



The Biologist (Lima)



COMENTARY / COMENTARIO

¿DOES EVOLUTION VIOLATE THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS?

¿VIOLA LA EVOLUCIÓN LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA?

Diego Sánchez-Véliz¹ & Jehoshua Macedo-Bedoya^{2,3*}

¹ Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile. diego.sanchezv@alumnos.uv.cl

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. jehoshua.macedo@unmsm.edu.pe

³ Red de Investigadores en Biodiversidad, Ecología y Conservación (RIBEC), Perú.

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

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

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

ABSTRACT

The argument that evolution contradicts the second law of thermodynamics arises from a misinterpretation of this law, which does not preclude local increases in order in open systems such as the Earth or living organisms. The second law states that total entropy in an isolated system tends to increase, but it does not exclude the possibility that complexity may increase locally, provided it is compensated by a larger increase in entropy in the environment. Evolution and abiogenesis operate within the limits of physical laws. Energy from the Sun drives self-organizing processes, allowing living systems to reduce their internal entropy while increasing the total entropy of the universe. Furthermore, concepts such as Gibbs free energy and dissipative structures explain how biological and chemical processes can generate order without violating thermodynamics. Recent studies connect natural selection with thermodynamic principles, showing that evolution maximizes energy efficiency and complies with the second law. Far from contradicting each other, evolution and thermodynamics are interdependent, and understanding them together reveals how living systems emerge and organize in a universe governed by physical laws.

Keywords: Abiogenesis – Entropy – Gibbs Free Energy – Natural Selection

RESUMEN

El argumento de que la evolución contradice la segunda ley de la termodinámica surge de una interpretación errónea de esta ley, que no impide el aumento local de orden en sistemas abiertos como la Tierra o los organismos vivos. La



segunda ley establece que la entropía total en un sistema aislado tiende a aumentar, pero no excluye la posibilidad de que la complejidad aumente localmente siempre que se compense con un incremento mayor de entropía en el entorno. La evolución y la abiogénesis operan dentro de los límites de las leyes físicas. La energía del Sol impulsa procesos de autoorganización, permitiendo que los sistemas vivos reduzcan su entropía interna mientras incrementan la entropía total del universo. Además, conceptos como la energía libre de Gibbs y las estructuras disipativas explican cómo los procesos biológicos y químicos pueden generar orden sin violar la termodinámica. Estudios recientes conectan la selección natural con principios termodinámicos, mostrando que la evolución maximiza la eficiencia energética y cumple con la segunda ley. Lejos de contradecirse, la evolución y la termodinámica son interdependientes, y su comprensión conjunta revela cómo los sistemas vivos emergen y se organizan en un universo gobernado por leyes físicas.

Palabras clave: Abiogénesis – Energía Libre de Gibbs – Entropía – Selección Natural

INTRODUCCIÓN

Un “argumento” muy común entre los creacionistas, es que “la evolución contradice la segunda ley de la termodinámica”, ya que supondría que la vida se mueve del caos al orden, y de lo simple a lo complejo. Este razonamiento se basa en una interpretación incorrecta de la ley, que confunde entropía con desorden absoluto, y asume que los sistemas vivos, al evolucionar hacia mayor complejidad, estarían violando principios fundamentales de la física. Sin embargo, este argumento ignora el contexto en el que operan los sistemas vivos y las reglas de la termodinámica. En este texto, se explicará cómo la evolución y la segunda ley de la termodinámica no solo son compatibles, sino que la segunda ley es fundamental para comprender los procesos evolutivos y el origen de la vida (abiogénesis).

Segunda ley y la Tierra

La segunda ley de la termodinámica establece que el calor fluye naturalmente de un cuerpo caliente a uno frío (Sears *et al.*, 2009), en otras palabras, en un sistema aislado, la entropía, tiende a aumentar con el tiempo. No dice que el orden nunca pueda aumentar, sino que la cantidad neta de orden del sistema disminuye. La Tierra no es un sistema aislado: recibe una cantidad masiva de energía del Sol, lo que la convierte en un sistema abierto (Schreiber & Gimbel, 2010). En los sistemas abiertos, es completamente posible que el orden local aumente siempre que el entorno circundante experimente un aumento proporcional en el desorden o la entropía. Así, lo que parece ser un aumento de orden en la biosfera es completamente compatible con un aumento neto de la entropía en el universo (Schreiber & Gimbel, 2010; Vanchurin *et al.*, 2022).

Los seres vivos también son sistemas abiertos que intercambian materia y energía con su entorno (Schreiber & Gimbel, 2010). Capturan energía de fuentes externas (como los nutrientes o la luz solar), transformándola en trabajo y manteniendo su estructura organizada (Shevela *et al.*, 2019). Sin embargo, esta organización no es gratuita: la energía utilizada para generar este “orden” también genera calor, que se disipa en el entorno, aumentando la entropía total del sistema. La evolución no implica necesariamente que la vida sea cada vez más compleja; solo dice que los mecanismos evolutivos permiten que los genes se transmitan de forma diferencial, de modo que las características de las formas de vida cambian con el tiempo en respuesta a su entorno, y esas características pasan generación por generación donde cada población se va diferenciando hasta separarse (especiación) (Herron & Freeman, 2014).

El termodinamista físico Milivoje Kostic (Kostic, 2020), explica que la creación de estructuras ordenadas o de especies vivas siempre disipa energía útil y genera entropía, sin excepción, y, por lo tanto, sin violación de la segunda ley. Lo que significa que la cantidad de orden que se produjo en la Tierra acaba siendo mucho menor en comparación con la cantidad de desorden producida en el universo en su conjunto.

Vanchurin *et al.* (2022), nos muestra que las transiciones evolutivas pueden modelarse como transiciones de fase, donde sistemas moleculares simples evolucionan hacia organismos complejos bajo el influjo de leyes físicas y principios como el de máxima entropía. Aunque la segunda ley de la termodinámica establece que la entropía total de un sistema cerrado siempre aumenta, los sistemas biológicos

son abiertos, intercambiando energía y materia con su entorno. Esto les permite disminuir su entropía interna mediante procesos de aprendizaje y selección natural, compensando y superando las aparentes restricciones termodinámicas. Por lo tanto, la termodinámica no contradice la evolución, sino que explica cómo los sistemas vivos emergen y se organizan en un universo gobernado por estas leyes físicas (Vanchurin *et al.*, 2022).

Energía libre de Gibbs y evolución

En biología, en lugar de usar directamente la entropía para describir los procesos evolutivos, se emplea la “energía libre de Gibbs”, una medida que nos permite predecir si una reacción o proceso ocurrirá espontáneamente en condiciones de temperatura y presión constantes mediante la fórmula:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔG = cambio de la energía de Gibbs

ΔH = cambio de la entalpía

T = temperatura en kelvin

ΔS = cambio de la entropía

La espontaneidad de una reacción química se predice al conocer y comprender cómo interactúan la entalpía ΔH , la entropía ΔS y la temperatura T .

Los sistemas vivos, que operan en estas condiciones, mantienen su orden interno tomando energía del entorno y disipando calor, lo cual no solo preserva la coherencia con la segunda ley de la termodinámica, sino que también describe cómo es posible la vida. El químico teórico Avery (2012), expone que la vida y su evolución tienen base sobre la termodinámica, la mecánica estadística y la teoría de la información. En el libro Avery afirma que la aparente contradicción entre el alto grado de orden y complejidad y la segunda ley de la termodinámica se resuelve cuando se entiende cómo la energía libre de Gibbs que ingresa a la biosfera desde fuentes externas permite el aumento local de orden. Es decir, la vida puede mantenerse y evolucionar precisamente porque la biosfera no está aislada, sino que recibe un suministro constante de energía, principalmente del Sol.

El físico de partículas, Victor J. Stenger refutó claramente las afirmaciones creacionistas (Stenger, 2012) afirmando lo siguiente:

«Sin embargo, un emisor y un receptor son dos sistemas que interactúan. No están aislados individualmente. Por

tanto, la entropía perdida por un sistema puede ser ganada por el otro, o lo que es lo mismo, la información perdida por uno puede ser ganada por el otro. Así, un sistema físico, como un organismo biológico o la propia Tierra, que recibe energía del sol, puede volverse más ordenado por procesos puramente naturales.»»

La evolución no es un proceso que viole las leyes físicas, sino de un proceso que está en perfecta sintonía con ellas (Mrowka, 2015; Mitaku & Sawada, 2024).

La selección natural y la termodinámica

Un estudio publicado por Kaila & Annala (2008), explican que la selección natural puede ser entendida, puede derivarse directamente y matemáticamente de la expresión de la segunda ley de la termodinámica cuando se analiza en sistemas abiertos conectados no en equilibrio. Este estudio conecta la termodinámica estadística con los principios evolutivos, demostrando que los procesos de selección natural maximizan la disipación de energía al seleccionar configuraciones que incrementan la eficiencia en la transferencia y conversión de energía. En un paisaje energético, las diferencias de energía impulsan flujos que disminuyen la energía libre, dirigiendo a los sistemas biológicos hacia estados más probables y adaptados. Estos estados representan soluciones termodinámicamente óptimas, donde los gradientes de energía se igualan más rápidamente, lo que se traduce en un aumento constante de la entropía del sistema. Lejos de contradecir las leyes de la física, la evolución actúa en concordancia con la segunda ley, mostrando que la complejidad biológica y los procesos evolutivos son ejemplos de la dinámica eco-evolutivas de los sistemas abiertos que buscan equilibrar gradientes energéticos en su entorno.

¿Y qué pasaría con la Abiogénesis?

El químico teórico y computacional Erkki J. Brändas, aborda todo esto en conjunto con Liliana Mammino (especializada en matemáticas aplicadas y ciencias naturales); Davide Ceresoli (especializado en química computacional y física de materiales) y Jean Maruani (especializado en química física y química teórica). En donde exponen como fundamento, el trabajo de Ilya Prigogine y su concepto de estructuras disipativas, las cuales se forman en sistemas alejados del equilibrio termodinámico. En estos sistemas, la energía externa impulsa la autoorganización en el entorno terrestre temprano, con fuentes de energía como luz solar, actividad volcánica y descargas eléctricas, podría haber permitido procesos de autoorganización química. La vida es un ejemplo de un sistema de este tipo: aunque las células y los organismos vivos mantienen un

orden interno, lo hacen exportando entropía al ambiente en forma de calor y desechos. Por tanto, la abiogénesis no viola la segunda ley, sino que se ajusta a ella en un contexto de no equilibrio. La energía disponible, como la luz solar o la energía química de compuestos precursores, actúa como la fuerza motriz que impulsa la formación de moléculas orgánicas y sistemas más complejos (Rapf & Vaida, 2016).

La abiogénesis puede ser vista como un proceso “teleonómico”, donde sistemas suficientemente complejos desarrollan propiedades autorreferenciales, facilitando el surgimiento de la vida sin contradecir las leyes físicas. Erkki J. Brändas introduce la “correlación cuántico-térmica”, donde las correlaciones cuánticas en sistemas no equilibrados permiten la organización de materia y energía en escalas precisas de tiempo y temperatura. Lo que implica que la autoorganización de la vida en su origen, no es completamente aleatorio, sino que está guiada por principios cuánticos que generan correlaciones informativas entre las moléculas (Brändas, 2020). Brändas establece que un principio cuántico subyacente podría ser fundamental para explicar cómo los sistemas químicos evolucionan hacia estructuras vivas. Propone que, a través de fluctuaciones cuántico-térmicas, los sistemas abiertos podrían desarrollar patrones complejos y funcionales que eventualmente llevan a la vida, permitiendo que la entropía global aumente, incluso mientras se reduce localmente en el interior del sistema, permitiendo la formación de estructuras ordenadas y funcionales (Mammino *et al.*, 2020).

Se concluye que lejos de violar la segunda ley de la termodinámica, la evolución y el origen de la vida (abiogénesis) dependen de ella. La Tierra, como sistema abierto, permite el aumento local de orden gracias al flujo constante de energía externa, mientras que la entropía total del sistema universo continúa aumentando. Este entendimiento no solo refuta las objeciones creacionistas, sino que también refuerza la conexión entre las leyes físicas y los procesos biológicos.

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

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

DSV = Diego Sánchez-Véliz

JMB = Jehoshua Macedo-Bedoya

Conceptualization: DSV

Data curation: DSV

Formal analysis: DSV

Funding acquisition: DSV, JMB

Investigation: DSV, JMB

Methodology: DSV, JMB

Project administration: DSV, JMB

Resources: DSV, JMB

Software: JMB

Supervision: DSV, JMB

Validation: DSV, JMB

Visualization: DSV, JMB

Writing – original draft: DSV

Writing – review & editing: JMB

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avery, J. S. (2012). *Information theory and evolution* (2nd ed.). World Scientific Publishing.
- Brändas, E.J. (2020). Abiogenesis and the Second Law of Thermodynamics. In: Mammino, L., Ceresoli, D., Maruani, J., & Brändas, E. (eds). *Advances in Quantum Systems in Chemistry, Physics, and Biology. QSCP 2018*. Progress in Theoretical Chemistry and Physics, 32, Springer.
- Herron, J., & Freeman, S. (2014). *Evolutionary analysis* (5th ed). Pearson.
- Kaila, V. R., & Annala, A. (2008). Natural selection for least action. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 464(2099), 3055–3070.
- Kostic, M. M. (2020). The second law and entropy misconceptions demystified. *Entropy*, 22, 648.
- Mammino, L., Ceresoli, D., Maruani, J., & Brändas, E. (Eds.). (2020). *Advances in Quantum Systems in Chemistry, Physics, and Biology*. Selected Proceedings of QSCP-XXIII (Kruger Park, South Africa, September 2018). *Progress in Theoretical Chemistry and Physics*. Springer.
- Mitaku, S., & Sawada, R. (2024). The Relationship Between Biology and Physics. In *Evolution Seen from the Phase Diagram of Life* (pp. 11-17). Springer Nature Singapore.

- Mrowka, R. (2015). Evolution and physical laws. *Acta Physiologica*, 215, 125-126.
- Rapf, R. J., & Vaida, V. (2016). Sunlight as an energetic driver in the synthesis of molecules necessary for life. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18, 20067-20084.
- Schreiber, A., & Gimbel, S. (2010). Evolution and the Second Law of Thermodynamics: Effectively Communicating to Non-technicians. *Evolution: Education and Outreach volume*, 3, 99–106.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria: Con física moderna*. Volumen 1. 12^a ed. Pearson.
- Shevela, D., Björn, L.O., & Govindjee. (2019). *Photosynthesis: Solar energy for life*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd.
- Stenger, V. J. (2012). *God and the folly of faith: The incompatibility of science and religion*. Prometheus Books.
- Vanchurin, V., Wolf, Y. I., Koonin, E. V., & Katsnelson, M. I. (2022). Thermodynamics of evolution and the origin of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119, e2120042119.

Received February 5, 2025.

Accepted April 3, 2025.