

DOI: <https://doi.org/10.56124/refcale.v12i3.007>

FRACTALES CON MATERIAL CONCRETO: IMPACTO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA- APRENDIZAJE

FRACTALES CON MATERIAL CONCRETO

AUTORES:

Jéssica Zambrano-Cobeña ¹

Tatiana Zambrano-Solórzano ²

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:

Chone, correo: jzambrano9784@utm.edu.ec, telf.: 0968480532.

Fecha de recepción: 2 de septiembre 2024.

Fecha de aceptación: 11 de noviembre 2024.

RESUMEN

La integración de fractales en la enseñanza permite comprender conceptos geométricos abstractos y relacionar la matemática con la naturaleza. Este estudio tuvo como objetivo analizar el impacto de la utilización de fractales con material concreto en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de la Unidad Educativa Amazonas del cantón Chone. Se adoptó un enfoque descriptivo y mixto,

¹ Licenciada en Ciencias de la Educación mención Matemática (Universidad Tecnológica Equinoccial). Docente de nombramiento del Magisterio Fiscal por el Ministerio de Educación del Ecuador. Maestrando en Pedagogía de las Ciencias Experimentales con mención en Matemática y Física, Universidad Técnica de Manabí. Correo: jzambrano9784@utm.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9419-130X>. Manabí, Ecuador.

² Ingeniera en Sistemas Informáticos (Universidad Técnica de Manabí) y Máster Universitario en Dirección e Ingeniería en sitios web (Universidad Internacional de La Rioja). Docente Universitaria de Grado y Postgrado. Universidad de Manabí. Correo: tatiana.zambrano@utm.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3303-4392>. Manabí, Ecuador.

empleando una metodología que incluyó la revisión bibliográfica sobre la aplicación curricular de fractales y una investigación de campo mediante técnicas de observación y encuestas. Se trabajó con dos grupos de control, compuestos por 36 estudiantes cada uno, para la construcción de fractales utilizando material concreto y recursos tecnológicos (TICs). Los resultados demuestran que la construcción de fractales no solo incrementa el interés por la Geometría, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades cognitivas, como el pensamiento crítico y la resolución de problemas. En conclusión, la utilización de material concreto en la enseñanza de fractales potencia las competencias matemáticas de los estudiantes, creando un entorno educativo más dinámico que facilita la comprensión de conceptos complejos y las conexiones interdisciplinarias en Matemáticas.

PALABRAS CLAVES: fractales; enseñanza-aprendizaje; competencias matemáticas.

FRACTALS COM MATERIAL DE CONCRETO: IMPACTO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

RESUMO

A integração dos fractais no ensino permite-nos compreender conceitos geométricos abstratos e relacionar a matemática com a natureza. Este estudo teve como objetivo analisar o impacto do uso de fractais com material concreto no processo de ensino-aprendizagem dos alunos da Unidade Educacional Amazonas do cantão Chone. Adotou-se uma abordagem descritiva e mista, utilizando uma metodologia que incluiu uma revisão de literatura sobre a aplicação curricular de fractais e pesquisa de campo utilizando técnicas de observação e levantamento. Trabalhamos com dois grupos de controle, compostos por 36 alunos cada, para construir fractais utilizando materiais concretos e recursos tecnológicos (TICs). Os resultados mostram que a construção de fractais não só aumenta o interesse pela Geometria, mas também contribui para o desenvolvimento de competências cognitivas, como o pensamento crítico e a resolução de problemas. Concluindo, a utilização de material concreto no ensino de fractais potencializa as habilidades matemáticas dos alunos, criando um ambiente educacional mais dinâmico que facilita a compreensão de conceitos complexos e conexões interdisciplinares em Matemática.

PALABRAS CLAVES/PALAVRAS-CHAVE: fractais; ensino-aprendizagem; habilidades matemáticas.

FRACTALS WITH CONCRETE MATERIALS: IMPACT ON THE TEACHING-LEARNING PROCESS

ABSTRACT

The integration of fractals in teaching allows for the understanding of abstract geometric concepts and connects mathematics with nature. This study aimed to analyze the impact of using fractals with concrete materials in the teaching-learning process of students at the Amazonas Educational Unit in the Chone canton. A descriptive and mixed approach was adopted, employing a methodology that included a literature review on the curricular application of fractals and a field investigation using observation techniques and surveys. Two control groups, each composed of 36 students, were involved in constructing fractals using concrete materials and technological resources (ICTs). The results demonstrate that the construction of fractals not only increases interest in Geometry but also contributes to the development of cognitive skills such as critical thinking and problem-solving. In conclusion, the use of concrete materials in teaching fractals enhances students' mathematical competencies, creating a more dynamic educational environment that facilitates the understanding of complex concepts and interdisciplinary connections in Mathematics.

KEYWORDS: Fractals; Teaching-learning; Mathematical competencies.

INTRODUCCIÓN:

La comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades cognitivas presentan un alto grado de complejidad en el proceso de enseñanza – aprendizaje de la Geometría, como parte integral del estudio de la Matemática en la Educación Secundaria. En este sentido, en la Unidad Educativa Amazonas, de la Provincia de Manabí – Ecuador, se observó que la adquisición de competencias matemáticas, relacionada con la construcción de figuras geométricas, es un tema de interés y se relaciona con la motivación hacia el aprendizaje creativo. Por lo que los fractales, como estructuras recursivas, permite comprender conceptos

geométricos abstractos y relacionar patrones iterativos con la naturaleza.

En este sentido, con el propósito de motivar al alumnado mediante el aprendizaje visual, el desarrollo del pensamiento crítico y la visualización espacial se estableció como objetivo: analizar el impacto de los fractales con material concreto en el proceso de enseñanza-aprendizaje en estudiantes de la Unidad Educativa Amazonas del cantón Chone, en el período 2023 - 2024. Para esto, se consideró como objetivos específicos: revisar estudios previos sobre el uso de fractales en la educación matemática; diseñar e implementar actividades para la construcción de fractales con material concreto; y, valorar el impacto de los fractales en el proceso de enseñanza - aprendizaje.

Con relación a los antecedentes investigativos, a nivel internacional se destacan las posturas de Artigue, Fanaro y Lacués (2021), con la recuperación de las habilidades geométricas asociados al aprendizaje de fractales y la integración con otros campos del conocimiento, para lograr una valoración positiva de la Matemática en el contexto de la Educación Secundaria; de Pérez de Sousa (2022) y de Farias y Barbosa (2022), con el uso de las TICs, como GeoGebra, para la construcción fractal con la finalidad de analizar la percepción del espacio y los eventos caóticos en la naturaleza.

En el contexto ecuatoriano, Basurto y Larreal (2022), indican que la enseñanza de los fractales contribuye al entendimiento de las ciencias exactas y experimentales, como "la compresión de imágenes", "el diagnóstico de cáncer y problemas cardíacos", "el estudio de la sismicidad de fallas territoriales" y "el estudio de elementos como el zinc y la porosidad". Además, como acotan Arias, Lima y Muela (2021), el aprendizaje de esta rama de la Geometría en la Educación Secundaria permite la exploración de la naturaleza en la Educación Superior, bajo los fundamentos de la teoría matemática y la utilización de algoritmos computacionales aplicados en diversas áreas de la Ciencia e Ingeniería.

Por último, en cuanto al proceso de enseñanza - aprendizaje en Matemática, Gamboa y Borrero (2016), destacan el rol sociocultural de la contextualización didáctica desde la interacción de la planificación curricular con la realidad escolar, mientras que, Cabeza (2021), relaciona la emocionalidad con la regulación efectiva del proceso, anteponiendo la complementariedad de la interacción en la construcción de conocimientos generales. No obstante, como indica Chipantiza (2021), la importancia de los prerrequisitos es fundamental en la puesta en práctica de las actividades curriculares.

En el campo de la Geometría, los fractales ocupan un lugar especial debido a su naturaleza única y sus aplicaciones diversas. Lema (2010),

define el fractal como una figura geométrica con una característica particular. Puede dividirse en partes más pequeñas, donde cada una de estas partes es una réplica exacta de la figura completa, solo que a una escala reducida. Esta propiedad, conocida como autosimilitud o auto semejanza, es lo que hace a los fractales tan intrigantes y útiles en diversos campos.

En el ámbito educativo, Sánchez (2021), Alejo y Orellana (2024) destacan la importancia de incorporar los fractales en la enseñanza. Estos autores argumentan que el uso de fractales en la educación va más allá de la simple exposición a figuras geométricas complejas. En realidad, implica la integración de estas estructuras matemáticas en la enseñanza de una amplia gama de conceptos. La auto semejanza y la complejidad inherente de los fractales los convierten en herramientas ideales para ilustrar y explicar temas no solo en matemáticas, sino también en ciencias naturales, arte y tecnología.

Por ejemplo, en matemáticas, los fractales pueden ayudar a comprender conceptos como el infinito, las series y las proporciones. En ciencias naturales, pueden utilizarse para modelar estructuras complejas como las ramificaciones de los árboles o los sistemas circulatorios. En el arte, los fractales inspiran nuevas formas de expresión visual, mientras que, en tecnología, se aplican en la compresión de imágenes y la generación de paisajes virtuales.

La versatilidad de los fractales como herramienta educativa radica en su capacidad para hacer tangibles conceptos abstractos, permitiendo a los estudiantes visualizar y manipular ideas complejas de una manera más accesible y atractiva. Esto no solo facilita la comprensión de los temas, sino que también estimula la curiosidad y la creatividad de los estudiantes.

Con base en estos fundamentos teóricos sobre la naturaleza de los fractales y su potencial educativo, la investigación se propone explorar cómo la implementación práctica de estas estructuras matemáticas en el aula puede mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría. Se detalla el desarrollo de la investigación, que busca evaluar el impacto concreto de la utilización de fractales, especialmente con material tangible, en la comprensión y aplicación de conceptos geométricos por parte de los estudiantes

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio adoptó un enfoque de investigación descriptiva con metodología mixta, diseñado para analizar el impacto de la utilización de fractales con material concreto en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría.

El diseño de la investigación tiene un enfoque cualitativo que se empleó para comprender el estado inicial de la problemática y registrar observaciones detalladas sobre la implementación de fractales en el aula y el enfoque cuantitativo donde se utilizó para recopilar y analizar datos sobre el desempeño estudiantil en Matemática, específicamente en relación con la comprensión y aplicación de conceptos fractales.

El estudio se llevó a cabo en la Unidad Educativa Amazonas de la ciudad de Chone, Ecuador, durante el tercer trimestre del período lectivo 2023. Se seleccionaron dos grupos de control, cada uno compuesto por 36 estudiantes de Educación Secundaria.

Los métodos de recolección de datos fueron los siguientes:

1. Revisión bibliográfica. Se realizó una exhaustiva revisión de literatura en bases de datos científicas indexadas, centrándose en estudios previos sobre el uso de fractales en la educación matemática y la aplicación curricular del material concreto como recurso didáctico en la enseñanza de la geometría.
2. Observación no participante. Se llevó a cabo una observación estructurada en el aula, enfocada en:
 - Disponibilidad y uso de material concreto para la construcción de fractales
 - Procesos de experimentación y descubrimiento por parte de los estudiantes
 - Implementación de la planificación curricular relacionada con fractales
 - Retroalimentación pedagógica durante las actividades de aprendizaje
3. Encuesta a estudiantes. Se diseñó y aplicó un cuestionario para evaluar el desempeño de los estudiantes en cuatro habilidades clave:
 - Pensamiento crítico en relación con conceptos fractales

- Resolución de problemas geométricos utilizando principios fractales
- Visualización espacial de estructuras fractales
- Creatividad en la aplicación y diseño de fractales

Se establecieron dos grupos de control de 36 estudiantes cada uno de la siguiente forma. Grupo A: Construcción de fractales con material concreto y Grupo B: Construcción de fractales con ayuda de TICs (utilizando software como GeoGebra)

Se empleó el método inductivo-deductivo para analizar la información recopilada, permitiendo obtener conclusiones generales a partir de las observaciones específicas en el aula, comparar los resultados obtenidos con otras experiencias educativas en el campo de la Geometría Fractal y evaluar la eficacia de la implementación de fractales en la enseñanza de la geometría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos a partir de la implementación de fractales con material concreto en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la Unidad Educativa Amazonas. Se analizan tres aspectos fundamentales: la caracterización del entorno de enseñanza-aprendizaje, el impacto de los fractales en el desempeño de los estudiantes y el grado de dificultad percibido en la comprensión de los conceptos fractales. A través de las tablas que se presentan a continuación, se busca ofrecer una visión crítica de los resultados obtenidos y su relevancia en el desarrollo de competencias matemáticas en los alumnos.

Tabla 1

Caracterización del entorno de enseñanza – aprendizaje.

CRITERIOS	OBSERVACIONES
Disponibilidad de material concreto y recursos tecnológicos.	No se dispone de un aula con material concreto para la manipulación y construcción geométrica. Los recursos tecnológicos son limitados.
Experimentación con diversas metodologías para el desarrollo de la creatividad y la innovación.	El proceso pedagógico centra la enseñanza en el docente. Las actividades que fomentan la creatividad son escasas.
Planificación de actividades de aprendizaje colaborativo.	No se desarrollan con frecuencia. Se utiliza el trabajo grupal para la resolución de problemas aritméticos o algebraicos.
Retroalimentación con base en el aprendizaje visual y desarrollo de la espacialidad.	No se presenta material audiovisual con frecuencia. Los docentes suelen desarrollar ejercicios en la pizarra. El uso de material didáctico que apoye el desarrollo de la espacialidad es limitado.

Fuente: Observación en el aula de clases.

La tabla 1 reveló que no se dispone de un aula equipada con material concreto para la manipulación y construcción geométrica, y los recursos tecnológicos son limitados. Esto indica una infraestructura deficiente que puede obstaculizar el aprendizaje práctico y la comprensión de conceptos abstractos en geometría.

La falta de material concreto y recursos tecnológicos es un factor crítico que limita la capacidad de los estudiantes para interactuar activamente con los conceptos geométricos. Sin un entorno adecuado, los alumnos pueden experimentar dificultades en la visualización y comprensión de temas complejos, lo que puede resultar en una disminución del interés y la motivación hacia la geometría. Es fundamental que la institución educativa invierta en recursos didácticos que faciliten la enseñanza activa y la exploración de conceptos matemáticos.

Tabla 2

Impacto de los fractales en el proceso de enseñanza – aprendizaje.

CRITERIOS	DESEMPEÑO CON APOYO DE TICS			DESEMPEÑO CON USO DE MATERIAL CONCRETO		
	Si	No	Total	Si	No	Total
Pensamiento Crítico: ¿Se mejoró la comprensión de patrones complejos?	20 55.6%	16 44.4%	36 100%	21 58.3%	15 41.7%	36 100%
Resolución de problemas: ¿Se desarrolló el pensamiento lógico y la organización de procesos?	23 63.8%	13 36.1%	36 100%	24 66.7%	12 33.3%	36 100%
Visualización espacial: ¿Se mejoró la comprensión de los conceptos geométricos abstractos?	19 52.7%	17 47.2%	36 100%	22 61.1%	14 38.9%	36 100%
Creatividad: ¿Se crearon diseños y patrones propios con el material concreto?	24 66.7%	12 33.3%	36 100%	25 69.4%	11 30.6%	36 100%

Fuente: Encuesta a estudiantes.

En la tabla 2 los datos presentaron que la mayoría de los estudiantes que trabajaron con material concreto reportaron mejoras significativas en el pensamiento crítico (58.3%), la resolución de problemas (66.7%), la visualización espacial (61.1%) y la creatividad (69.4%). En contraste, aquellos que usaron TICs mostraron un desempeño inferior en estas áreas.

Estos resultados sugieren que el uso de material concreto en la construcción de fractales es más efectivo para desarrollar competencias matemáticas clave en comparación con las TICs. La manipulación física de materiales permite a los estudiantes experimentar de manera tangible los conceptos geométricos, lo que puede facilitar una comprensión más profunda y duradera. Sin embargo, es importante considerar que la integración de tecnologías también tiene su valor; un enfoque híbrido que combine ambos métodos podría maximizar los

beneficios del aprendizaje, fomentando tanto la comprensión conceptual como el interés por la tecnología.

Tabla 3

Grado de dificultad en la implementación de fractales.

CRITERIOS	ESCALA DE VALORACIÓN			
	Difícil	Moderado	Fácil	Total
Dificultad para entender el concepto de fractales en el grupo que uso TICs	7 9.4%	19 52.8%	10 7.8%	36 100%
Dificultad para entender el concepto de fractales en el grupo que empleó material concreto	6 16.7%	18 50.0%	12 33.3%	36 100%

Fuente: Encuesta a estudiantes.

En la tabla 3 la mayoría de los estudiantes reportaron que entender el concepto de fractales fue más fácil al utilizar material concreto (33.3% fácil) en comparación con el uso de TICs (27.8% fácil). Esto indica que el material concreto es percibido como una herramienta más accesible para la comprensión de estos conceptos.

La percepción de menor dificultad al utilizar material concreto sugiere que los estudiantes se sienten más cómodos y confiados al manipular objetos físicos en lugar de depender de herramientas digitales. Esto resalta la importancia de proporcionar experiencias de aprendizaje que sean tangibles y que permitan a los estudiantes explorar conceptos matemáticos de manera directa. Fomentar un entorno educativo que priorice la manipulación de materiales puede ser clave para mejorar la comprensión de temas abstractos en matemáticas, especialmente en contextos donde la tecnología no es fácilmente accesible.

A partir de los resultados presentados en las tres tablas, se evidencia que los estudiantes que construyeron fractales con material concreto mostraron un desempeño superior en comparación con aquellos que utilizaron TICs. En la Tabla 2, se observa que las mejoras más significativas se dieron en la resolución de problemas y el desarrollo de la creatividad, lo que sugiere que la manipulación física de materiales facilita un aprendizaje más activo y significativo. Por otro lado, la Tabla 3 indica que la percepción de dificultad fue menor al trabajar con material concreto, lo que refuerza la idea de que este enfoque es más accesible para los alumnos en comparación con las herramientas digitales. Sin embargo, las mejoras en la visualización espacial y el pensamiento crítico fueron menos pronunciadas, lo que sugiere que, aunque el material concreto es efectivo, podría complementarse con

recursos tecnológicos para abordar todas las dimensiones del aprendizaje matemático.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio se alinean con lo expuesto por Ferreira (2024), quien señala que la implementación de fractales en las actividades matemáticas ofrece una nueva perspectiva pedagógica para explorar y entender la complejidad en las Ciencias Exactas y Experimentales. Además, como mencionan Artigue, Fanaro y Lacués (2024), es crucial el uso de recursos adecuados en la enseñanza de la Geometría Fractal. La manipulación de material concreto no solo favorece el desarrollo de la motricidad fina y la memoria a corto plazo, sino que también promueve el interés y el aprendizaje por descubrimiento.

Un hallazgo significativo fue la actitud positiva de los estudiantes hacia las actividades con fractales. Mota y Valles (2019) sugieren que el uso de actividades de simulación (TICs) y la construcción de maquetas basadas en el entorno (material concreto) pueden captar el interés del alumnado. Sin embargo, García (2022) enfatiza la importancia de integrar la educación STEAM y fomentar el pensamiento creativo en el estudio de fractales, lo que se relaciona con el desarrollo del pensamiento lógico y el trabajo en equipo mediante recursos manipulativos. Estos puntos destacan la necesidad de un enfoque equilibrado que combine diferentes métodos de enseñanza.

Desde esta perspectiva, la matemática se conecta con el aprendizaje basado en situaciones didácticas, facilitando la adquisición de experiencias pedagógicas en Matemáticas Aplicadas, como refiere Moreno (2002). Además, la relación con el arte y el desarrollo de la espacialidad, como indica Vivas (2018), se refleja en la creación de diseños utilizando recursos disponibles en el medio, promoviendo la sostenibilidad. Esta metodología, que incluye la comunicación y la resolución de problemas, resulta esencial para comprender conceptos complejos en matemáticas.

CONCLUSIONES

La implementación de fractales mediante el uso de material concreto demostró ser una estrategia efectiva para consolidar conocimientos y facilitar la aplicación práctica de conceptos en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la Educación Secundaria, en el campo de la Geometría como rama de la Matemática que involucra el aprendizaje visoespacial y la lógica.

Esta metodología permitió una mejor comprensión de conceptos geométricos complejos, como la distribución espacial, la construcción geométrica y la iteración de una función, además, contribuyó al desarrollo de habilidades cognitivas esenciales, como el pensamiento crítico y la visualización espacial.

Se observó un notable incremento en la creatividad y el interés del alumnado, lo que resalta la importancia de crear un entorno educativo dinámico y accesible. Al fomentar estas habilidades, se mejoró el entendimiento de las conexiones interdisciplinarias en Matemáticas, lo que subraya la necesidad de integrar enfoques innovadores en la enseñanza.

Por último, esta investigación sugiere que la utilización de fractales en el aula enriquece significativamente la experiencia educativa, desde las metodologías activas de aprendizaje, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos académicos y desarrollar la inteligencia espacial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejo, B., & Orellana, J. (2024). *Modelo pedagógico basado en estrategias en el refuerzo académico con la utilización de herramientas tecnológicas para el área de matemática*. Quito: Universidad Tecnológica Israel. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/4120>

Arias, A., Lima, J., & Muela, J. (2021). Los fractales en la enseñanza-aprendizaje de la concepción dinámica del concepto de límite de una sucesión: una propuesta didáctica para estudiantes de Bachillerato General Unificado (BGU). *V Coloquio Binacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas -Tumbes*, 12(1), 115-121. 10.54943/rq.v12i1.43

Artigue, M., Fanaro, M., & Lacués, E. (2021). Estado del arte sobre la enseñanza y el aprendizaje de la Geometría Fractal en la escuela secundaria. *Pensamiento Matemático*, 11(2), 75-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8065034>

Artigue, V., Fanaro, M., & Lacués, E. (2024). Estudio del Conocimiento Matemático para la Enseñanza de aspectos clave de la Geometría Fractal. En D. Pagés, & M. Olave (Edits.), *Actas del Noveno Congreso Uruguayo de*

Educación Matemática (págs. 119-127). Montevideo, Uruguay: Semur ediciones. <https://hal.science/hal-04494785/document#page=121>

Basurto, L., & Larreal, O. (2022). Los fractales y sus aplicaciones. Revisión documental. *Matemática. Espol - FCNM Journal*, 20(1), 1-19. <http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/945>

Cabeza, M. (2021). Consideraciones teóricas de la emocionalidad en el proceso enseñanza aprendizaje de las matemáticas. *Universidad y Sociedad*, 13(3), 201-210. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n3/2218-3620-rus-13-03-201.pdf>

Chipantiza, J. (2021). *Aplicación del aula invertida para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de las matemáticas de los estudiantes del noveno año de EGB de Pelileo*. Ambato: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

de Farias, R., & Barbosa, A. (2022). Geometría Fractal no Ensino de Matemática: um mapeamento sistemático. *Brazilian Journal of Development*, 8(2), 12559-12570. https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2021/TRABALHO_EV_150_MD1_SA113_ID8513_30092021134515.pdf

Ferreira, G. (2024). Aplicando a geometria fractal como estratégia pedagógica no ensino de matemática no fundamental II. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-REASE*, 10(4), 889-900. <https://doi.org/10.51891/rease.v10i4.13529>

Gamboa, M., & Borrero, R. (2016). Influencia de la contextualización didáctica en la coherencia curricular del proceso enseñanza-aprendizaje de la Matemática. *Revista Dilemas Contemporáneos*, IV(1), 1-31. <https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/243/657>

García, M. (2022). *Aventuras STEAM. Ciencia, tecnología, ingeniería y arte: un universo de conexiones matemáticas*. Madrid: Catarata. <https://n9.cl/h63yy>

Lema, R. (2010). Caos, Complejidad, Creatividad: Diseñando fractales en "GERONIMO. AN AMERICAN LEGEND' DE WALTER HILL. *Razón y Palabra*(74). <https://www.redalyc.org/pdf/1995/199516111049.pdf>

Moreno, J. (2002). Experiencia didáctica en Matemáticas: construir y estudiar fractales. *Suma*(40), 91-104. <http://hdl.handle.net/11162/13655>

Mota, D., & Valles, R. (2019). ¡Fractales! Factor motivador para el estudio de las matemáticas. *XV Conferencia Interamericana de Educación Matemática*, (págs. 1-2). Medellín. <https://conferencia.ciaem-redumate.org/index.php/xvciaem/xv/paper/view/941>

Pérez de Sousa, S. (2022). *A geometria fractal para o ensino de diversos tópicos de matemática no Ensino Médio*. Río Claro: PROFMAT. https://repositorio.unesp.br/bitstream/11449/216640/5/souza_sp_me_rcla.pdf

Sánchez, J. (2021). *Conocer reflexivo construido por estudiantes de ingeniería en un proceso de investigación formativa basado en la modelación matemática*. Bogotá, D.C.: Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17192>

Vivas, M. (2018). Las Matemáticas, algunas aplicaciones y su importancia. *Matemática. FCNM-ESPOL*, 16(1), 67-77. <https://n9.cl/3n2lp>