre 86 y 80Ma.

**Izquierda.** *Eubostrychoceras medina*. **Derecha, arriba** *Ainoceras zinsmeisteri*. **Derecha, abajo.** *Yezoites australis*. La escala mide 1cm en todas las imágenes.

Géneros de amonites antárticos de la familia Kossmaticeratidae endémicos de la Provincia Weddelliana. **Arriba de izquierda a derecha.** *Neogrammites*, *Grossouvrites*, *Jacobites*. **Abajo de izquierda a derecha.** *Maorites*, *Gunnarites*. La escala mide 1cm en todas las imágenes.

cies muy similares o iguales del Cretácico Superior se encontraron en Japón, Canadá, India, Madagascar, Sudáfrica y Europa. Entre los bivalvos, citemos a las trigonias y al inocerámido de gran tamaño *Antarcticceramus rabotensis*. Las trazas fósiles encontradas ese conjunto de rocas cretácicas son igualmente cosmopolitas y características de ambientes de plataforma marina en esa época geológica.

Las rocas más jóvenes, que datan de hace entre 80 y 66Ma, preservan una asociación de invertebrados fósiles marinos muy diferente de la anterior. Entre los amonites domina un grupo endémico de altas latitudes australes, perteneciente a la familia Kossmaticeratidae, que tiene gran representación, tanto en abundancia de ejemplares como en diversidad biológica (géneros *Neogrammites*, *Gunnarites*, *Jacobites*, *Grossouvrites* y *Maorites*). Poco antes del inicio de la expansión y dominancia de esta familia, nombrada en honor del geólogo y paleontólogo austríaco Franz Kossmat (1871-1938), se produjo la exclusión de la Antártida de grupos de moluscos que persistieron hasta el final del Cretácico Superior en el resto del planeta. Así, se extinguieron tempranamente en la Antártida los amonites del grupo *Baculites*, los nostoceratidos (*Ainoceras* y *Eubostrychoceras*) y los escafitidos (*Yezoites*). También se extinguieron tempranamente allí bivalvos como las trigonias y los inocerámidos. Sumado a estos eventos de extinciones

locales, la fauna de invertebrados marinos de entonces se caracterizaba por un marcado endemismo, con un gran porcentaje de especies restringidas geográficamente a la Provincia biogeográfica Weddelliana, que abarcaba la Patagonia austral, Nueva Zelanda, el sureste de Australia y el oeste de la Antártida, cuando todas esas masas continentales estaban unidas. Solo unos pocos géneros de amonites, como *Diplomoceras* y *Anapachydiscus*, que adquirieron gran tamaño y tenían probablemente hábitos oceánicos, alcanzaron distribución geográfica cosmopolita.

En paralelo con el cambio de la fauna de invertebrados, también las trazas fósiles dejadas por estos evidencian un aumento notable de formas endémicas, dominantes en la Antártida y Tierra del Fuego. Entre las más notorias, hagamos mención de los icnogéneros (géneros correspondientes a trazas fósiles), *Patagonichnus*, *Paradictyodora*, *Euflabella* y *Tasselia*. Esta inusual presencia de endemismos queda reflejada en el hecho particular y distintivo de que todos los organismos productores de esas trazas dejaron evidencias claras de que tenían múltiples formas de alimentación. Eran *generalistas tróficos* pues se alimentaban de partículas orgánicas en suspensión, de otras partículas depositadas en el fondo marino, de partículas preservadas dentro del sedimento e incluso de bacterias. Salvo un caso excepcional, no conocemos a qué grupo de anima-





Isla Marambio o Seymour, verano de 2017. De izquierda a derecha, Erika L Bedoya, Marcos Rodríguez y María E Raffi, integrantes del grupo de investigación del autor, estudiando rocas cretácicas que datan de alrededor de fines del período entre hace 80 y 66Ma.



Isla Cerro Nevado o Snow Hill. En primer plano, un lobo de dos pelos antártico (*Arctocephalus gazella*). En la distancia, las carpas anaranjadas del campamento del autor y su grupo de investigación en la campaña del verano de 2011. Las estructuras negras próximas a las carpas corresponden al refugio utilizado por la expedición de Otto Nordenskjöld (1901-1903), de la que participó José María Sobral.

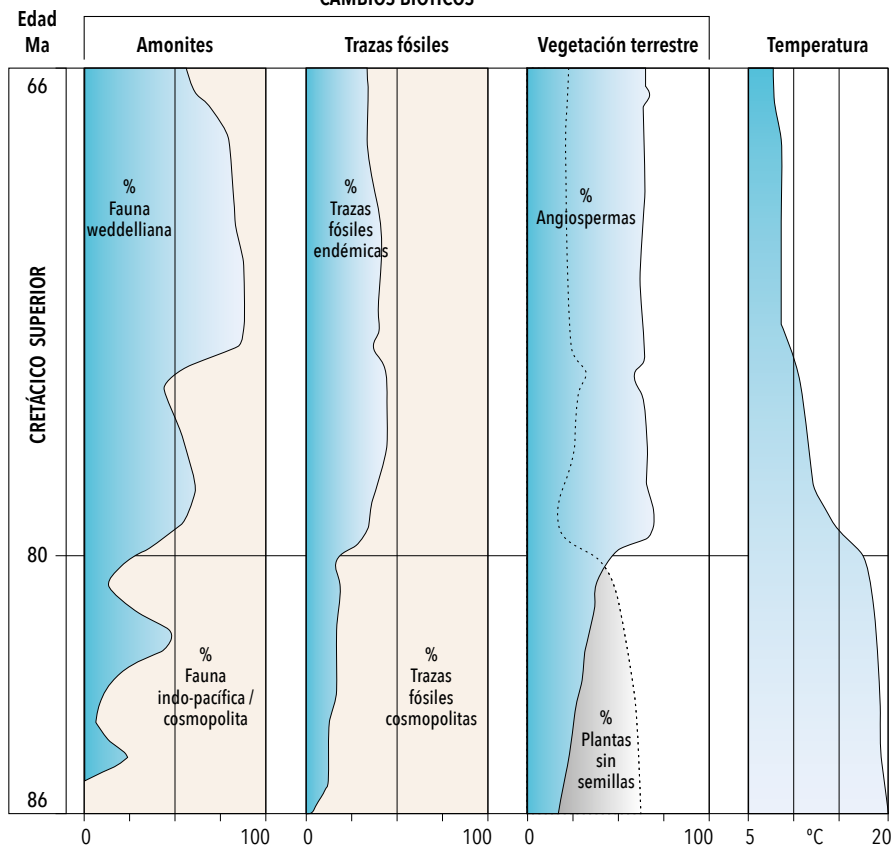
les pertenecen estos organismos. La excepción es *Tasselia ordamensis*, una traza producida por un organismo similar al poliqueto actual *Maldane sarsi*, encontrado en la Antártida, que tiene igualmente múltiples modos de alimentación.

Estos múltiples modos de alimentación se evidencian por cortes o entrecruzamientos de partes de una misma traza, por ejemplo, túneles, dejadas por un mismo organismo. El motivo por el que esos organismos cruzaban o cortaban estructuras de propia fabricación podría haber sido que cultivaban bacterias dentro de las trazas originales, las que les servían de alimento en su posterior pasada. La gran cantidad de conchillas de microorganismos dentro de trazas sugiere que almacenaban dichos microorganismos durante la etapa de abundancia estival y los utilizaban como alimentos en tiempos de escasez.

En síntesis, hace unos 80Ma sucedieron en la Antártida cambios notables en la fauna de moluscos de la plataforma marina, en la composición de trazas fósiles de invertebrados y en la flora terrestre, que coincidieron con un marcado enfriamiento del mar y del continente. Entre hace 86 y 80Ma la biota marina de aguas relativamente cálidas estaba dominada por moluscos de distribución cosmopolita o indo-pacífica; esta biota fue reemplazada por otra fauna de moluscos, endémica de la Provincia Weddelliana y de aguas frías. Los cambios de temperatura se han estimado por las características morfológicas de hojas de vegetales y por las relaciones de isótopos estables del oxígeno en conchillas de moluscos y foraminíferos. Las trazas fósiles acompañan esta tendencia de endemismo progresivo y denotan un aumento notable de múltiples maneras de alimentación. Hacia hace unos 80Ma de años, también

se produjo en el continente antártico un notable recambio de la flora terrestre, con marcado aumento de las plantas con flores, las cuales llegaron a dominar la vegetación terrestre. Se piensa actualmente que esos cambios en la fauna de invertebrados de la plataforma marina indican el inicio de ecosistemas antárticos análogos a los actuales. **CH**

## CAMBIOS BIÓTICOS



Síntesis de cambios bióticos en el Cretácico Superior de la Antártida. La línea que marca los 80Ma separa dos ecosistemas antárticos, uno entre 86 y 80Ma y el otro entre 80 y 66Ma. Nótese la simultaneidad de cambios biogeográficos y de composición en amonites, trazas fósiles y plantas terrestres con el notable enfriamiento del agua y la atmósfera, ocurrido hacia los 80Ma y precursor de ecosistemas antárticos semejantes a los modernos.

## LECTURAS SUGERIDAS

**BARREDA VD, PALAZZESI L & OLIVERO EB**, 2019, 'When flowering plants ruled Antarctica: Evidence from Cretaceous pollen grains', *New Phytologist*. DOI 10.1111/nph.15823.

**OLIVERO EB**, 2012, 'Sedimentary cycles, ammonite diversity and palaeoenvironmental changes in the Upper Cretaceous Marambio Group, Antarctica', *Cretaceous Research*, 34: 348-366.

**OLIVERO EB & LÓPEZ CABRERA MI**, 2010, '*Tasselia ordamensis*: A biogenic structure of probable deposit-feeding and gardening maldanid polychaetes', *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292, 1-2: 336-348.

**THOMAS DN et al.**, 2008, *The Biology of Polar Regions*, Oxford University Press.

**Eduardo B Olivero**

Doctor en ciencias geológicas, UBA.  
Investigador superior del Conicet en el CADIC, Ushuaia.  
Profesor titular, Universidad Nacional de Tierra del Fuego.  
Miembro correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires.  
[emolivero@gmail.com](mailto:emolivero@gmail.com)