

MATEMÁTICAS EN LA NATURALEZA

MATHEMATICS IN NATURE

Maria Corazón Flores Bautista *¹
Ernesto Chigo Anota¹
Jacinto Flores Minor²
Elena Letras Luna³

1 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Química. Área de materiales: química teórica computacional. Ciudad Universitaria. Puebla. México. C.P. 72570.

2 Tecnológico Nacional de México, ITS-Apizaco, Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala. C.P. 90491, México.

3 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ciencias Químicas. ICUAP. Departamento de Biología y Toxicología de la Reproducción. Ciudad Universitaria. Puebla. México. C.P. 72570.

Correos:
corazon.flores@alumno.buap.mx
ernesto.chigo@correo.buap.mx
jacinto.fm@apizaco.tecnm.mx
dulce.letras@alumno.buap.mx

Folio: A11N105.25/1021

Resumen

Las matemáticas están profundamente presentes en la naturaleza, manifestándose en patrones como la simetría, los fractales y las formas geométricas que se observan tanto en organismos vivos como en estructuras inorgánicas. Sin embargo, mientras que en las ciencias las leyes matemáticas son altamente efectivas, en la biología su aplicación es más limitada debido a la complejidad y creatividad inherentes a los sistemas vivos, lo que ha llevado a buscar nuevos enfoques y modelos más flexibles. Las matemáticas siguen siendo esenciales para entender procesos como la evolución, la ecología y la predicción de cambios ambientales. Además, la educación que integra matemáticas y naturaleza fomenta la conciencia ambiental y el pensamiento crítico, mostrando la utilidad de las matemáticas en la vida cotidiana y en la resolución de problemas reales. Las matemáticas no solo revelan el orden subyacente en la naturaleza, sino que también inspiran arte, ciencia y educación, aunque sus límites en ciertos campos invitan a expandir y adaptar sus métodos.

Palabras clave: Matemáticas, naturaleza, ciencia, patrones, pensamiento, resolución.

Abstract

Mathematics is deeply embedded in nature, manifesting itself in patterns such as symmetrical, fractals, and geometric shapes observed in both living organisms and inorganic structures. However, while mathematical laws are highly effective in science, their application in biology is more limited due to the inherent complexity and creativity of living systems, which has led to the search for new approaches and more flexible models. Mathematics is essential for understanding processes such as evolution, ecology, and predicting environmental change. Likewise, education that integrates mathematics and nature fosters environmental awareness and critical thinking, demonstrating the usefulness of mathematics in everyday life and in solving real-world problems. Mathematics not only reveals the underlying order in nature but also inspires art, science, and education, although its limitations in certain fields invite us to expand and adapt its methods.

Keywords: Mathematics, nature, science, patterns, thinking, solving.

En la naturaleza se pueden observar numerosos patrones (secuencias) matemáticos, desde la posición de las hojas en un tallo hasta la forma de los copos de nieve. Estos patrones se manifiestan en diversas formas, incluyendo la secuencia de Fibonacci, la proporción áurea, fractales y espirales, entre otros. Una sucesión es una lista ordenada de objetos (denominados términos, elementos o miembros). A diferencia de un conjunto, el orden en que aparecen los términos es relevante y un mismo término puede aparecer en más de una posición. En algunos casos este tipo de listas ordenadas aparecen en la naturaleza. Uno de los ejemplos más famosos es la sucesión de Fibonacci. La secuencia de Fibonacci es una serie de números donde cada número es la suma de los dos anteriores (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, etc.). Fue descrita en Europa por Leonardo de Pisa, matemático italiano del siglo XIII también conocido como Fibonacci. Esta secuencia se encuentra en la naturaleza, por ejemplo, en la disposición de las hojas alrededor de un tallo, en la estructura de las piñas y en la forma de las flores de girasol.

Los fractales son patrones que se repiten a diferentes escalas, como en las ramificaciones de los árboles o en la estructura de los helechos.

Las espirales son otro patrón común, como se ve en las conchas marinas, en los huracanes y en las galaxias. Además de estos, existen otros patrones matemáticos presentes en la naturaleza, como las simetrías (ej. simetría bilateral en animales), los mosaicos (ej. la piel de algunos animales) y las ondas (ej. las olas del mar) que ayudan a dilucidar estructuras y fenómenos desde un punto de vista científico (Livio, 2003). La comprensión de estos patrones matemáticos en la naturaleza no solo nos permite apreciar la belleza y complejidad del mundo natural, sino que también puede inspirar aplicaciones en diversas áreas, como la arquitectura, el diseño y la ciencia.



Figura 1. Animales que presentan una variedad de patrones. <https://es.knowablemagazine.org/content/articulo/mundo-viviente/2024/como-obtienen-los-animales-sus-patrones>

Desarrollo

El propósito de los modelos matemáticos es proponer una aproximación relativamente sencilla que asemeje los fenómenos que ocurren en la naturaleza. A través de una descripción matemática se logran obtener patrones que empatan con los observados en la naturaleza. Sin embargo, la utilidad de estos modelos radica en que pueden servir como una base para diseñar los experimentos pertinentes y los resultados de estos servirán para apoyar, actualizar o descartar el modelo.

Los patrones como las espirales, redes ramificadas y la simetría se encuentran en organismos vivos, formaciones geológicas e incluso en estructuras cósmicas, lo que sugiere que la matemática es una herramienta fundamental para entender los procesos naturales (Murray, 2018). Las proporciones entre números consecutivos de la sucesión se aproximan a la proporción áurea (~ 1.618), una constante que se manifiesta en la forma de espirales logarítmicas en conchas, galaxias y estruc-



Figura 2. Aproximación de la espiral áurea que se manifiesta en la naturaleza. (Sanni y Oyetoro 2024)

turas florales (Sanni & Oyetoro, 2024). El número áureo o de oro es un número irracional surge de la división en dos de un segmento ab guardando las siguientes proporciones: La longitud total $a+b$ es al segmento más largo a , como a es al segmento más corto b . Se suele representar con la letra griega ϕ (fi) en honor al escultor griego Fidias.

Esta relación se encuentra tanto en algunas figuras geométricas como en la naturaleza, por ejemplo, en las nervaduras de las hojas de algunos árboles, en el grosor de las ramas, en el caparazón de un caracol y en los flósculos de los girasoles. Asimismo, se atribuye un carácter estético a los objetos cuyas medidas guardan la proporción áurea. A lo largo de la historia, se ha atribuido su inclusión en el diseño de diversas obras de arquitectura y otras artes, aunque algunos de estos casos han sido cuestionados por los estudiosos de las matemáticas y el arte.

La geometría sagrada se refiere a patrones y proporciones geométricas que aparecen en la naturaleza, el arte y la arquitectura, y que se cree que tienen un significado simbólico y espiritual. Estas formas y proporciones se consideran sagradas porque se piensa que reflejan la armonía y el orden del universo, conectando lo divino con lo material y que han sido considerados durante milenios como base de la creación (Darshan y Alabama. 2022).

Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura se repite a diferentes escalas, mostrando autosimilitud, es decir, cada parte se parece al todo. Esta propiedad implica que, al observar un fractal con mayor o menor aumento, se revela la misma estructura básica. Los fractales se encuentran en la naturaleza, como en las ramificaciones de un árbol o las crestas de las montañas, y también son objetos de estudio en matemáticas y otras disciplinas (Csapi y otros. 2024). Los fractales, como el conjunto de Mandelbrot, son formas



Figura 3. Geometría sagrada en las obras de arte. (Darshan y otros, 2022)

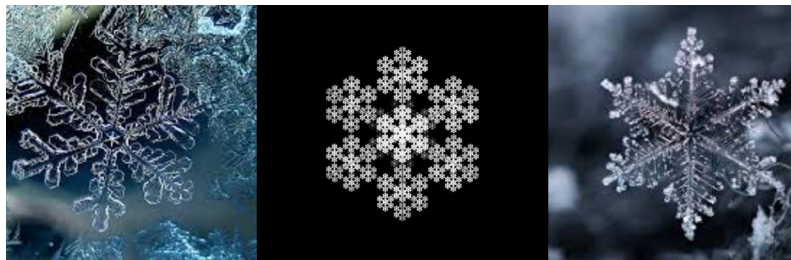


Figura 4. Fractales presentes en los copos de nieve. (pixabay, 2022))

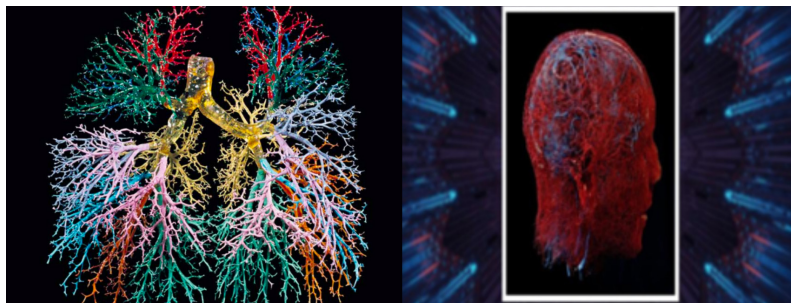


Figura 5. Fractales presentes en los sistemas biológicos como los pulmones y el sistema nervioso cerebral. (ingenierosdelavida, 2019).

geométricas que se repiten a diferentes escalas. Estos se encuentran en las ramificaciones de los árboles y en la estructura de las costas.

El estudio de los fractales también está íntimamente ligado a la teoría del caos, que explica cómo sistemas dinámicos pueden ser sensibles a las condiciones iniciales, y que aparentemente crear estructuras aleatorias (como los patrones caleidoscópicos) (Mandelbrot, 1982).

Las redes de telecomunicaciones que imitan estructuras fractales son más eficientes en la transmisión de señales, reduciendo la pérdida de datos y mejorando la cobertura en áreas urbanas complejas (Stevens, 2008). También se observó que la mayoría de los sistemas biológicos, como los pulmones humanos, las ramas de los árboles y los sistemas fluviales, siguen una Estructura fractal (Mandelbrot, 1982). Estas estructuras, que replican la naturaleza autosimilar de los árboles o el sistema nervioso, permiten una mayor redundancia sin pérdida de conectividad.

Un patrón es un objeto recurrente, como por ejemplo el dibujo de un estampado o un mosaico. Estos elementos se repiten de una manera predecible. Pueden generarse a partir de una plantilla o un modelo. Los patrones más básicos, llamados teselaciones, se basan en la repetición y la periodicidad. Una única plantilla, azulejo o célula, se combina mediante duplicados sin cambios o modificaciones (Sawyer, 1996).

En la naturaleza se pueden encontrar diversos paisajes, estructuras y pelajes de animales dispuestos de manera similar a un patrón matemático. Por ejemplo, las manchas de un leopardo parecen seguir un modelo que define el dibujo, no es una disposición caótica. O también en los movimientos de determinados grupos de animales se pueden observar patrones distinguibles por el ojo humano. El origen de estos patrones es, en muchos casos, desconocido. Aunque algunas veces tiene una explicación geológica o química, como es el caso de las rayas de los mamíferos.

El genial matemático inglés Alan Turing, fue un pionero en las ciencias de la computación y la inteligencia artificial padre de la computación moderna, propuso en la década de 1950 una idea sobre la formación de algunos patrones biológicos, como las rayas del tigre o las manchas del leopardo. Según Turing, esta repetición de patrones está generada por un par de unos productos químicos llamados morfógenos que trabajan con un activador y un inhibidor. La idea sobre la morfogénesis es que dos sustancias a las que denominó morfógenos reaccionan y se difunden a través de un tejido. Partiendo de un sistema homogéneo, al introducir una inestabilidad se da lugar a patrones o estructuras por medio de un rompimiento de simetría. Finalmente, se llega a una nueva distribución no homogénea pero ordenada, una nueva simetría (Mandelbrot, 2011).

La simetría es una característica de formas geométricas, sistemas, ecuaciones y otros objetos materiales y entidades abstractas, relacionada con su invariancia bajo ciertas transformaciones, movimientos o intercambios. Un ejemplo sencillo es la simetría axial, es decir, alrededor de un eje, como el que presenta el cuerpo humano, una hoja, cualquier polígono regular o la imagen a uno y otro lado del espejo. La simetría se observa en muchos organismos vivos. De hecho, se puede decir que es una propiedad distintiva de la naturaleza. A simple vista podemos observar en las flores y en los animales. También, aunque no podamos verla, está presente en fenómenos cuánticos del mundo atómico y subatómico.

De hecho, muchos científicos afirman que la física moderna, desde lo más pequeño a lo más grande, es decir, desde los átomos,

los quarks o los núcleos, pasando por lo molecular en estado sólido, hasta la estructura misma del universo, requiere del concepto de simetría para su comprensión. En biología la simetría corresponde a una distribución equilibrada en el cuerpo de los organismos de aquellas partes que aparecen duplicadas. Por ejemplo, los seres humanos son simétricos respecto a un eje vertical que divide en forma simétrica respecto a una recta. La mayoría de las especies animales tiene simetría bilateral, aunque hay especies como los erizos y las estrellas de mar que presentan simetría radial secundaria. La simetría bilateral permite la definición de un eje corporal en la dirección del movimiento, lo que favorece la formación de un sistema nervioso centralizado y la cefalización.

Una forma de cubrir un plano es usando mosaicos, los cuales se elaboran con pequeños patrones de diversas formas y colores llamadas teselas, unidas forman composiciones decorativas geométricas o figurativas. Al juntar los mosaicos, sin superponerse, es decir que no quedan huecos entre ellos forma una teselación. La teselación regular es aquella que utiliza un sólo tipo de polígono regular. Sólo los triángulos equiláteros, los cuadrados y los hexágonos pueden formar este tipo de teselación. La suma de los ángulos de las formas geométricas acomodadas alrededor de un punto debe sumar 360° . Y la teselación semi-regular es aquella que se forma con dos o más polígonos regulares, de modo que sigue el mismo orden en cada vértice. Sólo 8 combinaciones cumplen con las condiciones de este tipo de teselación. Las teselaciones tienen aplicaciones en diversos campos, como: arquitectura y diseño, ya que se utilizan para crear patrones decorativos en suelos, paredes, techos y otros elementos

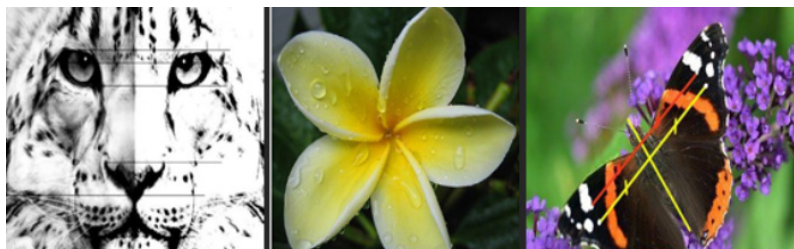


Figura 6. Simetría en diversos sistemas biológicos (sabermas, 2009).

arquitectónicos. En el arte se han creado patrones visualmente interesantes y complejos. Mientras que en la computación se utiliza en gráficos por computadora para subdividir superficies en mallas más finas para mejorar el detalle visual (píxeles) (Rodríguez, M, 2010).

Existen otros sistemas capaces de generar patrones como es el modelo de Gray-Scott, en el cual uno de los reactivos se transforma en un producto inerte mientras que su interacción con el otro reactivo genera más de este mismo reactivo; los patrones resultantes son sorprendentemente más

complejos y su comportamiento puede llevar a múltiples resultados simplemente ajustando los parámetros del sistema. Sistemas similares al modelo de Gierer-Meinhardt asemejan estrechamente patrones observados en otros organismos vivos. La razón por la que esto sucede es que la linealización del sistema en la que se consideran sólo términos de primer orden en las derivadas ya no será válida en todo el dominio espacial. En ciertos puntos de la región será necesario realizar un análisis local en el cual se considere el comportamiento de términos de orden superior.



Figura 7. Teselación hexagonal de un panel de abejas (belleza naural, 2019).

Conclusiones

A lo largo de la historia se ha demostrado que las matemáticas no solo son una herramienta analítica sino también una parte integral de la estructura de la naturaleza; donde los patrones precisos presentes en el ambiente no son meramente decorativos o estéticos, sino que desempeñan un papel fundamental en la funcionalidad y eficiencia de los sistemas tanto naturales como artificiales. Los patrones matemáticos se encuentran en todas las escalas, desde organismos microscópicos hasta

estructuras macroscópicas. Los avances en ingeniería se inspiran en estos patrones han llevado a mejoras significativas en diversos campos; Desde la arquitectura hasta las redes de las Inter telecomunicaciones. Explorar nuevas aplicaciones de los diversos patrones matemáticos permiten el diseño estructural y la optimización de materiales. Así como el desarrollo de nuevas metodologías para implementar algoritmos que permitirán la optimización de sistemas industriales, logísticos e incluso biológicos.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Agradecimientos

Especiales agradecimientos al Cuerpo Académico de Ingeniería en Materiales (BUAP-CA-177) y la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (Beca: 100378777-VIEP2021).

Referencias

- Csapi, V., ULBERT, J. y TÓTH-PAJOR, Á. Proporción áurea-apalancamiento basado en un objetivoDakota del NorteEl desempeño ESG de las empresas cotizadas en EE. UU. y Europa. Investigación en Negocios Internacionales.y Finanzas, 71(102469), 102469. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102469>
- Bosquez-Mestanza A. L. Nieto Cañarte C. A. Guamán-Sarango A. M. Calle-Ruiz C. A. Análisis de métodos y patrones matemáticos encontrados en la naturaleza y sus interacciones con la ingeniería. 2024Brazilian Applied Science Review 8(2):e73744. DOI: 10.34115/basrv8n2-007
- Livio, M. La proporción áurea: La stTeoría de Phi, el número más asombroso del mundo.Broadway Books. 304. 2003. ISBN: 978-0-767-90815-3.
- Mandelbrot, BB La geometría fractal de la naturaleza. William Henry Freeman y Compañía. 1982. ISBN 0-7167-1186-9.
- Mandelbrot, BB La geometría fractal de la naturaleza. William Henry Freeman y Compañía. Una introducción. 2011. Ediciones UIES. ISBN 0-7167-1186-8.
- Murray, C. Patrones en la naturalezaClaro: por qué el mundo natural luce como luce.Reseñas de cristalografía, 24(3), 205-206. 2018. <https://doi.org/10.1080/0889311x.2018.1447569>.
- Rodríguez, M. (2010). Generación de teselaciones periódicas: Grupos Cristalográficos. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Sawyer. W. Does mathematics rest fact? Citado por Abrantes. P. en revista uno, V 8. "El papel de la resolución de problemas en un contexto de innovación curricular". P.10 y 11. Barcelona. Graó, 1996.