

Mundos criogénicos y la aparición de los animales

CHO-015 · Cosmic History and Its Observers

Una historia científica cronológica desde el universo temprano hasta el presente

Identificador: CHO-015 · Versión: v1.0 · Autor: Juan Segurola

Idioma: Español

Función del artículo: Columna cronológica con superposición de prioridad animal

Ventana del artículo: [720 Ma, 538.8 Ma atrás]; superposición de prioridad animal [1000 Ma, 538.8 Ma atrás]

Corte de eventos: 11 septiembre 2026 · Corte de búsqueda bibliográfica: 11 septiembre 2026

Tipo de documento: Síntesis académica; no es investigación primaria y no ha sido revisado por pares

Resumen

Contexto

Los intervalos Criogénico y Ediacárico unen un cambio climático profundo con la aparición de ecosistemas macroscópicos y evidencia cada vez más convincente de animales. El registro no respalda un único momento en que aparecieron los animales. Los relojes moleculares, fósiles corporales, icnofósiles, patrones de desarrollo y proxies ambientales miden cosas diferentes con resoluciones distintas.

Evidencia

Esta síntesis utiliza fuentes controladas de texto completo cronoestratigráficas, geoquímicas, paleontológicas y de relojes moleculares. Mantiene diferenciadas las restricciones radiométricas de los eventos geológicos, la divergencia modelizada de los fósiles observados, la afinidad biológica de la morfología y el comportamiento coordinado de la sentiencia. Las afirmaciones respaldadas únicamente por resúmenes, metadatos o una fuente primaria no consultada no se elevan en esta síntesis.

Síntesis

La glaciación Sturtiana duró más de 55 millones de años, mientras que el final de la glaciación Marinoana está restringido cerca de 635 millones de años atrás. La evidencia geoquímica indica que incluso un mundo bola de nieve podía contener producción marina de oxígeno, ciclo del nitrógeno y algo de agua abierta. Los estudios de relojes moleculares sitúan los orígenes de los animales corona en intervalos amplios y contradictorios, incluidos resultados tonienses y criogénicos. Una interpretación de esponja de aproximadamente 890 millones de años es explícitamente condicional. En el Ediacárico, fósiles e icnofósiles registran patrones de desarrollo, posibles cuerpos tempranos de grado animal, perturbación de sedimentos, movilidad, preferencia direccional, estrategias reproductivas y comunidades cada vez más estructuradas. Condiciones locales de bajo oxígeno muestran que los ecosistemas animales no pueden reducirse a un simple umbral global de oxígeno.

Conclusión

Los animales surgieron a través de una historia larga y no resuelta, no mediante un único umbral. En el límite del Cámbrico, el registro respalda planes corporales diversos, ingeniería ecológica y movimiento coordinado, pero el momento de los orígenes de los animales corona, la afinidad de candidatos más antiguos y la relación entre oxigenación y diversificación siguen siendo dependientes del modelo o discutidos. El comportamiento fósil no establece por sí solo aprendizaje, un sistema nervioso concreto, sentiencia ni consciencia.

Palabras clave: Criogénico; Ediacárico; Tierra bola de nieve; orígenes animales; relojes moleculares; icnofósiles; rangeomorfos; oxigenación; comportamiento; preservación

1. Orientación cronológica

Este artículo sigue el intervalo desde la base del Criogénico, hace 720 millones de años, hasta la base del Cámbrico, hace 538.8 millones de años [1]. Su superposición de prioridad animal se extiende hasta 1000 millones de años atrás

para poder examinar candidatos animales publicados más antiguos en lugar de excluirlos por el límite del artículo. La superposición cambia el conjunto de comparación, no la columna cronológica.

La carta estratigráfica citada, versión 2026/06, sitúa la base del Cámbrico en 538.8 ± 0.6 millones de años atrás [1]. El valor central define la frontera editorial; no elimina la incertidumbre publicada.

Las fechas utilizadas aquí describen relaciones diferentes. Una edad volcánica puede estar por debajo de un depósito glacial y aportar únicamente una restricción máxima. Una toba datada dentro del depósito puede restringir directamente la deposición. Un reloj molecular estima una separación de linajes bajo modelos y calibraciones especificados. Un horizonte fósil registra una aparición, mientras que la posición filogenética del organismo sigue siendo una interpretación. Estas relaciones no pueden intercambiarse sin cambiar la afirmación.

2. Estado heredado en el límite del Criogénico

Hace 720 millones de años, la vida eucariota ya incluía varios modos de organización multicelular e interacción trófica. CHO-015 hereda ese contexto biológico sin reabrir la historia anterior de los orígenes eucariotas. Sus preguntas centrales son más estrechas: cómo cambiaron los ambientes criogénicos, qué muestra el registro ediacárico sobre los primeros animales y qué capacidades pueden respaldarse sin proyectar hacia atrás rasgos de animales posteriores.

El clima inicial no era una única condición uniforme. El término Tierra bola de nieve designa una familia de hipótesis sobre glaciación global extensa, no una observación directa de que toda la superficie oceánica estuviera continuamente sellada ni de que cesara la actividad biológica. Cronología, estado climático y refugios biológicos requieren, por tanto, evidencias separadas.

3. Duración y estructura de la glaciación criogénica

Las restricciones de múltiples cratones sitúan la glaciación Sturtiana aproximadamente entre 717 y 660 millones de años atrás y respaldan una duración superior a 55 millones de años [2]. En el noroeste de Canadá, una riolita situada bajo los depósitos glaciares tiene una edad eruptiva de 717.43 ± 0.14 millones de años y proporciona una restricción máxima, mientras que una toba dentro de los depósitos glaciares arroja 716.47 ± 0.24 millones de años y se interpreta como deposicional o singlacial [3]. Los dos números son próximos, pero sus relaciones geológicas son diferentes.

El final de la glaciación Marinoana está restringido cerca de 635 millones de años atrás. Una edad renio-osmio postcapa de carbonato de 632.3 ± 5.9 millones de años es compatible, dentro de la incertidumbre, con este final [2]. Estas edades restringen una transición registrada en contextos estratigráficos concretos; no establecen una deglaciación globalmente instantánea.

4. Actividad biológica en un mundo bola de nieve

La evidencia geoquímica de estratos marinoanos se ha interpretado como registro de producción marina de oxígeno, un ciclo activo del nitrógeno y algo de agua abierta durante la glaciación [4]. El resultado se opone a tratar un intervalo globalmente glaciado como necesariamente estéril o químicamente uniforme. No demuestra que todos los océanos permanecieran abiertos, oxigenados o biológicamente productivos.

La importancia biológica de los refugios depende de la escala. El agua abierta local puede sostener producción sin definir el estado del océano global. Un proxy geoquímico puede respaldar un proceso sin identificar los organismos responsables. La evidencia de actividad durante la glaciación restringe, por tanto, el rango de historias ambientales viables, pero no fecha por sí sola el origen de los animales.

5. Tiempo ediacárico temprano y mosaicos de oxígeno

Un marco calibrado astronómicamente abarca aproximadamente 57.6 millones de años del Ediacárico temprano, vinculando las secuelas de la deglaciación Marinoana con los intervalos EN1 y EN2 y las biotas de Weng'an y Lantian [14]. Este marco mejora la colocación temporal. No determina la afinidad biológica.

Los ecosistemas ediacáricos posteriores también se resisten a una narrativa simple de oxigenación. Carbonatos siberianos con fósiles conservan señales redox locales y más amplias interpretadas como anoxia local generalizada y euxinia extendida [5]. Los autores mantienen alternativas en las que los organismos toleraron anoxia intermitente

o experimentaron episodios breves de oxigenación no captados por los proxies. Un conjunto diverso bajo condiciones de bajo oxígeno muestra, por tanto, persistencia ecológica bajo estrés local, no independencia del oxígeno en todos los ambientes.

Estos registros debilitan cualquier relato de un solo paso en el que un aumento uniforme del oxígeno produzca inmediatamente animales. El cambio ambiental importó, pero su escala espacial, duración y consecuencias biológicas variaron. Las fuentes respaldan asociaciones y restricciones, no un desencadenante universal único.

6. La edad de los animales como problema de modelos

Los relojes moleculares estiman divergencia, no la primera aparición fósil. Un análisis informa de un intervalo posterior compuesto de 833.5 a 649.8 millones de años para Metazoa corona y concluye que los animales corona se originaron durante el Criogénico [6]. El intervalo cruza el límite Toniente-Criogénico, mientras que la conclusión de los propios autores a nivel de periodo es Criogénico. Ambos hechos pertenecen al resultado.

Un análisis filogenómico independiente infiere un origen toniente para Metazoa de grupo corona [7]. Sus estimaciones varían con el modelo de reloj, el prior de raíz, las calibraciones y la topología. El desacuerdo no se resuelve escogiendo la estimación más antigua ni promediando los dos intervalos. Registra sensibilidad a la estructura del modelo y a la evidencia utilizada para calibrar el tiempo evolutivo profundo.

El registro fósil aporta otra clase de evidencia. Una microestructura vermiforme en arrecifes correlacionados con estratos datados en 892 ± 13 millones de años se ha interpretado condicionalmente como posible tejido de esponja queratosa [8]. La condición importa. Si las estructuras son tejido fosilizado de esponja, extenderían el registro animal muy dentro del Toniente; si la morfología tiene un origen no esponjoso, la implicación cronológica desaparece. La fuente es, por tanto, evidencia de un candidato, no una fecha observada segura para los orígenes animales.

7. Cuerpos ediacáricos y organización del desarrollo

Los fósiles ediacáricos revelan varias formas de organización sin ordenarlas en una única escalera. La geometría de crecimiento en *Fractofusus andersoni* documenta morfogénesis pautada, y los autores interpretan los rangeomorfos de conjuntos más antiguos que aproximadamente 574 millones de años como algunos de los eumetazoos de grupo total más tempranos [15]. Las observaciones de desarrollo y la conclusión filogenética permanecen separadas.

Hacia aproximadamente 571 millones de años, un conjunto brasileño contiene microfósiles con concha y carbonáceos asignados por los autores a varios grupos animales [10]. El conjunto amplía el rango de formas corporales candidatas, pero cada asignación taxonómica conserva sus propios límites morfológicos y de preservación.

Pequeños fósiles corporales de *Ikaria wariootia* del sur de Australia se vincularon morfológica y espacialmente con trazas de *Helminthoidichnites* y se propusieron como sus productores [9]. Esta asociación conecta un plan corporal con comportamiento locomotor de forma más directa que cualquiera de los registros por separado, aunque la atribución cuerpo-traza y las relaciones de edad siguen teniendo incertidumbre.

A finales del Ediacárico, *Dengyingia pennata* conserva diferenciación bilateral y una morfología interpretada como compatible con alimentación por suspensión orientada por corrientes en estratos de aproximadamente 550 a 543 millones de años [13]. La interpretación funcional no resuelve la afinidad más amplia de las frondas ediacáricas. El Lagerstätte de Tongshan, de aproximadamente 551 a 543.74 ± 0.87 millones de años, conserva frondas de rangeomorfos y tejidos de tipo Burgess Shale en un conjunto de aguas profundas [16]. Su preservación excepcional amplía la comunidad visible y demuestra al mismo tiempo cuánto depende el registro conocido de ventanas de preservación.

8. Ingeniería ecológica y comportamiento coordinado

Los conjuntos de icnofósiles del Ediacárico terminal registran una perturbación creciente de sedimentos antes del Cámbrico [11]. El término bulldozer describe un efecto ecológico, no un taxón formal. La mezcla y el desplazamiento de sedimentos modificaron sustratos y distribuciones de recursos, pero el registro no identifica una única causa universal de la posterior diversificación cámbrica.

Los patrones fósiles de orientación y curvatura en *Spriggina floundersi* rechazan una explicación simple por alineación con la corriente para la asimetría observada. Los autores infieren motilidad coordinada y lateralidad conduc-

tual [12]. El patrón preservado respalda comportamiento direccional. No establece de forma independiente aprendizaje, experiencia subjetiva ni una arquitectura concreta del sistema nervioso.

La estructura de las comunidades también dependía de la reproducción. La modelización espacial de comunidades de alrededor de 574 millones de años indica que la reproducción estolonífera podía alterar la competencia por recursos y los patrones de diversidad [17]. Es una hipótesis a nivel de proceso vinculada a evidencia espacial concreta, no una explicación universal de la diversificación ediacárica.

9. Contingencia y contemporáneos

El registro ediacárico contiene experimentos contemporáneos, no una secuencia necesaria desde formas simples hasta animales modernos. Sistemas de desarrollo de rangeomorfos, pequeños candidatos bilaterianos, microfósiles con concha y carbonáceos, organismos frondosos filtradores, organismos productores de trazas y comunidades que perturbaban sedimentos se solaparon en distintas regiones y entornos de preservación [9-17]. Su coexistencia no establece ascendencia directa entre ellos.

Clima y ecología fueron igualmente contingentes. La actividad biológica persistió durante glaciaciones severas, ambientes de bajo oxígeno albergaron comunidades diversas y depósitos excepcionales preservaron organismos que entornos sedimentarios ordinarios pudieran borrar [4,5,16]. El registro superviviente refleja por tanto la historia evolutiva como la oportunidad geológica.

10. Interpretaciones competidoras y preguntas no resueltas

Cuatro incertidumbres siguen siendo centrales.

Primero, los relojes moleculares discrepan sobre si los orígenes de los animales corona caen en el Toniente o el Criogénico, y sus intervalos amplios dependen de distribuciones a priori, calibraciones y elecciones de modelo [6,7].

Segundo, los candidatos de fósiles corporales más antiguos siguen siendo condicionales. Las estructuras vermiformes de aproximadamente 890 millones de años pueden registrar tejido de esponja, pero la interpretación animal no equivale a un cuerpo animal diagnóstico observado [8].

Tercero, varios fósiles ediacáricos combinan estructura biológica persuasiva con afinidad no resuelta. La geometría del desarrollo, la forma bilateral y la morfología funcional pueden estrechar las posibilidades sin resolver cada posición filogenética [9,13,15].

Cuarto, la asociación ambiental no es un único mecanismo causal. La evidencia de agua abierta durante la glaciación y las comunidades animales bajo anoxia local muestran que clima, estado redox y ecología interactuaron a varias escalas [4,5]. Ninguna de las fuentes establece un umbral universal de oxígeno para la vida animal.

11. Clases de afirmaciones y límites de evidencia

La siguiente relación distingue clases de afirmaciones respaldadas, contenido especulativo y preguntas abiertas.

- **Medido u observado:** edades radiométricas, relaciones estratigráficas, geometría fósil, orientación corporal, distribuciones de trazas y mediciones geoquímicas informadas por los estudios citados.
- **Reconstruido:** correlación glacial, afinidad de organismos, función ecológica y asociación cuerpo-traza.
- **Dependiente del modelo:** intervalos de reloj molecular y modelos de procesos para competencia comunitaria.
- **Discutido:** afinidades animales profundas, periodo de origen de los animales corona y varias posiciones filogenéticas ediacáricas.
- **Especulativo:** ninguno en esta síntesis.
- **Abierto:** momento exacto de los orígenes animales, identidad de algunos candidatos tempranos, estructura global de los refugios criogénicos y fracción de diversidad ediacárica perdida por preservación.

Esta síntesis no eleva afirmaciones cuyo respaldo controlado sigue limitado a un resumen, registro de metadatos o fuente primaria no consultada. Esos candidatos pueden reconsiderarse si cambia el acceso a fuentes cualificadas.

12. Capacidades de observador

El registro respalda detección ambiental, respuesta regulada, locomoción, orientación y comportamiento coordinado en varias formas. Estas observaciones son relevantes para la historia posterior de la detección y acción animal, pero no demuestran por sí mismas aprendizaje flexible, memoria, dolor, placer, sentiencia ni consciencia fenoménica.

Ningún plan corporal, traza, estructura alimentaria, estrategia reproductiva o preferencia direccional se trata aquí como proxy de consciencia. La primera evaluación explícita bajo el marco de evidencia de sentiencia de la serie pertenece a CHO-016, donde los sistemas sensoriales cámbricos y la evidencia conductual pueden someterse a prueba dentro de un registro comparativo más amplio.

13. Frontera y exclusiones

CHO-015 posee las glaciaciones criogénicas, la oxigenación neoproterozoica dentro de su ventana, los ecosistemas ediacáricos y la adjudicación de candidatos animales tempranos. CHO-014 aporta contexto eucariota y ambiental toniense sin retener la propiedad de las afirmaciones de prioridad animal.

El intervalo termina en el límite semiabierto del Cámbrico, a 538.8 millones de años [1]. Las fuentes que atraviesan la frontera aportan aquí únicamente su evidencia anterior al límite. La diversificación cámbrica, la depredación, los mundos sensoriales y la primera evaluación explícita de detección animal integrada o sentiencia pertenecen a CHO-016.

14. Estado de cierre en el límite del Cámbrico

Para 538.8 millones de años atrás, la evidencia controlada respalda un mundo transformado por glaciaciones prolongadas, reorganización deglaciar, condiciones redox espacialmente variables, comunidades macroscópicas, organismos productores de trazas, desarrollo pautado, ingeniería ecológica y movimiento coordinado. No respalda una única fecha para los orígenes animales, una filogenia resuelta para cada forma ediacárica, un desencadenante universal de oxígeno ni una inferencia de sentiencia basada únicamente en fósiles.

CHO-016 hereda animales con diversidad ecológica y conductual establecida, junto con la pregunta no resuelta de cómo los sistemas nerviosos y sensoriales posteriores cambiaron lo que los animales podían detectar, integrar y experimentar.

Referencias

1. International Commission on Stratigraphy. *International Chronostratigraphic Chart*, version 2026/06 (2026). <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2026-06.pdf>
2. Rooney, A. D. et al. A Cryogenian chronology: Two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations. *Geology* **43**, 459-462 (2015). <https://doi.org/10.1130/G36511.1>
3. Macdonald, F. A. et al. Calibrating the Cryogenian. *Science* **327**, 1241-1243 (2010). <https://doi.org/10.1126/science.1183325>
4. Johnson, B. W., Poulton, S. W. & Goldblatt, C. Marine oxygen production and open water supported an active nitrogen cycle during the Marinoan Snowball Earth. *Nature Communications* **8**, 1316 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01453-z>
5. Cherry, L. B. et al. A diverse Ediacara assemblage survived under low-oxygen conditions. *Nature Communications* **13**, 7306 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35012-y>
6. dos Reis, M. et al. Uncertainty in the timing of origin of animals and the limits of precision in molecular timescales. *Current Biology* **25**, 2939-2950 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.09.066>
7. Dohrmann, M. & Wörheide, G. Dating early animal evolution using phylogenomic data. *Scientific Reports* **7**, 3599 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03791-w>
8. Turner, E. C. Possible poriferan body fossils in early Neoproterozoic microbial reefs. *Nature* **596**, 87-91 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03773-z>
9. Evans, S. D. et al. Discovery of the oldest bilaterian from the Ediacaran of South Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **117**, 7845-7850 (2020). <https://doi.org/10.1073/pnas.2001045117>
10. Morais, L. et al. Dawn of diverse shelled and carbonaceous animal microfossils at ~571 Ma. *Scientific Reports* **14**, 14916 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65671-4>
11. Buatois, L. A. et al. Sediment disturbance by Ediacaran bulldozers and the roots of the Cambrian explosion. *Scientific Reports* **8**, 4514 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22859-9>

12. Evans, S. D. et al. Earliest evidence of behavioural handedness in the Ediacaran motile bilaterian *Spriggina floundersi*. *Scientific Reports* **16**, 19924 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-53857-x>
 13. Chen, Z. et al. Morpho-functional innovations in Shibantan fossils fuel Ediacaran frond debates. *Communications Biology*, article in press (2026). <https://doi.org/10.1038/s42003-026-10892-8>
 14. Zhang, T. et al. Astronomically calibrating early Ediacaran evolution. *Nature Communications* **16**, 3049 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57201-1>
 15. Dunn, F. S. et al. Morphogenesis of *Fractofusus andersoni* and the nature of early animal development. *Nature Communications* **16**, 3439 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58605-9>
 16. Hou, J.-B. et al. The terminal Ediacaran Tongshan Lagerstätte from South China. *Nature Communications* **16**, 10161 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-65176-2>
 17. Mitchell, E. G. & Manica, A. The influence of reproductive mode on resource competition and diversity patterns in Ediacaran early animal communities. *Nature Ecology & Evolution* **10**, 1234-1244 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41559-026-03094-2>
-

Declaración

Este documento es una síntesis académica; no es investigación primaria y no ha sido revisado por pares. Juan Segurola es el único autor. Aprobó el texto final y es responsable de su contenido.