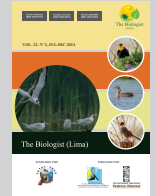


The Biologist (Lima), 2024, vol. 22 (2), 291-300



The Biologist (Lima)



COMMENTARY / COMENTARIO

EVOLUTION AND THE SCIENTIFIC METHOD

LA EVOLUCIÓN Y EL MÉTODO CIENTÍFICO

Diego Sánchez-Véliz¹, Álvaro Ibaceta², José Ariel Fernández³, Jehoshua Macedo-Bedoya^{4*}
& Mizraim Moroyoqui Cárdenas⁵

¹ Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

² Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

³ CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), La Plata, Argentina.

⁴ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

⁵ Universidad de Sonora, Hermosillo, México.

* Corresponding author: jehoshua.macedo@unmsm.edu.pe

Diego Sánchez-Véliz: <https://orcid.org/0009-0009-6180-9974>

Álvaro Ibaceta: <https://orcid.org/0009-0009-9538-4839>

José Ariel Fernández: <https://orcid.org/0000-0003-2341-6423>

Jehoshua Macedo-Bedoya: <https://orcid.org/0009-0008-7958-5318>

Mizraim Moroyoqui Cárdenas: <https://orcid.org/0009-0005-3184-0939>

ABSTRACT

Three main creationist claims that deny the scientific nature of evolutionary theory are refuted: that it is not falsifiable, predictive, or observable. It demonstrates that evolution is falsifiable since improbable findings could challenge it, and discrepancies in data drive further research. The evolutionary theory is also predictive and retrodictive, as evidenced by Darwin's confirmed predictions about pollinators and the discovery of marsupial fossils in Antarctica. Moreover, evolution is observable and testable, with numerous documented cases of adaptation and natural selection. In conclusion, evolution meets scientific criteria and has been consistently validated, thus refuting creationist assertions.

Keywords: Falsifiability – fossils – natural selection – observation – prediction

RESUMEN

Se refutan tres principales alegatos creacionistas que niegan la científicidad de la teoría evolutiva: que no es falsable, predictiva ni observable. Se demuestra que la evolución es falsable, ya que hallazgos improbables podrían desafiarla y discrepancias en datos motivan nuevas investigaciones. La teoría evolutiva también es predictiva y retrodictiva, como lo evidencian las predicciones confirmadas de Darwin sobre polinizadores y los fósiles de marsupiales en la Antártida.

Este artículo es publicado por la revista *The Biologist (Lima)* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



DOI: <https://doi.org/10.62430/rtb20242221798>

Además, la evolución es observable y experimentable, con numerosos casos documentados de especiación. En conclusión, la evolución cumple con los criterios científicos y ha sido consistentemente validada, refutando así las afirmaciones creacionistas.

Palabras clave: Falsabilidad – fósiles – observación – predicción – selección natural

El principal alegato creacionista consiste en negar que la teoría evolutiva tenga las características básicas y comunes de toda teoría científica, es decir, niegan que sea falsable, predictiva, observable, experimentable y que en general niegan que la evolución se basa en el método científico (Morris, 1985). El objetivo de esto no es otro que el de negar la realidad científica de la evolución misma y tratar de convencer a quien sea, de que la evolución no es ciencia. Desafortunadamente para los defensores del creacionismo, la evolución es una realidad innegable y la teoría evolutiva, el modelo explicativo más lógico posible de esta realidad (Gregory, 2008), y como tal, presenta estas tres características distintivas y este artículo se escribió con el propósito de demostrarlo.

(1) “La evolución no es falsable”

Esta es una de las acusaciones más frecuentes de los creacionistas. Pero, ¿Exactamente a qué nos referimos en ciencia por falsabilidad? Sin entrar a tantos detalles sobre la filosofía de la ciencia, la falsabilidad es un estándar deductivo en donde se considera la posibilidad de someter una hipótesis o proposición a potenciales pruebas y argumentos que la contradigan (Hansson, 2008; Humpiri *et al.*, 2021). Para entender lo que se viene, debemos entender qué es una hipótesis y una teoría científica:

- *Hipótesis científica:* Una hipótesis en ciencia es una explicación aceptada provisionalmente de manera fundamentada con datos, que se propone para la investigación y comprobación posterior (Wilson, 2023).
- *Teoría científica:* Una teoría en ciencia es un marco explicativo bien fundamentado en la evidencia para una serie de hechos y observaciones que se pueden probar y utilizar para predecir observaciones futuras. Las teorías se guían de los hechos y de los datos, por lo tanto, si la teoría deja de encajar con los hechos y los datos, se puede modificar o rechazar por una teoría mejor construida (Álvarez, 2018).

Harding (1976) nos da como ejemplo la tesis de Duhem-Quine en donde se afirma que es imposible probar o falsear una hipótesis de forma aislada por dos razones:

1. Las hipótesis y teorías se basan en una serie de datos de apoyo. Por ejemplo, ¿la exposición del fraude del Hombre de Piltdown falsifica la validez de ese fósil solo, o de toda la teoría evolutiva? Claramente solo falsifica la validez de ese fósil, más no de la teoría evolutiva en su conjunto (De Groot *et al.*, 2016).
2. Una discrepancia entre las teorías y los datos no necesariamente falsea la teoría en su conjunto. Por ejemplo, a principios del siglo XIX, los científicos descubrieron discrepancias entre la órbita de Urano, y las predicciones de la teoría de la gravedad de Newton. Sin embargo, esta discrepancia entre la teoría y la evidencia no se consideró una falsificación de la teoría; con el tiempo, la discrepancia se resolvió con el descubrimiento de Neptuno. A finales del siglo XIX, se descubrió una discrepancia similar en la órbita de Mercurio (Biswas & Mani, 2008), la cual condujo a la falsificación de la gravedad newtoniana; la discrepancia sólo pudo resolverse cuando Einstein propuso su teoría de la relatividad. No obstante, esta discrepancia no acabó con la gravedad Newtoniana, pues cuando la teoría se rechaza no necesariamente se rechaza por completo, pues siguen siendo útiles en dominios particulares o bajo ciertas condiciones (Winther, 2015), y ese es el caso de la Teoría Newtoniana de la gravedad, que sigue siendo útil bajo ciertas condiciones, aunque la Teoría de la relatividad de Einstein la haya superado. La teoría de la relatividad especial no descarta la gravitación Newtoniana, sino que toma lo que funciona de aquel modelo y descarta lo que no funciona y expande el modelo explicativo para incluir las observaciones nuevas (Wiesendanger, 2014).

Los científicos no considerarán que una teoría sea falsa simplemente por la existencia de discrepancias entre las predicciones teóricas y las observaciones, de hecho, intentar dar cuenta de tales discrepancias es lo que motiva

mucha investigación científica (Baena, 2017). Dicho esto, hay numerosas piezas de evidencia que podrían falsificar ciertos aspectos de la evolución:

- Encontrar cierto tipo de transiciones imposibles e incoherentes, bajo el marco evolutivo actual, podría dar lugar a dudas sobre ciertos aspectos de la evolución. Por ejemplo, todas las evidencias actuales (genéticas, morfológicas, paleontológicas, de desarrollo y demás) nos muestran que los mamíferos no evolucionaron de las aves (y viceversa), esas evidencias separan ambos grupos en linajes evolutivos diferentes, por lo tanto, la teoría predice que no deben existir transiciones entre estos dos grupos (Hendrickx *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2023). La evolución muestra que de hecho los mamíferos evolucionaron de un grupo

llamado Synapsida (Figura 1), específicamente de los Therapsida Cynodontia (Ruta *et al.*, 2013; Hackländer & Zacos, 2020), y las aves evolucionaron de un grupo llamado Sauropsida, específicamente de los Theropoda Maniraptora (Hendrickx *et al.*, 2015), como sabemos que los mamíferos no evolucionaron de las aves ni las aves de los mamíferos, entonces también se afirma que jamás deberíamos encontrar una transición entre estos dos taxones, y jamás se ha encontrado uno. Asumiendo que mágicamente se llegase a encontrar un fósil de transición inequívocamente entre mamíferos y aves, con ello se estaría discrepando directamente lo que sabemos sobre la evolución de los mamíferos y evolución de las aves (Herron & Freeman, 2014; Benton & Harper, 2020).

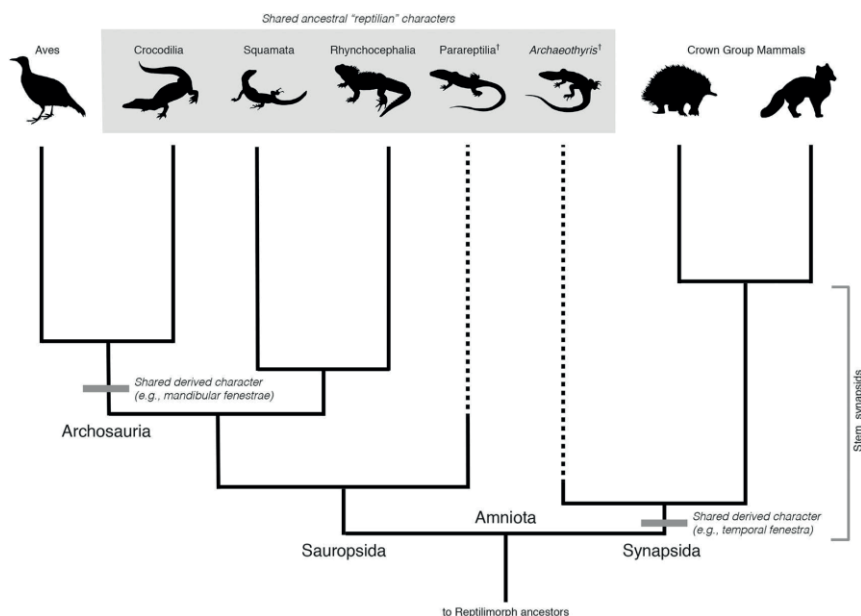


Figura 1. Filogenia de grupos principales seleccionados de amniotas, Aves surgiendo de Sauropsida y mamíferos de Synapsida (Fournier & Poole, 2018).

- Si los biólogos observaran directamente y de forma inequívoca organismos vivos ser creados de forma sobrenatural y compleja y apareciendo de la nada sin pasar por un proceso evolutivo de especiación y cambios evolutivos posteriores, entonces se estaría observando directamente un caso de falsificación a la evolución.
- La propia definición de evolución biológica, entendida como descendencia con modificaciones o cambio en las características de la población a través del tiempo (Herron & Freeman, 2014; Pontarotti,

2019; Abrams, 2023), implica que si se observas en poblaciones incapaces de generar descendencia con modificaciones (morfológicas y/o genéticas) la teoría quedaría falsada. Para la desilusión de los creacionistas y críticos de la evolución, la variación en frecuencias alélicas se ha observado constantemente en diversos grupos de organismos (Herron & Freeman, 2014).

Por lo tanto: ¿Se puede falsear la evolución? La respuesta es que sí.

(2) “La evolución no es predictiva”

Las teorías científicas deben poseer un poder predictivo, es decir, el poder de una teoría científica para generar predicciones comprobables; los creacionistas alegan que la teoría evolutiva no tiene este poder predictivo, y, por lo tanto, concluyen erróneamente que la evolución no es ciencia. Muchos creacionistas caen en el error de asumir que las predicciones hechas por las teorías científicas son direccionales solo para un sentido, o sea, se asume que solo se pueden hacer predicciones a futuro, pero eso no es del todo cierto, pues ignoran las retrodicciones (Barnett *et al.*, 2021). Una retrodicción es el acto de predecir los resultados aún no descubiertos de eventos pasados. Campos científicos como la paleontología, arqueología, las ciencias forenses y la cosmología se basan en las retrodicciones, así que, si los creacionistas descartan a la evolución (biología evolutiva) por esto, entonces deberían admitir que también descartarían todas las ciencias anteriormente mencionadas. Algunas predicciones/

retroediciones hechas por la teoría evolutiva y que se han comprobado son las siguientes:

- Darwin utilizó su conocimiento de la evolución y en 1862 en su libro “Fertilisation of Orchids” predijo (hizo una predicción evolutiva) que dado que existe una planta con un largo espolón en sus flores (*Angraecum sesquipedale* Thouars, 1822), también debería de existir un animal complementario con una probóscide de 30 cm para alimentarse de ella y polinizarla. De forma complementaria, Wallace en 1867 apoyando la predicción de Darwin afirmó y predijo con total seguridad que, de existir tal animal, debía ser de la Familia Sphingidae y estar viviendo en Madagascar. Veinte años después de su muerte, se encontró una forma de polilla halcón (*Xanthopan morgani* Walker, 1856) (Figura 2) que hacía precisamente eso y que vive justamente en Madagascar (Arditti *et al.*, 2012; Minet *et al.*, 2021).

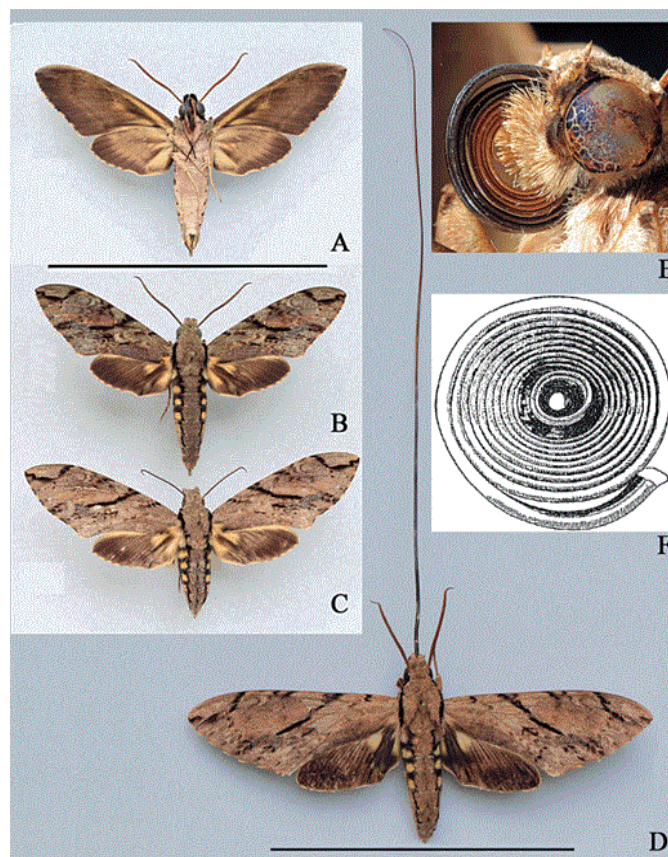


Figura 2. *Xanthopan morgani praedicta* de Madagascar (Arditti *et al.*, 2012).

- La teoría evolutiva nos dice que las Ballenas barbadas (Mysticeti) y Ballenas dentadas (Odontoceti) poseen

un mismo ancestro común, que eran cetáceos con dientes (Gatesy *et al.*, 2013; Gatesy & McGowen,

2021), por lo tanto, la teoría evolutiva predice de forma acertada que, si eso es cierto, deberíamos ver evidencia de cómo las ballenas barbadas poseen dientes, y lo hacemos (Figura 3). Está ampliamente demostrado que, en el útero, las ballenas barbadas inician el desarrollo embrionario con el desarrollo de varias docenas de dientes en las mandíbulas superior e inferior, pero hacia el final de la vida prenatal se reabsorben y no queda rastro después del nacimiento, y dan lugar a las barbas. Esto refleja que los ancestros

de los cetáceos barbados eran cetáceos dentados (Thewissen *et al.*, 2017; Deméré *et al.*, 2008; Peredo *et al.*, 2018). Esto se refuerza aún más gracias al descubrimiento fósil de *Janjucetus hunderi* (Fitzgerald, 2006) y *Llanocetus denticrenatus* (Mitchell, 1989), las cuales pertenecieron a Mysticeti pero no tenían barbas sino dientes. Además, el descubrimiento de *Maiabalaena* demuestra que las ballenas barbadas perdieron los dientes antes de desarrollar las barbas (Figura 3).

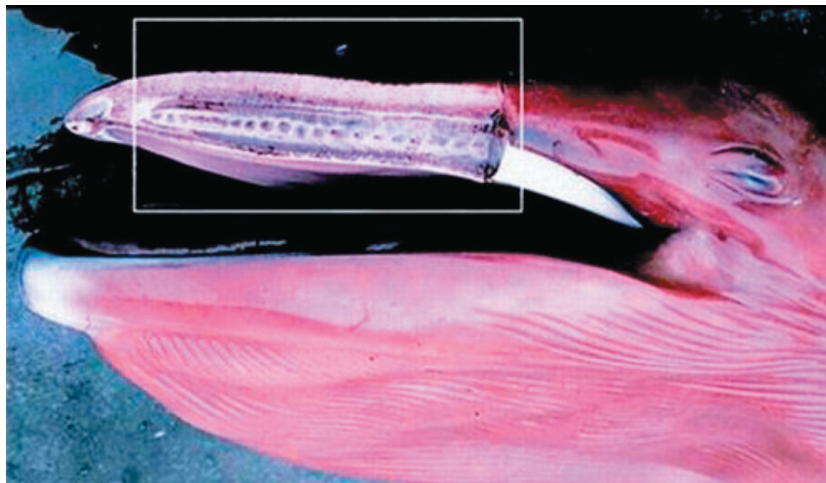


Figura 3. Feto de *Balaenoptera physalus* (ballena barbada) con disección que muestra las yemas de los dientes en la mandíbula superior (Deméré *et al.*, 2008).

- Los marsupiales están presentes sólo en dos partes geográficas: En Australia, como los canguros, bandicoots y cuoles (marsupiales de Australia) y en América, como los cenoléstidos, zarigüeyas y el monito del monte (marsupiales del nuevo mundo) (Nilsson *et al.*, 2004). El ancestro común de los marsupiales sudamericanos y australianos estaba presente antes de que Pangea se dividiera (Figura 4), por lo tanto, gracias a la biogeografía, la teoría evolutiva predice correctamente que deberíamos encontrar fósiles de los ancestros de los marsupiales sudamericanos y australianos que datan de antes de que estas masas continentales (Australia-América) se separaran. En consecuencia, y de forma en que se corrobora la predicción hecha por la evolución, encontramos los primeros fósiles de marsupiales y Metatheria (como *Deltatheridium* y *Alphadon*) que datan del Cretácico superior (Williamson *et al.*, 2012; Wilson *et al.*, 2016; Velazco *et al.*, 2022), cuando América del Sur, la Antártida y Australia aún estaban conectadas. Para que el intercambio biótico de los marsupiales entre Australia y América haya sucedido, por lógica y

deducción paleontológica obvia, es que los marsupiales prehistóricos tuvieron que haber cruzado la Antártida (Nilsson *et al.*, 2010; Schiwe, 2010). En el Cenozoico temprano, Australia todavía estaba conectada a la Antártida hasta el límite Eoceno-Oligoceno, en donde se separaron completamente. Curiosamente, hemos encontrado fósiles de marsupiales en la Antártida específicamente, en la Formación La Meseta, la cual es extremadamente rica en fósiles. Entre los marsupiales encontrados resaltan: Derorhynchidae, Microbiotheria y Polydolopimorphia (Goin *et al.*, 2007; Eldridge *et al.*, 2019; Defler *et al.*, 2019; Vega & Olalla-Tárraga, 2020). Esta es una asombrosa confirmación predictiva macroevolutiva, dado que ningún marsupial vive en la Antártida ahora.

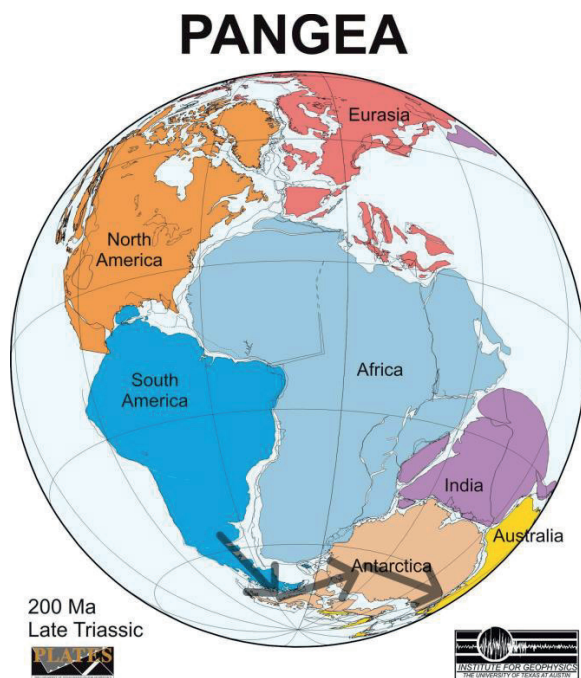


Figura 4. Se muestra el camino entre América, Antártida y Australia. Imagen editada de Pangea, basado en: Institute for Geophysics.

- Darwin predijo en su época que la pérdida de la capacidad de volar de los insectos de las islas se debía a la influencia del viento (Darwin, 1859). Según su hipótesis, los insectos que vuelan son llevados al mar por el viento, los que quedan en tierra para producir la próxima generación son los más reacios a volar, y eventualmente la evolución hace el resto, conduciendo a poblaciones de insectos con menor capacidad de vuelo cada generación. Sin embargo, Joseph Hooker tuvo sus dudas y debatió con Darwin sobre esto. Más de 100 años después la predicción de Darwin fue acertada, utilizando un conjunto de datos sobre insectos de las islas subantárticas y árticas, los investigadores de la Universidad de Monash examinaron todas las ideas propuestas para explicar la pérdida de vuelo en los insectos, incluida la idea del viento de Darwin, la cual resultó ser la explicación más contundente y coherente. Ninguna de las ideas usuales (como las propuestas por Hooker) explica el alcance de la pérdida de vuelo en los insectos subantárticos, pero la idea de Darwin sí lo hace (Leihy & Chown, 2020).
- Darwin en 1859, en su libro, predijo que los murciélagos habían pasado de planear a volar en el aire. En 2024 se logró comprobar eso conjugando tres avances científicos: por un lado, tener un modelo

computacional lo suficientemente apto para simular el vuelo de los murciélagos primitivos (Giannini *et al.*, 2024). Por otro lado, contar con el fósil de murciélagos más antiguo del que se tenga registro: *Onychonycteris finneyi* Simmons, Seymour, Habersetzer & Gunnell, 2008 (Figura 5). Y emular la atmósfera de esa época (que era mucho más densa que la actual), con el fin de establecer los mecanismos implicados en la evolución del vuelo propulsado en los mamíferos en el medio que les tocó para evolucionar. Con ello se puede comprobar y validar la predicción de Darwin de que el origen del vuelo era desde un planeador hacia un volador (Giannini *et al.*, 2024).

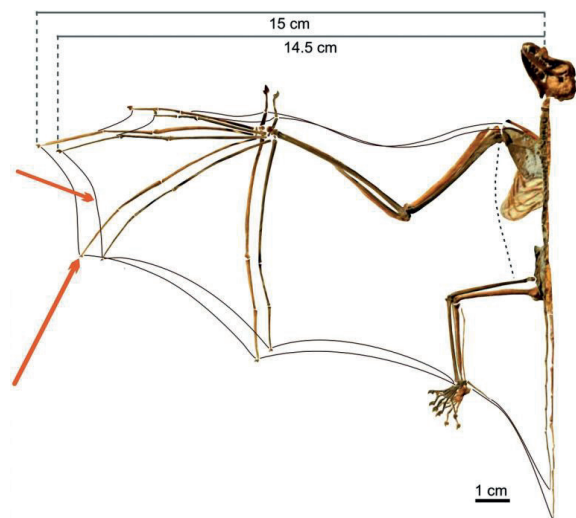


Figura 5. Perfil aerodinámico reconstruido de los dos especímenes existentes de *Onychonycteris finneyi* (Giannini *et al.*, 2024).

Por lo tanto: ¿La evolución hace predicciones acertadas y comprobables? La respuesta es que sí.

(3) “La evolución no es observable”

Este punto también tiene sus variaciones, como decir que la evolución: “no es experimentable, no es verificable o no es repetible”, así que en este tercer y último punto se abordarán las diversas variaciones de forma general. La función principal de la ciencia es demostrar la existencia de fenómenos que no pueden ser observados directamente, esto mediante el uso de herramientas lógicas y tecnológicas mucho mejores y precisas que el ojo humano. Si la realidad nos fuera totalmente accesible directamente por medios de los sentidos, no haría falta la ciencia. Los descubrimientos más importantes de la

ciencia sólo se han inferido a través de la observación indirecta, la esfericidad de la Tierra se determinó sin observar directamente la Tierra desde el espacio, o los átomos se descubrieron sin que estos fueran observados. La evolución se basa en observaciones directas e indirectas. La evolución se ha observado y experimentado

ampliamente; incluso, la especiación, proceso por el cual las poblaciones divergen hacia nuevas poblaciones, y por consiguiente, a nuevas especies (Herrel *et al.*, 2008; Ratcliff *et al.*, 2012; Bell, 2016; Lamichhane *et al.*, 2017; Lenski, 2017; Momigliano *et al.*, 2017; Wagner, 2018; Herron *et al.*, 2019) (Figura 6).

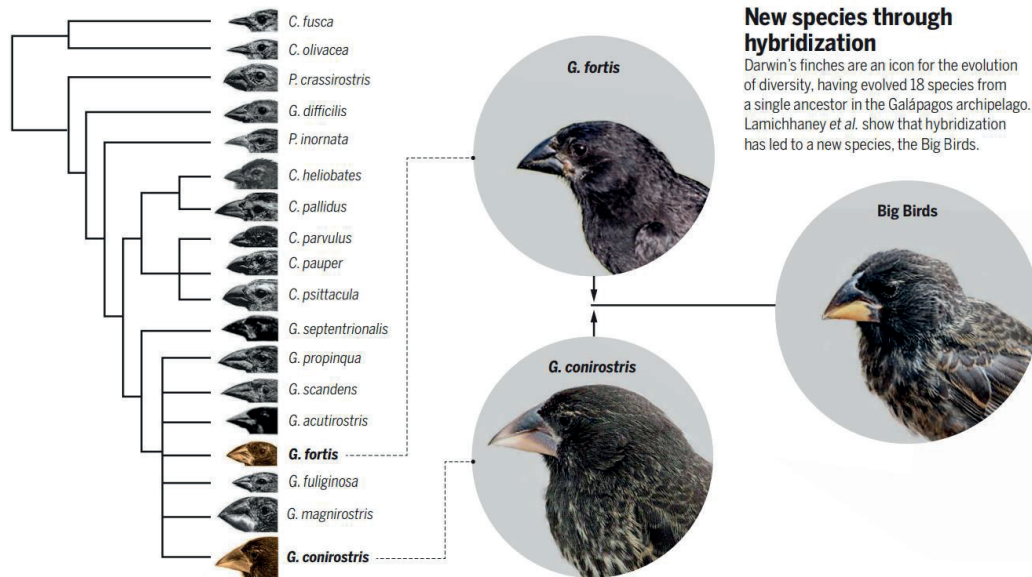


Figura 6. Nuevas especies de Pinzón gracias a la especiación híbrida. Los pinzones de Darwin son un icono de la evolución de la diversidad, al haber evolucionado 18 especies a partir de un único ancestro en el archipiélago de las Galápagos. Lamichhane *et al.* (2017) demuestran que la hibridación ha dado lugar a una nueva especie, los pájaros grandes (Wagner, 2018).

Consideraciones finales:

Por lo tanto: ¿La evolución es observable/experimentable/verificable/repetible? La respuesta es que sí. La conclusión es ya obvia, la evolución se basa en el método científico y ha sido comprobada por método científico.

Aspectos éticos: Aseguramos que se han cumplido con todos los aspectos éticos a nivel nacional e internacional en todo momento.

Author contributions

- DSV = Diego Sánchez-Véliz
- AI = Álvaro Ibaceta
- JAF = José Ariel Fernández
- JMB = Jehoshua Macedo-Bedoya
- MMC = Mizraim Moroyoqui-Cárdenas

- Conceptualization:** DSV, AI
- Data curation:** DSV, AI
- Formal analysis:** DSV, AI, JAF
- Funding acquisition:** DSV, AI
- Investigation:** DSV, AI, MMC
- Methodology:** DSV, AI
- Project administration:** DSV, AI, JMB
- Resources:** DSV, JMB
- Software:** JMB
- Supervision:** DSV, JMB, JAF
- Validation:** DSV, JMB
- Visualization:** DSV, AI, JAF
- Writing – original draft:** DSV, AI
- Writing – review & editing:** DSV, JMB, MMC

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, M. (2023). *Evolution and the Machinery of Chance*. University of Chicago Press.
- Álvarez, G. (2018). ¿Son las teorías científicas estructuras, instrumentos o realidad?. *Pensamiento Americano*, 11, 50-65.
- Arditti, J., Elliott, J., Kitching, I. J., & Wasserthal, L.T. (2012). 'Good Heavens what insect can suck it'—Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morgani praedicta*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 169, 403-432.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. 3ª edición. Editorial Patria.
- Barnett, S.M, Jeffers, J., & Pegg, D.T. (2021). Quantum Retrodiction: Foundations and Controversies. *Symmetry*, 13, 586.
- Bell, G. (2016). Experimental macroevolution. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20152547.
- Benton, M.J., & Harper, D.A.T. (2020). *Introduction to Paleobiology and the Fossil Record*. John Wiley & Sons.
- Biswas, A., & Mani, K. R. (2008). Relativistic perihelion precession of orbits of Venus and the Earth. *Central European Journal of Physics*, 6, 754-758.
- Darwin, C. (1859). *Origin of species*, first edition. https://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/Chancellor_vanWyhe_Origin1st.html
- De Groot, I., Flink, L.G., Abbas, R., Bello, S. M., Burgio, L., Buck, L. T., Dean, C., Freyne, A., Higham, T., Jones, C. G., Kruszynski, R., Lister, A., Parfitt, S. A., Skinner, M. M., Shindler, K., & Stringer, C. B. (2016). Correction to 'New genetic and morphological evidence suggests a single hoaxer created 'Piltdown Man''. *Royal Society open science*, 3, 160679.
- Defler, T., Defler, T., & Saini. (2019). *History of terrestrial mammals in South America*. Springer International Publishing.
- Deméré, T.A., McGowen, M.R., Berta, A., & Gatesy, J. (2008). Morphological and molecular evidence for a stepwise evolutionary transition from teeth to baleen in mysticete whales. *Systematic biology*, 57, 15-37.
- Eldridge, M.D., Beck, R.M., Croft, D.A., Travouillon, K.J., & Fox, B.J. (2019). An emerging consensus in the evolution, phylogeny, and systematics of marsupials and their fossil relatives (Metatheria). *Journal of Mammalogy*, 100, 802-837.
- Fournier, G. P., & Poole, A. M. (2018). A briefly argued case that Asgard archaea are part of the eukaryote tree. *Frontiers in microbiology*, 9, 408428.
- Gatesy, J., Geisler, J. H., Chang, J., Buell, C., Berta, A., Meredith, R. W., Springer, M. S., & McGowen, M. R. (2013). A phylogenetic blueprint for a modern whale. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66, 479-506.
- Gatesy, J., & McGowen, M.R. (2021). Higher level phylogeny of baleen whales. In *The bowhead whale* (pp. 3-10). Academic Press.
- Giannini, N.P., Cannell, A., Amador, L.I., & Simmons, N. B. (2024). Palaeoatmosphere facilitates a gliding transition to powered flight in the Eocene bat, *Onychonycteris fanneyi*. *Communications Biology*, 7, 365.
- Goin, F.J., Zimicz, N., Reguero, M.A., Santillana, S.N., Marensi, S.A., & Moly, J.J. (2007). Nuevo marsupial (Mammalia) del Eoceno de la Antártida, y los orígenes y afinidades de los Microbiotheria. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62, 597-603.
- Gregory, T.R. (2008). Evolution as fact, theory, and path. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 46-52.
- Hackländer, K. & Zachos, F. E. (2020). *Mammals of Europe: past, present, and future. Handbook of the mammals of Europe*. Springer.
- Hansson, S.O. (2008). "Science and Pseudo-Science", The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Zalta, E.N. (ed.).
- Harding, S.G. (1976). Can Theories be Refuted? Volume 81. University of New York.
- Hendrickx, C., Hartman, S. A., & Mateus, O. (2015). An overview of non-avian theropod discoveries and classification. *PalArch's Journal of Vertebrate Palaeontology*, 12, 1-73.
- Herron, J.C., & Freeman, S. (2014). *Evolutionary Analysis* (5th ed.). Pearson.
- Herron, M.D., Borin, J.M., Boswell, J.C., Walker, J., Chen, I.C.K., Knox, C.A., Boyd, M., Rosenzweig, E., & Ratcliff, W. C. (2019). De novo origins of multicellularity in response to predation. *Scientific reports*, 9, 2328.
- Herrel, A., Huyghe, K., Vanhooydonck, B., Backeljau, T., Breugelmans, K., Grbac, I., Van Damme,

- R., & Irschick, D.J. (2008). Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource. *Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 4792-4795.
- Humpiri, J., Humpiri F. de M., & Mamani-Condori, E. E. (2021). Teorías científicas. Las propuestas de Popper y Kuhn sobre investigaciones científicas. *Horizontes*, 5, 277-296.
- Lamichhaney, S., Han, F., Webster, M. T., Andersson, L., Grant, B. R., & Grant, P. R. (2017). Rapid hybrid speciation in Darwin's finches. *Science*, 359, 224-228.
- Leihy, R. I., & Chown, S. L. (2020). Wind plays a major but not exclusive role in the prevalence of insect flight loss on remote islands. *Proceedings of the Royal Society B*, 287, 20202121.
- Lenski, R.E. (2017). Experimental evolution and the dynamics of adaptation and genome evolution in microbial populations. *The ISME journal*, 11, 2181-2194.
- Li, Z., Wang, M., Stidham, T.A., & Zhou, Z. (2023). Decoupling the skull and skeleton in a Cretaceous bird with unique appendicular morphologies. *Nature Ecology & Evolution*, 7, 20-31.
- Minet, J., Basquin, P., Haxaire, J., Lees, D. C., & Rougerie, R. (2021). A new taxonomic status for Darwin's "predicted" pollinator: *Xanthopan praedicta* stat. nov. *Antenor*, 8, 69-86.
- Momigliano, P., Jokinen, H., Fraimout, A., Florin, A. B., Norkko, A., & Merilä, J. (2017). Extraordinarily rapid speciation in a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 6074-6079.
- Morris, H.M. (1985). *Scientific Creationism*. Institute for Creation Research.
- Nilsson, M.A., Arnason, U., Spencer, P. B., & Janke, A. (2004). Marsupial relationships and a timeline for marsupial radiation in South Gondwana. *Gene*, 340, 189-196.
- Nilsson, M.A., Churakov, G., Sommer, M., Tran, N.V., Zemmann, A., Brosius, J., & Schmitz, J. (2010). Tracking marsupial evolution using archaic genomic retroposon insertions. *Plos biology*, 8, e1000436.
- Peredo, C.M., Pyenson, N.D., Marshall, C.D., & Uhen, M.D. (2018). Tooth loss precedes the origin of baleen in whales. *Current Biology*, 28, 3992-4000.
- Pontarotti, P. (2019). *Evolution, Origin of Life, Concepts and Methods*. Springer eBooks.
- Ratcliff, W. C., Denison, R. F., Borrello, M., & Travisano, M. (2012). Experimental evolution of multicellularity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 1595-1600.
- Ruta, M., Botha-Brink, J., Mitchell, S.A., & Benton, M.J. (2013). The radiation of cynodonts and the ground plan of mammalian morphological diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 20131865.
- Schiewe, J. (2010). Australia's marsupials originated in what is now South America, study says - Los Angeles Times. *Los Angeles Times*.
- Thewissen, J. G. M., Hieronymus, T. L., George, J. C., Suydam, R., Stimmelmayer, R., & McBurney, D. (2017). Evolutionary aspects of the development of teeth and baleen in the bowhead whale. *Journal of Anatomy*, 230, 549-566.
- Vega, G.C., & Olalla-Tárraga, M.Á. (2020). Past changes on fauna and flora distribution. In *Past Antarctica* (pp. 165-179). Academic Press.
- Velasco, P.M., Buczek, A.J., Hoffman, E., Hoffman, D.K., O'Leary, M.A., & Novacek, M. J. (2022). Combined data analysis of fossil and living mammals: A Paleogene sister taxon of Placentalia and the antiquity of Marsupialia. *Cladistics*, 38, 359-373.
- Wagner, C.E. (2018). Improbable big birds. *Science*, 359, 157-159.
- Wiesendanger, C. (2014). General Relativity as the Classical Limit of the Renormalizable Gauge Theory of Volume Preserving Diffeomorphisms. *Journal of Modern Physics*, 5, 948-958.
- Williamson, T. E., Brusatte, S. L., Carr, T. D., Weil, A., & Standhardt, B. R. (2012). The phylogeny and evolution of Cretaceous-Palaeogene metatherians: cladistic analysis and description of new early Palaeocene specimens from the Nacimiento Formation, New Mexico. *Journal of Systematic Palaeontology*, 10, 625-651.
- Wilson, G. P., Ekdale, E. G., Hoganson, J. W., Caledo, J. J., & Vander Linden, A. (2016). A large carnivorous mammal from the Late Cretaceous and the North American origin of marsupials. *Nature communications*, 7, 13734.

Wilson, V. M. (2023). Las hipótesis en la investigación científica. *Sibinas Revista de la Dirección general de bibliotecas*, 1, 44-49.

Winther, R. G. (2015). The structure of scientific theories. In Zalta, E.N. (Ed.), *The Stanford Encyclopedia*

of Philosophy (Spring 2021 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University.

Received July 4, 2024.

Accepted September 7, 2024.