

De dinosaurios a aves: la historia evolutiva escrita en un huevo From dinosaurs to birds: the evolutionary history written in an egg

Ariadna G. Guardado Urbina ^a, Abel Moreno ^b, Mayra Cuéllar Cruz ^{c*}

Abstract:

The eggshell is part of an evolutionary key to the survival of birds that we currently have known as ancestral (emu, ostrich, among others) and modern (chicken). Extinct egg-laying organisms such as dinosaurs laid soft, fragile eggs, which made them vulnerable, but certain lineages developed the necessary tools to form biomineralized eggshells. This transition allowed for greater protection, incubation on land, and better adaptation. Today, species such as emus and chickens retain part of this evolutionary history, where the shell became a fascinating biological armor.

Keywords:

Evolution, eggshell, dinosaurs, biomineralization, birds.

Resumen:

El cascarón de huevo forma parte de una clave evolutiva para la supervivencia de las aves que conocemos actualmente como las ancestrales (emu, avestruz, entre otras) y las modernas (gallina). Organismos extintos provenientes de huevo como los dinosaurios, ponían huevos blandos y frágiles lo que los hacía vulnerables pero ciertos linajes desarrollaron las herramientas necesarias para formar cascarones biomineralizados. Esta transición permitió mayor protección, incubación en tierra y una mejor adaptación. Actualmente, especies como emú y gallina conservan parte de esta historia evolutiva donde el cascarón se convirtió en una auténtica armadura biológica fascinante.

Palabras Clave:

Evolución, cascarón, dinosaurios, biomineralización, aves.

Introducción

¿Sabías que los huevos no siempre fueron duros?

Pocos imaginaron que una estructura ovalada con estructura dura como lo es un cascarón de huevo pueda contener la clave de millones de años de evolución. Aunque actualmente los cascarones duros nos parezcan normales eso no siempre fue así.

Hace más de 200 millones de años, los primeros dinosaurios ponían huevos blandos, frágiles y

flexibles. Parecidos a los de tortugas, serpientes actuales. Con una apariencia vulnerable, escondidos bajo tierra o plantas para sobrevivir.

¿Cómo es que pasamos de eso a los resistentes huevos de las aves que conocemos actualmente; es decir las modernas?

Todo parte de una innovación biológica fascinante que lo cambió todo, la naturaleza formó una estructura biocerámica que surgió en los dinosaurios, la cual aun usamos en el desayuno como un cascarón rígido y mineralizado, llamado huevo. La respuesta a este proceso es tan fascinante como decisivo: La biomineralización es

^a Universidad de Guanajuato | Departamento de Biología | División de Ciencias Naturales y Exactas | Guanajuato, Gto. México, <https://orcid.org/0009-0004-4817-826X>, Email: ag.guardadourbina@ugto.mx

^b Universidad Nacional Autónoma de México | Instituto de Química | Ciudad Universitaria, Ciudad de México. México, <https://orcid.org/0000-0002-5810-078X>, Email: carcamo@unam.mx

^c Universidad de Guanajuato | Departamento de Biología | División de Ciencias Naturales y Exactas | Guanajuato, Gto. México, <https://orcid.org/0000-0002-6616-7917>, Email: mcuellar@ugto.mx

un mecanismo biológico que permitió transformar esos frágiles cascarones en fortalezas compuestas de carbonato de calcio y una pequeñísima fracción que son proteínas intraminerales, que conforman la clave extraordinaria de esta historia. Aunque existen otras proteínas en el interior del mismo en la yema y la clara.

Durante décadas los científicos pensaban que las aves aovan huevos duros, como los fósiles que se conservan. Un estudio publicado en Nature en 2020, mostró un giro inesperado a esta historia: los primeros dinosaurios aovaban huevos blandos.

Estos huevos de hace 150 millones de años o más, carecían de un cascarón mineralizado, lo que los hacía susceptibles a la desecación y a los depredadores. Para protegerlos, debían ser enterrados o cubiertos por vegetación. Pero algo cambió hace 70 millones de años. En ciertos linajes de dinosaurios terópodos los ancestros directos de las aves, surgió una innovación clave: la formación de cascarones calcificados. Esta estructura les permitió dejar los huevos a la vista, permitió la incubación, es decir utilizar el calor corporal lo que permitió una conexión parental, y mantener una vigilancia activa del nido. Dando origen a una forma de reproducirse y sobrevivir. [1]

Biomíneralización: cómo se construye una biocerámica natural

El cascarón de las aves modernas no es solo una estructura rígida, es una biocerámica compuesta por calcita (carbonato de calcio), y una matriz de proteínas especializadas que actúan como arquitectas para su formación y algunos genes controlan la forma.

Estas proteínas no solo hacen fuerte al cascarón, sino que lo guían para que los cristales que forman, crezcan y construyan el cascarón con una estructura oval, como una gota de agua que forma dentro del ave. La biomíneralización permite que el cascarón se construya capa por capa, favoreciendo la formación de poros que le permiten respirar, es decir, existe un intercambio del exterior al interior. De esta manera, funciona como una barrera contra microorganismos y una estructura óptima para resistir golpes.

Maxwell T Hincke demostró que la organización del cascarón se encuentra formado por dos fases, la orgánica y la mineral o inorgánica. En donde, la fase orgánica se encuentra conformada por las proteínas, y la mineral por el carbonato de calcio, las cuales en conjunto confieren al cascarón su rigidez como parte de una funcionalidad biológica. [2]

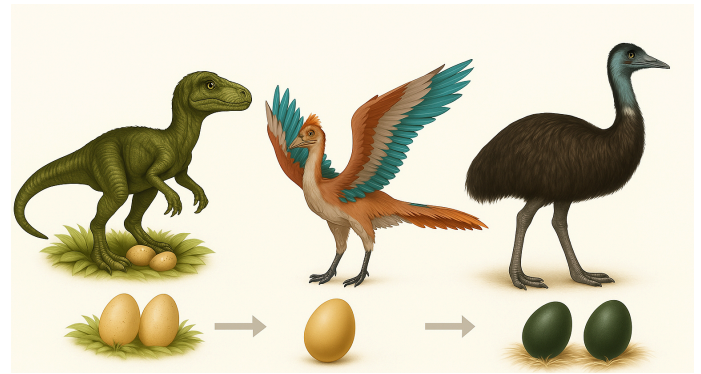


Figura 1. Secuencia evolutiva desde dinosaurios terópodos (izquierda) con huevos blandos, pasando por Archaeopteryx (centro) con cascarones mineralizados, hasta el emú (derecha) ave actual con huevos pigmentados. Esta ilustración destaca cómo la biomíneralización y las proteínas intraminerales jugaron un papel clave en la supervivencia y diversificación de las aves. Imagen elaborada a partir de recursos disponibles en internet.

Lo que nos cuentan los fósiles: ¿cascarones con memoria?

Ciertos dinosaurios desarrollaron cascarones mineralizados, hoy es posible encontrar fósiles de huevos con detalles asombrosos. No solo es impresionante su forma y tamaño, sino incluso la presencia de pigmentos se ha conservado, mostrando colores entre tonalidades verde oscuro, casi negro, con matices azulados.

Un estudio mostro que los dinosaurios de ancestros directos de las aves revelan que los fósiles encontrados muestran que huevos mineralizados con pigmentos biliverdina (verde al azul) y protoporfina (beige-marrón) indicando que el color de los cascarones ya existía antes de la aparición de las aves que conocemos actualmente. Posiblemente como una estrategia de camuflaje para su protección. Todos estos cambios estructurales del cascarón, pigmentación, incubación activa ofrecieron ventajas evolutivas. [3]

Probablemente ayudaron a que algunos linajes terópodos sobrevivieran a la extinción del Cretácico-Paleógeno y dieran origen a las aves modernas.

Hoy en día los neornites que son las aves que habitan en nuestro planeta; como la maravillosa ave ancestral conocida como Emú (*Dromaius novaehollandiae*) y la gallina (*Gallus gallus*) siguen utilizando el proceso ya perfeccionado con diferencias importantes que permitieron a cada especie evolucionar y que surgió de sus antepasados.

Estas proteínas no solo construyen el cascarón: le dan forma, estructura y función. En el mundo de las aves modernas, como la gallina, se han identificado más de 900 proteínas intraminerales dentro del cascarón, cada una con tareas específicas según la capa y la etapa de formación. Entre ellas, la más abundante es la ovocleidina-17, una proteína clave en la biomineralización.

Pero si viajamos hacia linajes más antiguos, como los ratites aves no voladoras que habitan principalmente en el hemisferio sur, como el emú, el panorama cambia. En lugar de cientos de proteínas distintas, predominan solo dos proteínas intraminerales principales (llamadas dromaicalcinas): DCA-1 y DCA-2, presentes casi como un dúo inseparable. [4]

Y aquí surge la gran pregunta: ¿para qué la naturaleza las mantuvo así?

La respuesta parece estar en su historia evolutiva. Al tratarse de aves más ancestrales los ratites también consideras aves modernas pero que pertenecen a otro grupo, la naturaleza no “arriesgo” su supervivencia; más bien conserva lo que funciona, manteniendo un sistema de biomineralización eficiente y probado durante millones de años. Mientras que aves modernas como las gallinas hizo un sistema optimizado tras millones de años de evolución con solo una.

Entonces ¿Cuando sobrevivir significa tener un buen cascaron?

Tras el famoso meteorito que marcó la extinción masiva del Cretácico, la Tierra cambió de forma drástica. Las colisiones provocaron incendios, nubes de polvo y gases que oscurecieron el cielo durante meses. Sin luz solar, la fotosíntesis se detuvo; los océanos se acidificaron y las plantas dejaron de crecer. Sin hojas para alimentarse, los grandes herbívoros colapsaron y con ellos, los depredadores que dependían de ellos.

En este nuevo mundo hostil, el tamaño se volvió un factor decisivo para sobrevivir. Los animales más pequeños necesitaban menos energía, podían aprovechar mejor los recursos escasos y adaptarse con mayor rapidez. Entre esos sobrevivientes se encontraban los ancestros directos de las aves modernas, que optimizaron sus estrategias para resistir en un planeta transformado.

Este camino evolutivo nos recuerda que las aves no aparecieron de la nada: descienden directamente de dinosaurios terópodos que aparecieron hace aproximadamente 200 millones de años, dentro de ellos pertenece un grupo de arcosaurios carnívoros. Un ejemplo clave es *Archaeopteryx*, de apenas 30

centímetros, que vivió hace 150 millones de años. Este fósil único combina rasgos de reptil y de ave, y marca la transición hacia las aves modernas: plumas, alas... y, por supuesto, huevos mineralizados. [5]

Aquí entra en juego nuestro “tiro al blanco”: las proteínas intraminerales. Aunque representan solo una fracción del cascarón, fueron cruciales. La biomineralización, guiada por estas proteínas, permitió la formación de cascarones duros capaces de proteger al embrión y resistir condiciones adversas.

Mientras muchos dinosaurios desaparecieron, las aves con cascarones resistentes y estrategias de incubación abiertas lograron persistir. Su legado continúa hasta hoy: cada huevo que vemos es el resultado de millones de años de adaptación, protección y evolución.

Conclusiones

Un cascarón que cuenta historias. El huevo no solo permite el desarrollo de la vida, también guarda una historia milenaria de evolución. La transición de huevos blandos a cascarones biomineralizados marca un antes y un después en la reproducción de especies como dinosaurios y se convirtió en una de las claves más importantes que permitió que las aves existieran hoy.

Cada cascaron es más que una cáscara; es una obra maestra biológica, una cápsula del tiempo y una prueba de que para sobrevivir se necesita una buena armadura en este caso las proteínas.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero otorgado a Mayra Cuéllar Cruz por el Proyecto No. CBF-2025-I-174 de la SECIHTI. Abel Moreno agradece al proyecto PAPIIT de la DGAPA-UNAM No. IN206125 por el apoyo parcial para este proyecto. Ariadna Guadalupe Urbina Guardado agradece a la SECIHTI por la beca otorgada para realizar sus estudios de maestría (CVU: 2018714).

Referencias

- [1] Norell, M. A., Wiemann, J., Fabbri, M., Yu, C., Marsicano, C. A., Moore-Nall, A., Varricchio, D. J., Pol, D., & Zelenitsky, D. K. (2020). The first dinosaur egg was soft. *Nature* 2020 583:7816, 583(7816), 406–410. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2412-8>
- [2] le Roy, N., Stapane, L., Gautron, J., & Hincke, M. T. (2021). Evolution of the Avian Eggshell Biomineralization Protein Toolkit - New Insights From Multi-Omics. *Frontiers in Genetics*, 12. <https://doi.org/10.3389/FGENE.2021.672433>
- [3] Wiemann, J., Yang, T. R., & Norell, M. A. (2018). Dinosaur egg colour had a single evolutionary origin. *Nature* 2018 563:7732, 563(7732), 555–558. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0646-5>
- [4] Mann, K., & Siedler, F. (2006). Amino acid sequences and phosphorylation sites of emu and rhea eggshell C-type lectin-like proteins. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B*,

Biochemistry & Molecular Biology, 143(2), 160–170.
<https://doi.org/10.1016/J.CBPB.2005.11.003>

- [5] Stiller, J., Feng, S., Chowdhury, A. A., Rivas-González, I., Duchêne, D. A., Fang, Q., Deng, Y., Kozlov, A., Stamatakis, A., Claramunt, S., Nguyen, J. M. T., Ho, S. Y. W., Faircloth, B. C., Haag, J., Houde, P., Cracraft, J., Balaban, M., Mai, U., Chen, G., Zhang, G. (2024). Complexity of avian evolution revealed by family-level genomes. *Nature* 2024 629:8013, 629(8013), 851–860.
<https://doi.org/10.1038/s41586-024-07323-1>