

DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.80.08.3>

How to Cite:

Bonilla-Novillo, S.M., Moreno-Novillo, A.C., Quinchuela-Paucar, J.C., Albuja-Jácome, J.E., & Santillán-Espinoza, D.I. (2024). Potenciando el aprendizaje de ecuaciones diferenciales: Implementación de software libre en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. *Amazonia Investiga*, 13(80), 33-42. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.80.08.3>

Potenciando el aprendizaje de ecuaciones diferenciales: Implementación de software libre en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Enhancing the learning of differential equations: Implementation of open-source software at the
Polytechnic School of Chimborazo

Received: July 20, 2024

Accepted: August 30, 2024

Written by:

Sayuri Monserrath Bonilla-Novillo¹ <https://orcid.org/0000-0001-6509-8238>Ángela Cecibel Moreno-Novillo² <https://orcid.org/0000-0002-1532-3748>Juan Carlos Quinchuela-Paucar³ <https://orcid.org/0000-0001-5113-1893>Javier Edmundo Albuja-Jácome⁴ <https://orcid.org/0009-0005-5044-3373>Diego Iván Santillán-Espinoza⁵ <https://orcid.org/0000-0002-4213-1936>

Resumen

El objetivo de esta investigación fue describir las experiencias de aprendizaje significativo en el uso de un software libre, como estrategia didáctica en la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales. En términos epistemológicos, el alcance investigativo fue del tipo cualitativo con el apoyo del enfoque fenomenológico, operativizado mediante las técnicas de investigación documental, para la recopilación de fuentes secundarias de comprobado valor académico y; la observación participante, que sirvió al mismo tiempo para recabar las experiencias subjetivas de un grupo de estudiantes

Abstract

The objective of this research was to describe the significant learning experiences in the use of free software as a didactic strategy in the teaching of linear ordinary differential equations. In epistemological terms, the research scope was qualitative with the support of the phenomenological approach, operationalized through the techniques of documentary research, for the collection of secondary sources of proven academic value and; participant observation, which served at the same time to collect the subjective experiences of a group of students of four boys (2 men and 2 women) of the third

¹ Ingeniera Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Magíster en Matemática, Mención Modelación y Docencia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Magíster en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.  WoS Researcher ID: LJK-7020-2024

² Doctora en Lenguas mención Cooperación Internacional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Magíster en la Enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera, Universidad Técnica de Ambato. Máster Universitario en Docencia Superior Universitaria, Universidad Internacional de la Rioja-España (cursando). Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

 WoS Researcher ID: LJK-7086-2024

³ Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Magíster en Diseño Industrial y de Procesos, Universidad Internacional SEK. Docente en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.  WoS Researcher ID: LJK-7491-2024

⁴ Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Magíster en Diseño Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.  WoS Researcher ID: LJK-7147-2024

⁵ Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Magíster en Seguridad Industrial, Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Universidad Nacional del Chimborazo. Investigador independiente, Ecuador.  WoS Researcher ID: IUP-8896-2023

de cuatro chicos (2 hombres y 2 mujeres) del tercer semestre de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador. Se concluye que, en la visión constructivista del aprendizaje, el software libre fomenta la colaboración y el trabajo en equipo, que son elementos esenciales del aprendizaje en el siglo XXI. Con una plataforma gratuita y asequible como GeoGebra, todos los estudiantes tienen la oportunidad de explorar y experimentar con ecuaciones diferenciales, sin las barreras económicas que pueden ofrecer otros recursos.

Palabras clave: software libre, estrategia didáctica, aprendizaje significativo, fenomenología de la educación superior, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Introducción

El uso de software libre como estrategia didáctica para la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, ha significado un aporte instruccional en las comunidades de aprendizaje del Ecuador y el mundo, tal como refiere la investigación de Bonilla Novillo (2021). Este enfoque que combina la didáctica con el software libre no solo hace que los conceptos complejos sean más fáciles de entender, sino que también promueve un aprendizaje más interactivo y con significado. De hecho, al decir de la autora, el software libre nos permite estructurar sugerencias instruccionales basadas en la teoría constructivista del aprendizaje y, más aún, orientar el proceso en los estudiantes como gestores de su propio conocimiento. Esta visión es consistente con los esfuerzos actuales por integrar la tecnología en las aulas y mejorar las tendencias de eficiencia educativa (Bonilla Novillo, 2021).

En líneas generales, el software libre ofrece varias ventajas importantes en el campo de la educación, principalmente en educación superior, donde se supone que la mayoría de los estudiantes tiene una cultura tecnológica arraigada. Una de las ventajas más notables es que el software se puede personalizar y modificar constantemente para satisfacer necesidades educativas específicas. No obstante, el uso efectivo de esta estrategia de enseñanza-aprendizaje depende, en buena medida, de la capacidad del docente para adaptarlo a los requerimientos y necesidades particulares de sus estudiantes; de lo contrario, se puede generar un alto rechazo a la misma, tal como evidencia la investigación de Rodríguez et al., (2020), desarrollada en la escuela básica.

Por lo demás, el uso de software libre en el campo específico de la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales puede, bajo determinadas condiciones materiales y tecnológicas, crear un entorno de aprendizaje colaborativo. Según refieren Arteaga Valdés et al.,:

...el software GeoGebra, se presenta como un candidato de extraordinario valor en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la matemática, ya que no solo permite resolver de manera rápida y segura los más variados y diversos problemas que se presentan en el aprendizaje de esta asignatura, sino también, porque es una herramienta que permite estimular y desarrollar la creatividad de los alumnos, al permitirle descubrir y construir los conocimientos que son objeto de estudio. (2019, p. 101)

Estas ideas demuestran que, el enfoque algebraico tradicional predominante puede ser complementado con actividades que utilizan software libre como GeoGebra, promoviendo una comprensión más visual y dinámica de los problemas matemáticos en general. La integración de herramientas tecnológicas a los procesos de enseñanza-aprendizaje permite a los estudiantes explorar diferentes escenarios y soluciones de problemas, enriqueciendo en cada momento su comprensión y habilidades analíticas.

El efecto del software libre en el aprendizaje de las matemáticas va más allá de la resolución de ecuaciones. El uso de software matemático permite vincular el desarrollo analítico con la exploración y la experimentación de las matemáticas, brindando una visión global e integradora de esta ciencia exacta, al

semester of the Faculty of Mechanics of the Polytechnic School of Chimborazo in Ecuador. It is concluded that, in the constructivist vision of learning, free software fosters collaboration and teamwork, which are essential elements of learning in the 21st century. With a free and affordable platform like GeoGebra, all students can explore and experiment with differential equations, without the economic barriers that other resources can offer.

Keywords: free software, didactic strategy, meaningful learning, phenomenology of higher education, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

menos así lo señalan (Rodríguez et al., 2020). Por lo tanto, además de mejorar la comprensión de los conceptos matemáticos, este método mejora las competencias críticas de los alumnos, lo que los prepara para enfrentar problemas complejos en el futuro.

A lo largo de este artículo de investigación se aprecia que, como es accesible y sin costo para todos los alumnos, el software libre también ayuda a democratizar el conocimiento. En consecuencia, este tipo de programa ofrecen un método de enseñanza útil, destacando la relevancia de la informática en la enseñanza matemática. Sin embargo, no es una herramienta ventajosa para todos los contextos de aprendizaje, pero en situaciones donde los recursos educativos son accesibles, esta tecnología es fundamental para garantizar que todos los alumnos tengan la oportunidad de aprovechar herramientas de aprendizaje avanzadas, de conformidad con los requerimientos de la digitalización social impulsada por las tecnologías de la información y comunicación TIC (Bonilla Novillo, 2021).

A lo largo de estas líneas se defiende la hipótesis axiomática que ve en el software libre, más allá de sus limitaciones, una herramienta pedagógica efectiva para enseñar ecuaciones diferenciales lineales ordinarias. Se trata de una opción atractiva para los educadores que buscan mejorar la calidad de la enseñanza y, conjuntamente, preparar a sus alumnos para los desafíos digitales del siglo XXI, reforzando en cada momento la habilidad cognitiva para permitir un aprendizaje interactivo, personalizado y accesible. También subyace una visión filosófica en todo esto, ya que el valor educativo del software libre va más allá de las consideraciones económicas, es una cuestión de libertad informática y no de precio (Bonilla Novillo, 2021).

En el marco de las ideas presentadas, el objetivo de esta investigación fue describir las experiencias de aprendizaje significativo en el uso de un software libre, como estrategia didáctica en la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales. El artículo se divide en 4 secciones o partes; en la primera, se muestran los antecedentes de la investigación; en la segunda parte, se explican los aspectos metodológicos; en la tercera sección, se analizan y discuten los resultados; por último, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones del caso de estudio.

Antecedentes de la investigación y posicionamiento teórico

En este apartado se hace una revisión crítica de la literatura más relevante sobre las categorías: *software libre aplicado a la enseñanza* en general y *software libre al servicio de la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales*. El criterio crítico viene dado en el intento hermenéutico de precisar, en el caso de cada autor o autores examinados, las limitaciones o contradicciones de su argumentación. La lectura de estos autores no solo fue fundamental para construir una visión coherente y sostenible de estos temas, además, sirvió para definir nuestro posicionamiento teórico sobre la relación dialéctica que se da entre software libre y la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales.

Por diferentes razones como la imbricación transversal de las TIC a la educación o la propia naturaleza flexible del software libre, la experiencia fenomenológica de su implementación funciona como estrategia didáctica para la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales y, en consecuencia, ha llamado la atención en la comunidad educativa, no obstante, hasta ahora su uso es más bien parcial y limitado. Para Bonilla Novillo (2021), este enfoque hace que los conceptos complejos sean más fáciles de entender y, al mismo tiempo, promueve un aprendizaje más interactivo y atractivo. “El software libre nos permite estructurar sugerencias instruccionales basadas en la teoría constructivista del aprendizaje y enfocar el proceso en los estudiantes como creadores de su propio conocimiento” (Bonilla Novillo, 2021, p. 21).

El problema con estas afirmaciones es que la autonomía del aprendizaje, esto es, lo que permite en términos ontológicos y epistemológicos que un estudiante sea “el creador” de su propio conocimiento, puede resultar a priori demasiado optimista, porque la mediación tecnológica en general, incluido el software libre, son solo un factor (aunque importante) en la creación de las condiciones de posibilidad para el logro del aprendizaje con significado para el ser y el hacer de los estudiantes. De hecho, este proceso no está orientado tanto a la creación *del propio conocimiento*, como afirma Bonilla Novillo (2021), si no, más específicamente, a la configuración paulatina (dependiendo el grado o nivel intelectual de cada estudiante) de sus propias experiencias de aprendizaje, lo que es otra cosa distinta.

Una idea recurrente en la literatura revisada en esta investigación es la flexibilidad del software libre, la cual, en líneas generales, permite a los educadores adaptar las herramientas tecnológicas a las necesidades

específicas de sus cursos y estudiantes. De hecho, un estudio pionero sobre el tema de la autoría de Valverde Chavarría (2005), decía hace casi 20 años que, de lograr dominar las potencialidades de este software, los estudiantes pueden explorar cómo funcionan y adaptarlos a sus necesidades e intereses particulares, promoviendo un aprendizaje más profundo y personalizado. Esta adaptabilidad puede ser importante para aprender ecuaciones diferenciales y, llegado el caso, puede requerir diferentes enfoques pedagógicos o andragógicos para adaptarse a la diversidad de estilos de aprendizaje, y a los propósitos de cada profesor.

Aunado a lo anterior, el software libre promueve un enfoque colaborativo en el aprendizaje. Por ejemplo, según Bonilla Novillo (2021), el sistema EDIF, diseñado específicamente para la enseñanza de ecuaciones diferenciales, permite a los estudiantes trabajar en un entorno que refuerza la colaboración y el intercambio de ideas. Este entorno colaborativo no solo mejora la comprensión de los conceptos, sino que también fomenta habilidades interpersonales de cooperación y de trabajo en equipo, esenciales en el ámbito profesional y en la vida social.

La integración de software libre en la enseñanza de ecuaciones diferenciales también aumenta la motivación de los estudiantes. En este orden de ideas, Jaimes-Contreras, & Chaves-Escobar (2012) afirman que el uso de herramientas tecnológicas en el aula puede aumentar el interés y la motivación de los estudiantes y, simultáneamente, promover su compromiso en el aprendizaje puede conducir a un aprendizaje más efectivo y sostenido en el tiempo, ya que los estudiantes se sentirán más involucrados en el proceso educativo en el que están inmersos como actores protagonistas. En efecto, los referidos autores concluyen en el último párrafo de su investigación que:

...es necesario diseñar e implementar una propuesta de actividades para la enseñanza de las ED con variables separables que complemente el método analítico con el enfoque geométrico mediante la ayuda de software libre “Geogebra” para de esta forma mejorar las conexiones entre las ED, sus soluciones y representaciones. (Jaimes-Contreras, & Chaves-Escobar, 2012, p. 29)

En cuanto a la democratización del acceso al conocimiento, tan debatido en *las teorías progresistas de la educación*, desde la época de la obra de *La pedagogía del oprimido* en los años setenta del siglo XX (Freire, 2005), todo indica que el software como un dispositivo de profundo contenido libertario opuesto categóricamente a los software de código cerrado, contribuye a crear las condiciones de posibilidad para desarrollar experiencias de aprendizaje más significativas, participativas y democráticas. Algunas experiencias documentadas así lo demuestran, y es que: “El software libre proporciona recursos educativos accesibles que pueden ser utilizados por todos los estudiantes, independientemente de su situación económica” (Bonilla Novillo, 2021, p.15).

No obstante, de nuevo conviene recordar que aunque el software libre está asociado a la accesibilidad, factor crucial en la educación en general, ya que asegura que todos los estudiantes tengan la oportunidad de aprender y desarrollarse en un entorno equitativo y justo, el problema de la democratización de las oportunidades de aprendizaje no se limita a una cuestión de tecnología didáctica o de estrategias de aprendizaje en x campo o disciplina, tiene que ver con cosas más profundas y complejas, tales como: con la esencia de los sistemas políticos, económicos, sociales y culturales en los cuales se desarrollan todos los contextos de aprendizaje.

Por otro lado, otro tema importante en la literatura consultada es la forma como el software libre permite a los estudiantes experimentar y explorar conceptos matemáticos de forma práctica. Según Valdés et al.: “El uso de software libre en la educación matemática permite a los estudiantes experimentar con algoritmos y herramientas, enriqueciendo así su comprensión” (2004, p. 45). Sin ninguna duda, la experiencia práctica es esencial para aprender ecuaciones diferenciales, donde es importante aplicar conceptos teóricos a situaciones del mundo real.

Todos los autores consultados sobre el tema suponen que el uso del software libre para enseñar ecuaciones diferenciales no sólo mejora el aprendizaje académico, sino que también prepara a los estudiantes para los desafíos del campo laboral y los problemas numéricos de la vida cotidiana. En consecuencia, el conocimiento de las herramientas técnicas y la capacidad de adaptación a diferentes entornos de software son habilidades valiosas en el mercado laboral actual (Rodríguez et al., 2020). Por lo tanto, el uso de

software libre en educación beneficia el aprendizaje de los estudiantes y también proporciona habilidades prácticas que serán útiles en futuras carreras y situaciones laborales.

En cuanto a nuestro posicionamiento teórico de tipo constructivista, surge en completa sintonía con las lecturas realizadas (Bonilla Novillo, 2021; Jaimes-Contreras, & Chaves-Escobar, 2012; (Valdés *et al.*, 2004; Arteaga Valdés *et al.*, 2019). Conviene recordar que, para el constructivismo, la educación es una experiencia intersubjetiva donde, sin importar el nivel de los participantes, los saberes se construyen desde el diálogo y la interacción que se da entre los sujetos y temas de estudio (Ortiz Granja, 2015). De igual modo, el software libre aplicados a la enseñanza de ecuaciones diferenciales, crea las condiciones para democratizar el conocimiento, experimentar y explorar conceptos y, mejor aún, fortalecer la autonomía cognoscente del estudiante comprometido con su formación matemática, de modo que las semejanzas entre este programa y el planteo constructivista son evidentes.

Metodología de la investigación

Un estudio como este sobre el uso de software libre como estrategia didáctica para el aprendizaje de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, utiliza un método híbrido que combina revisión de literatura y fenomenología, por su notable versatilidad. Los estudios de literatura especializada en el tema, comúnmente conocido como investigación documental, pueden recopilar y analizar información existente sobre el uso de software educativo y proporcionar una base teórica sólida (Arias, 2009). De modo que, en principio, una revisión de fuentes documentales de reconocido valor académico es fundamental para comprender cómo se puede implementar el software libre en el aula y sus beneficios en el aprendizaje de conceptos matemáticos complejos y las ecuaciones no lineales.

La fenomenología, por otro lado, se centra en las experiencias de los estudiantes al interactuar con el software libre durante el proceso de aprendizaje. Este enfoque permite explorar cualitativamente cómo los estudiantes perciben y comprenden las ecuaciones diferenciales utilizando herramientas tecnológicas. Según Husserl (2008), la fenomenología intenta comprender la naturaleza de la experiencia humana que nos permite percibir la riqueza de la interacción en el aprendizaje, como resultado de la imbricación en la conciencia de un conjunto variado de saberes teóricos y prácticos. La combinación de ambos enfoques metodológicos permite una comprensión holística del fenómeno educativo. La investigación documental proporciona un marco teórico, mientras que la fenomenología ofrece una visión profunda de las experiencias individuales de los estudiantes, lo que, en su conjunto, permite describir no solo lo que se aprende, si no, además, y esto es lo fundamental, como se representa lo aprendido.

Tal como indica Martínez (2004), integrar diferentes métodos en la investigación educativa enriquece el análisis y permite sacar conclusiones más confiables. Esto es particularmente importante en el contexto del aprendizaje de ecuaciones diferenciales, donde la experiencia de los estudiantes puede variar ampliamente de un tiempo y espacio a otro, de modo que se impone entonces la necesidad de una perspectiva inductiva e ideográfica.

Consecuentemente, la interpretación de los datos se realizó mediante el análisis de contenido. Lo que permitió valorar la efectividad del software libre para el aprendizaje de ecuaciones diferenciales y comprender la experiencia del estudiante. Como muestra el tratado epistemológico de Martínez (2009), la triangulación de datos de diferentes fuentes y métodos aumenta la validez de los hallazgos de la investigación educativa. Hasta el punto de que los resultados obtenidos, si es que se puede hablar de resultados en investigación cualitativa, sean significativos y aplicables a varias instituciones educativas, pertenecientes a un mismo contexto sociocultural, al menos.

Finalmente, se usó la observación participante como un instrumento para recabar directamente información de un conjunto de estudiantes. Simplificando la muestra, para los efectos concretos de esta investigación inductiva en cuatro chicos (2 hombres y 2 mujeres) del tercer semestre de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador. Tal como sostiene Ritzer (1993), la observación participante es un método de investigación cualitativo que permite a los investigadores estudiar los grupos sociales, sus interacciones materiales y simbólicas y, la participación en sus actividades cotidianas desde adentro. Esta técnica es ampliamente utilizada en disciplinas como la antropología, la sociología y la psicología social, entre otras. Parte del supuesto de que una comprensión profunda de un grupo requiere no solo de la observación, sino también, de la participación en su vida cotidiana.

La observación participante realizada en el segundo semestre del 2021 en el espacio referido permitió a los investigadores describir y conocer la experiencia de los sujetos de estudio, con el uso del software libre GeoGebra en tres dimensiones particulares que definen a la experiencia humana, a saber: lo cognitivo, lo afectivo y lo procedimental. En lo cognitivo, interesó comprender la dinámica de producción, gestión e intercambio de saberes sobre ecuaciones diferenciales ordinarias lineales. En lo afectivo, se observaron los sentimientos, que emergen de este proceso de enseñanza-aprendizaje. Por último, en lo procedimental, se observó las cosas prácticas que los chicos pueden hacer a través del uso de esta herramienta tecnológica.

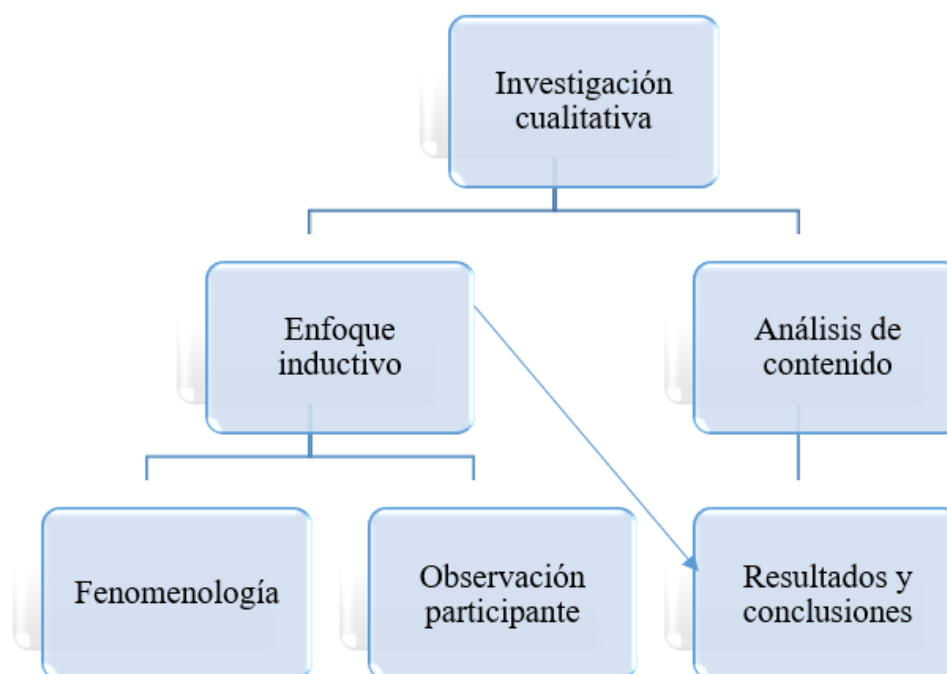


Figura No. 01. Estructura metodológica de la investigación.

Fuente: elaborado por los autores (2024).

En definitiva, el marco metodológico propuesto combinó, en igualdad de condiciones, la investigación documental o documentada junto a una aproximación a la fenomenología para abordar el problema del uso de software libre para enseñar ecuaciones diferenciales ordinarias lineales. Esta combinación no solo justifica teóricamente la investigación, sino que también explora las experiencias de los estudiantes para obtener una comprensión integral del impacto del software en su aprendizaje. Los métodos elegidos están diseñados para promover mejoras cognitivas en la práctica educativa y, al mismo tiempo, iniciar un aprendizaje más significativo y eficaz.

Análisis y discusión de resultados

En esta sección se muestra de forma sintetizada los resultados obtenidos al calor de la investigación, mediante el análisis de contenido de las fuentes documentales a nuestra disposición y, de la observación participante que, a diferencia de las entrevistas en profundidad (Robles, 2011), que solo permiten conversar de forma horizontal con los sujetos de estudio, se trata de un instrumento que logra constatar sistemáticamente en el campo, las acciones, interacciones, prácticas, rituales y discursos de los sujetos y comunidades abordadas, con el ánimo de descifrar su sentido y significado en términos fenomenológicos (Husserl, 2008; Martínez, 2009).

Dimensión cognitiva y conceptual

Se puede observar que el uso del software gratuito GeoGebra para enseñar ecuaciones diferenciales ordinarias lineales es una herramienta poderosa para desarrollar las habilidades cognitivas de los estudiantes, lo que viene a confirmar la perspectiva de Bonilla Novillo (2021). En líneas generales, pudimos constatar directamente que el software permite a los usuarios interactuar visual y dinámicamente con

conceptos matemáticos, promoviendo la comprensión de temas complejos como las ecuaciones diferenciales y desarrollar las habilidades del pensamiento creador.

Cuando se integró GeoGebra en el proceso de aprendizaje, los cuatro estudiantes seleccionados para la observación lograron explorar, manipular y visualizar soluciones para promover un aprendizaje activo y con significado. Por estas razones y por otras, la capacidad de modelar situaciones del mundo real utilizando ecuaciones diferenciales con GeoGebra fomenta la aplicación práctica de los conocimientos teóricos adquiridos en el aula, lo cual resulta esencial para el desarrollo de la resolución de problemas y el pensamiento crítico en el ámbito de las matemáticas.

De igual modo, se pudo ver que GeoGebra apoya el aprendizaje colaborativo y la autoevaluación, que son elementos clave en el desarrollo de habilidades cognitivas, de conformidad con lo que afirman Jaimes-Contreras, & Chaves-Escobar (2012). Los estudiantes pueden trabajar en grupos para compartir sus hallazgos y estrategias de solución, enriqueciendo el aprendizaje a través de la discusión y el intercambio de ideas. Este enfoque colaborativo mejora la comprensión de las ecuaciones diferenciales y, también, favorece la interacción interpersonal y las habilidades de comunicación. Al decir de los propios sujetos de estudio, el software proporciona retroalimentación instantánea, lo que permite visualizar instantáneamente el impacto de sus decisiones, ayudándolos a comprender mejor los errores y los éxitos, optimizando así la metacognición y la autoeficacia en el aprendizaje tal como demuestran Jaramillo Naranjo, & Simbaña Gallardo (2014).

Definitivamente, en términos cognitivos y conceptuales, la implementación de GeoGebra en la enseñanza de ecuaciones diferenciales mejoró el rendimiento académico y, al mismo tiempo, promovió un aprendizaje más profundo en matemáticas. Al permitir a los estudiantes experimentar con diferentes escenarios y parámetros, GeoGebra ayuda a desarrollar una comprensión conceptual más sólida y, comúnmente, reduce la ansiedad matemática que a menudo afecta el aprendizaje. Las investigaciones y la observación muestran, más allá de toda duda razonable, que el uso de software dinámico como GeoGebra puede aumentar significativamente la motivación y el compromiso de los estudiantes, lo cual es bueno para desarrollar futuros matemáticos capacitados y creativos (Rodríguez et al., 2020).

Dimensión actitudinal y afectiva

Pudimos observar de forma directa en los cuatro 04 sujetos en los que se focalizó el estudio que, el uso del software GeoGebra para enseñar ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, ha tenido un efecto positivo en sus actitudes y sentimientos hacia las matemáticas en general. Esto permite concluir al menos de forma provisional, que interactuar con esta herramienta tecnológica puede crear un entorno de aprendizaje más dinámico y atractivo, reduciendo así la ansiedad matemática y aumentando la motivación.

Tal como sostienen García López et al., (2021) cuando se logra permitir a los estudiantes visualizar y manipular conceptos abstractos, GeoGebra ayuda a establecer conexiones metacognitivas más significativas entre la teoría y la práctica, aumentando así el interés en aprender matemáticas. Tanto la observación como la teoría indica que, el uso de GeoGebra puede mejorar las actitudes hacia las matemáticas, fomentando un enfoque más activo para aprender conceptos complejos como las ecuaciones diferenciales.

Pudimos constatar que GeoGebra promueve la autoeficacia y la autorregulación en el aprendizaje, aspectos principales para el desarrollo de actitudes positivas. Los cuatro estudiantes que utilizaron esta herramienta a menudo informan que sienten más control de su aprendizaje, lo que les permite abordar problemas matemáticos con más confianza y seguridad.

Según refieren Gallego-López, Granados-López & Sánchez-Sánchez (2018), la capacidad de experimentar y observar resultados inmediatos cambiando los parámetros de GeoGebra promueve un aprendizaje más reflexivo y crítico. Esta interacción no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también crea un entorno colaborativo donde los estudiantes pueden compartir y discutir sus ideas, enriqueciendo así su experiencia educativa y aumentando su deseo y satisfacción de aprender matemáticas.

Dimensión procedimental

Aunado a lo anterior, pudimos observar que, el uso de GeoGebra para enseñar ecuaciones diferenciales ordinarias lineales permite a los estudiantes participar en una variedad de actividades que enriquecen su comprensión del tema desde la práctica. Con esta herramienta, se pueden representar gráficamente soluciones de ecuaciones diferenciales, lo que ayuda a visualizar cómo se comportan estas soluciones en diferentes condiciones iniciales.

En este orden de ideas, GeoGebra facilita la creación de campos de orientación para que los estudiantes puedan observar cómo se comportan las soluciones en un plano gráfico, lo que resulta útil para comprender las propiedades de las ecuaciones diferenciales y sus soluciones. Esta función de visualización, tal como indican Valdés et al., (2004) hace que el aprendizaje sea más interactivo, al tiempo que promueve un aprendizaje más profundo y significativo al conectar conceptos teóricos con representaciones gráficas en tiempo real.

Además de la visualización, GeoGebra permite a los estudiantes experimentar con métodos numéricos (como el método de Euler) para aproximar soluciones a ecuaciones diferenciales. En este contexto, vimos como los estudiantes pueden ingresar varias ecuaciones, definir las condiciones iniciales y, finalmente, observar cómo cambia la solución a medida que cambian los parámetros elegidos. Tal como afirma Guerra Cáceres (2022), esta interacción práctica con el software fomenta la experimentación y la exploración desde el hacer, que son habilidades esenciales para aprender matemáticas. Con GeoGebra, los estudiantes también pueden comparar soluciones analíticas con soluciones numéricas, lo que les ayuda a desarrollar una comprensión crítica de las diferencias y similitudes entre los dos métodos.

Finalmente, también pudimos observar que, el uso de GeoGebra facilita la colaboración entre los estudiantes, ya que pueden compartir sus resultados y discutir diferentes enfoques para resolver problemas de ecuaciones diferenciales. Por un lado, esta colaboración mejora la comprensión del contenido y, por el otro, desarrolla habilidades sociales y de comunicación. La capacidad de trabajar en grupos y utilizar GeoGebra como plataforma común para explorar conceptos matemáticos crea un entorno de aprendizaje inclusivo y dinámico. En definitiva, GeoGebra no sólo actúa como una herramienta para la resolución de ecuaciones diferenciales, también puede cambiar, bajo determinadas condiciones, la forma en que los estudiantes interactúan con las matemáticas y mejora su comprensión conceptual y su actitud hacia la materia.

Por último, conviene mencionar al menos de forma somera cuales son las limitaciones que desde el punto de vista de los autores, de modo que pueden ser mas las limitaciones, que identifican en términos epistemológicos a esta investigación. En primer lugar, de destaca que la disponibilidad de estudios específicos sobre este tema en la institución mencionada es realmente escasa, lo que sin duda limita la profundidad del análisis desarrollado. En segundo lugar, otra cuestión a considerar es la rapidez con la que evoluciona el software libre lo que hace que, para el momento de la publicación efectiva de esta investigación, algunas fuentes queden desactualizadas.

Otra limitación importante a considerar es el acceso a datos cuantitativos sobre el impacto real de la implementación del software libre en el aprendizaje de los estudiantes, ya que estos datos no están disponibles públicamente. Aunado a todo lo anterior, el alcance de esta investigación podría verse limitado por la falta de estudios comparativos entre el uso de software libre y software propietario en el contexto específico de las ecuaciones diferenciales. Finalmente, la generalización de los resultados a otras instituciones o contextos educativos puede ser problemática debido a las particularidades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y de un estudio inductivo como este.

Conclusiones y recomendaciones

El uso de software libre como estrategia didáctica para el aprendizaje de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales supone un avance significativo en la educación matemática. Sin ninguna duda, herramientas como GeoGebra permiten a los estudiantes interactuar visual y dinámicamente con conceptos abstractos, promoviendo así la comprensión de temas complejos. En términos cognitivos, esta interacción mejora la construcción de conocimientos matemáticos y, al mismo tiempo, promueve el aprendizaje activo y participativo, convirtiendo a los estudiantes en protagonistas de su propio proceso educativo.

En la visión constructivista del aprendizaje, el software libre fomenta la colaboración libre y el trabajo en equipo, que son elementos esenciales del aprendizaje en el siglo XXI. Con una plataforma gratuita y asequible como GeoGebra, todos los estudiantes tienen la oportunidad de explorar y experimentar con ecuaciones diferenciales, sin las barreras económicas que pueden suponer otros programas relativamente similares. Esta democratización del acceso a herramientas tecnológicas de alto nivel enriquece el aprendizaje y también ayuda a construir comunidades educativas más inclusivas y diversas donde cada estudiante pueda contribuir en la gestión de saberes complejos y beneficiarse del conocimiento colectivo.

Introducir software libre en el aula puede cambiar la forma en que se perciben, enseñan y representan las matemáticas. Integrando esta tecnología en el plan de estudios se puede promover un enfoque más adecuado a las necesidades educativas del siglo XXI. En el plano de lo fenomenológico, es decir, en la forma como se piensa, se vive y se siente el conocimiento, aumenta la motivación y el interés de los estudiantes por las matemáticas y también prepara a los futuros profesionales para afrontar los complejos desafíos de un mundo cada vez más digital. Por estas realidades, el software libre está diseñado como una estrategia de aprendizaje efectiva y necesaria para estudiar ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, que aumenta la posibilidad de experiencia de aprendizaje con significado junto a las habilidades prácticas de los estudiantes.

Para optimizar el uso del software libre para la enseñanza de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, se recomienda a los educadores de matemáticas integrar GeoGebra y herramientas similares en sus cursos de forma estructurada. En esta iniciativa, es necesario brindar capacitación a los docentes para que puedan utilizar eficazmente estas herramientas y, simultáneamente, enseñar a los estudiantes cómo utilizarlas.

Además, se recomienda fomentar proyectos colaborativos que permitan a los estudiantes explorar conceptos en grupo y promover el aprendizaje intersubjetivo. Una combinación de actividades prácticas y experienciales ayudará a los estudiantes a conectar la teoría con sus aplicaciones prácticas en el mundo real. También es importante proporcionar recursos y tutoriales en línea para facilitar el autoestudio y la metacognición. Definitivamente, el impacto de estas herramientas en el aprendizaje debe evaluarse continuamente para ajustar las estrategias de aprendizaje según sea necesario a las necesidades instruccionales de cada contexto de enseñanza-aprendizaje.

Referencias Bibliográficas

- Arias, F. G. (2009). *El proyecto de investigación*. Caracas: Editorial Episteme.
- Arteaga Valdés, E., Medina Mendieta, J. F., & Del Sol Martínez, J. L. (2019). El GeoGebra: una herramienta tecnológica para aprender matemática en la Secundaria Básica haciendo matemática. *Revista Conrado*, 15(70), 102-108. <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v15n70/1990-8644-rc-15-70-102.pdf>
- Bonilla Novillo, S. M. (2021). *Utilización de software libre como estrategia didáctica para el aprendizaje de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales en estudiantes del tercer semestre, facultad de mecánica de la escuela superior politécnica de Chimborazo*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Chovriy, S., Pelekh, V., Rogoza, V., Zorochkina, T., & Zdir, D. (2024). Organization of a STEM-oriented environment in higher education institutions. *Amazonia Investiga*, 13(76), 333-347. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.76.04.27>
- Freire, P. (2005). *Pedagogía del oprimido*. Montevideo: Siglo XXI editores. ISBN 968-23-2589-7
- Gallego-López, F., Granados-López, H., & Sánchez-Sánchez, O. (2018). Influencia del GeoGebra en la motivación y autorregulación del aprendizaje del cálculo y álgebra en universitarios. *Revista Espacios*, 39(17), 01-07. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n17/a18v39n17p07.pdf>
- García López, M. D. M., Romero Albaladejo, I. M., & Gil Cuadra, F. (2021). Efectos de trabajar con GeoGebra en el aula en la relación afecto-cognición. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 0177-198. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3299>
- Guerra Cáceres, M. E. (2022). Conocimientos previos y GeoGebra en la enseñanza y aprendizaje de las ecuaciones diferenciales ordinarias. *REDISED Revista Diálogo Interdisciplinario sobre Educación*, 4(2), 121-134.
- Husserl, E. (2008). *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*. Buenos Aires: Prometeo Libros.
- Jaimes-Contreras, L. A., & Chaves-Escobar, R. F. (2012). Propuesta de actividades para la enseñanza de las ecuaciones diferenciales, con variables separables mediante el apoyo de software libre "geogebra". *Eco Matemático*, 3(1), 28-29. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ecomatematico/article/view/133/146>

- Jaramillo Naranjo, L. M., & Simbaña Gallardo, V. P. (2014). La metacognición y su aplicación en herramientas virtuales desde la práctica docente. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (16), 299-313.
- Martínez, M. (2004). *Ciencia y arte en la metodología cualitativa*. México DF: Editorial Trillas.
- Martínez, M. (2009). *La nueva ciencia Su desafío, lógica y método*. México DF: Trillas. ISBN 968-24-4659-7
- Ortiz Granja, D. (2015). El constructivismo como teoría y método de enseñanza. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (19), 93-110. <https://www.redalyc.org/pdf/4418/441846096005.pdf>
- Ritzer, G. (1993). *Teoría sociológica contemporánea*. México DF: Mc Graw Hill.
- Robles, B. (2011). La entrevista en profundidad: una técnica útil dentro del campo antropológico. *Cuicuilco*, 18(52), 39-49.
- Rodríguez, J. C. R., Acurio Acurio, M. P., & Alvarado Pazmiño, E. R. (2020). Software libre: Incidencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la educación básica. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 4(31), 63-71. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp63-71>
- Valdés, J. E. N., Thomas, A. G., Genes, F., Basabilbaso, F., & Brundo, J. (2004). El enfoque históricoproblémico en la enseñanza de la matemática para ciencias técnicas: el caso de las ecuaciones diferenciales ordinarias. *Acta Scientiae*, 6(2), 41-60.
- Valverde Chavarría, J. (2005). Software libre, alternativa tecnológica para la educación. *Actualidades Investigativas En Educación*, 5(2). <https://www.redalyc.org/pdf/447/44750220.pdf>