

Optimización de la Carga Cognitiva y rendimiento académico en Física mediante el aprendizaje colaborativo asistido por GeoGebra

Optimization of Cognitive Load and Academic Performance in Physics through Collaborative Learning Assisted by GeoGebra

Johnny Mauricio Lima-Narváez¹, José Miguel Núñez De Luca², Pablo Andrés Vivas Sánchez³,
Xavier Alexis Loya Socasi⁴ y Jessica Gabriela Grandes Padilla⁵

¹Universidad Técnica del Norte, jmlima@utn.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-7248-2211>, Ecuador

²Unidad Educativa Dr. Alfredo Pareja Diezcanseco, miguel.nunez@docentes.educacion.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0003-6951-8342>, Ecuador

³Unidad Educativa Municipal Sebastián de Benalcázar, luispsandres@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3365-3413>, Ecuador

⁴Unidad Educativa Particular San Andrés, loyaxavier.uesac@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-9040-1134>, Ecuador

⁵Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, jessica.grandes@docentes.educacion.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0004-0807-698X>, Ecuador

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 02-01-2026

Revisado 03-01-2026

Aceptado 15-02-2026

Palabras Clave:

Carga cognitiva

GeoGebra

Aprendizaje colaborativo

Rendimiento en Física

Keywords:

Cognitive load

GeoGebra

Collaborative learning

Performance in Physics

RESUMEN

Esta investigación aborda el problema del bajo rendimiento en Física, a menudo relacionado con una alta carga cognitiva intrínseca que dificulta la comprensión de conceptos abstractos. El propósito fue analizar cómo el aprendizaje colaborativo apoyado en el software interactivo GeoGebra favorece el procesamiento de la información y mejora los resultados del aprendizaje. Se planteó una intervención pedagógica apoyada en simulaciones dinámicas para externalizar procesos mentales complejos y construir conocimiento de manera colaborativa. A través de un diseño cuasi experimental, se compararon los niveles de aprovechamiento antes y después de la implementación. Los resultados iniciales revelan que la visualización interactiva en GeoGebra apoya como andamiaje cognitivo que disminuye la carga cognitiva extraña, liberando al estudiante para que centre sus recursos cognitivos en los esquemas pertinentes de la Física. Se determina que la incorporación de software de geometría dinámica en un contexto colaborativo mejora el rendimiento académico, la autonomía y la motivación. Estos resultados confirman la efectividad de las TIC como herramientas potenciadoras del desarrollo cognitivo en ciencias exactas, generando un modelo replicable para la educación media y superior.

ABSTRACT

This research addresses the problem of low performance in Physics, often linked to a high intrinsic cognitive load that hinders the understanding of abstract concepts. The aim was to analyze how collaborative learning supported by the interactive software GeoGebra facilitates information processing and improves learning outcomes. A pedagogical intervention based on dynamic simulations was proposed to externalize complex mental processes and collaboratively construct knowledge. Through a quasi-experimental design, achievement levels were compared before and after implementation. Initial results reveal that interactive visualization in GeoGebra acts as cognitive scaffolding, reducing extraneous cognitive load and freeing students to focus their cognitive resources on relevant Physics concepts. It was determined that incorporating dynamic geometry software in a collaborative context improves academic performance, autonomy, and motivation. These results confirm the effectiveness of ICTs as tools for enhancing cognitive development in the exact sciences, generating a replicable model for secondary and higher education.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Física a nivel bachillerato siempre tiene el mismo obstáculo: la abstracción de sus conceptos fundamentales. La Teoría de la Carga Cognitiva (CLT) sostiene que el aprendizaje es más efectivo si la carga en la memoria de trabajo no excede su capacidad limitada (Paas & van Merriënboer, 2020). Con frecuencia, los alumnos se saturan al resolver problemas de física debido a la carga extrínseca, que surge de materiales didácticos deficientemente diseñados o de una presentación innecesariamente complicada de la información (Apostol et al., 2020). Esta sobrecarga cognitiva impide que los recursos mentales se concentren en la tarea importante, que es el trabajo real de crear esquemas complejos. Por lo tanto, es imprescindible modificar las estrategias pedagógicas para optimizar el procesamiento de información, centrándose más en el fenómeno físico.

La implementación de software de geometría dinámica, por ejemplo, GeoGebra, mejora la administración de estos recursos cognitivos (Chen & Kalyuga, 2021). Con GeoGebra, se pueden observar leyes de la física (como fuerzas en equilibrio o movimiento parabólico) como modelos interactivos en tiempo real. El alumno tiene la posibilidad de transferir a este software una parte de su carga cognitiva matemática y visual al interactuar con estos modelos, lo que reduce significativamente su carga extrínseca (Nguyen, 2021). Esta mediación tecnológica no solo respalda la apropiación de información, sino que además promueve una transformación conceptual al posibilitar que se manipulen directamente las variables que rigen el fenómeno físico (Li & Wong, 2022). Por otro lado, el aprendizaje colaborativo proporciona esa dimensión social que la mediación tecnológica no puede lograr por sí sola. Desde la perspectiva de la cognición distribuida, el trabajo en equipo distribuye entre los miembros la carga cognitiva para que ninguno se rinda ante una tarea complicada (D'Angelo, 2023). En un entorno CSCL, los estudiantes discuten significados y solucionan conflictos cognitivos al manejar simulaciones en GeoGebra (Vogel, 2025). Esta interacción social es un marco para optimizar la carga cognitiva apropiada, porque el diálogo en grupo los fuerza a expresar sus pensamientos de manera verbal y a perfeccionar sus modelos mentales internos (Oliveira, 2020).

El impacto de la carga cognitiva en el desempeño académico es un asunto que requiere una investigación cuantitativa (Martín, 2023). El rendimiento no es una calificación, sino la fusión de la consecución conceptual y el uso procedimental del saber. Ya han señalado otras investigaciones que, optimizando la carga cognitiva, los resultados en las pruebas de solución de problemas aumentan a la par (Tan, 2023). Con la ayuda de instrumentos validados, se pueden medir estas percepciones subjetivas y vincularlas con el rendimiento académico objetivo de los alumnos, lo que permite obtener una visión holística del proceso (Smith, 2021). Los estudiantes del bachillerato se encuentran en una etapa en la que resulta esencial que pasen del razonamiento concreto al formal. Dado que la Física es una ciencia muy matemática, a menudo se considera una materia difícil si no se cuenta con los apoyos apropiados (Ursini, 2020). La falta de herramientas para la visualización y manipulación colectiva lleva a un rendimiento deficiente y a la desmotivación hacia las ciencias exactas. Por lo tanto, según Quinn (2024), el empleo frecuente de GeoGebra puede revertir esta situación, facilitando la comprensión de los conceptos y dando mayor importancia al aprendizaje.

Con el fin de comprobar la efectividad de las simulaciones dinámicas, otros estudios semejantes han empleado técnicas estadísticas avanzadas. Por ejemplo, investigaciones que emplean modelos de regresión han determinado que la carga relevante permite predecir la transmisión exitosa a contextos nuevos (Fan et al., 2022). Asimismo, en entornos con tecnología adecuadamente integrada, la confiabilidad de las herramientas para recopilar datos tiende a ser mayor que 0.80 (Ismail, 2020). Estos datos confirman que no es correcto emplear la tecnología solo porque sea nueva, sino que debe hacerse bajo un diseño instruccional que tome en cuenta las limitaciones de la arquitectura cognitiva del ser humano (Kalyuga, 2020). La carga intrínseca, que proviene de la dificultad inherente al material físico, no es posible eliminarla, pero sí se puede controlar dividiendo la tarea. Es posible realizar esta división mediante GeoGebra; de este modo, los alumnos pueden gestionar una sección de la simulación antes de que se manipule el sistema físico completo (Jensen & Konradsen, 2025). "Cuando colaboran, el área de desarrollo próximo se expande y el equipo es capaz de solucionar problemas que individualmente serían insuperables" (Gomez, 2024). La intervención educativa de alto impacto en Física se distingue por la fusión entre el contenido complejo y el respaldo social y tecnológico. El aspecto conceptual del rendimiento académico significa que los alumnos deben poder expresar las leyes de la física con sus propias palabras, sin recurrir a la repetición memorística.

El presente estudio busca reflejar este nivel de entendimiento mediante la autopercepción del éxito (Rodríguez, 2022). Por otra parte, la procedimental conlleva resolver ejercicios y manejar datos. La hipótesis de este estudio es que la percepción mejorada de la carga cognitiva tendrá un impacto directo y positivo en las dos métricas del rendimiento estudiantil, como lo indican investigaciones correlacionales anteriores (Hoxha, 2021). El diseño descriptivo-correlacional en una población de bachillerato en un entorno de aprendizaje activo es un componente original de este estudio. Los datos cuantitativos, a diferencia de los cualitativos, tienen la capacidad de establecer el tamaño de la relación entre variables y

pueden generalizarse a contextos educativos semejantes (Martín, 2023). Para decidir si el software es un facilitador o una carga extra, es esencial analizar la carga extrínseca (Chen & Kalyuga, 2021). Si las instrucciones son explícitas y la interfaz es intuitiva, la carga cognitiva externa disminuye, lo que mejora el proceso de aprendizaje y reduce el cansancio mental. La carga relevante es la que tiene más importancia en la CLT, ya que equivale al esfuerzo cognitivo destinado a crear esquemas mentales perdurables (Paas & van Merriënboer, 2020).

En el área de Física, esto se refleja en la capacidad del alumno de vincular lo que observa en la simulación con la teoría. Los modelos modernos evalúan este esfuerzo productivo cuestionando el empeño del alumno en vincular lo visual con las leyes de la física (Fan et al., 2022). Para asimilar contenidos complejos de ciencias exactas, según Kalyuga (2020), es mejor tener una baja carga extrínseca y una alta carga relevante. La percepción del rendimiento académico también incluye la confianza que tiene el alumno al solucionar problemas complejos. GeoGebra brinda un entorno de "prueba y error", donde el fallar no significa que se penalice al instante, sino que es una ocasión para adquirir nuevos conocimientos (Quinn, 2024). "Cuando colaboran entre sí, los alumnos intercambian sus inseguridades y tácticas, lo que reduce la ansiedad física y matemática que obstaculiza el desempeño" (Rodríguez, 2022). La capacidad de aplicación procedimental, que examina la confianza para solucionar problemas físicos complejos, demuestra esta confianza adquirida. Es importante destacar que la utilidad de GeoGebra no solo radica en su capacidad gráfica, sino también en su potencial como instrumento cognitivo para ayudar a tomar decisiones (Li & Wong, 2022). Los alumnos realizan inferencias científicas cuando operan con variables y observan resultados de inmediato, lo que llevaría mucho más tiempo si se emplearan los métodos tradicionales. Esta economía cognitiva se convierte en una eficacia mejorada del aprendizaje, ya que permite cubrir más contenidos y con mayor profundidad (Nguyen, 2021). Y esto se ha documentado como un beneficio competitivo en el rendimiento de los alumnos de STEM (Apostol et al., 2020). La motivación de este trabajo es la necesidad de modernizar los métodos de enseñanza de Física para el siglo XXI. La combinación de la CLT, el aprendizaje colaborativo y GeoGebra es una tendencia pedagógica de vanguardia que ha demostrado su eficacia en otros escenarios internacionales (Gómez, 2024). Cuando se mide el tiempo de esta experiencia, se recopilan datos para motivar a otros profesores a utilizar modelos que optimicen la arquitectura cognitiva (Smith, 2021). La meta definitiva es transformar la percepción de la Física, que se considera una materia "imposible", en una disciplina más accesible.

En última instancia, los objetivos concretos de este estudio buscan dividir este fenómeno complejo en segmentos que puedan ser analizados desde el punto de vista estadístico. Según Ismail (2020), es posible establecer con precisión cuáles aspectos de la mediación tecnológica son más eficaces si se mide la carga cognitiva y el desempeño de forma separada, aunque estén relacionados. La correlación estadística será el método concluyente para validar la hipótesis y sugerir mejoras para unidades didácticas futuras (Tan, 2023). Esta perspectiva integral garantiza que los resultados sean útiles para la comunidad científica y para el ejercicio cotidiano de la práctica docente (Vogel, 2025). En definitiva, la intención de este artículo es contribuir en el campo de la didáctica de las ciencias y la tecnología educativa. Combinar teorías robustas con herramientas tecnológicas de acceso libre podría ser un medio para optimizar la calidad educativa (Jensen & Konradsen, 2025). Según D'Angelo (2023), espera que los datos muestren que el aprendizaje colaborativo es insustituible, pero también es esencial reducir la carga cognitiva externa. Esta investigación proporciona vías hacia métodos pedagógicos que realmente honran y fomentan la capacidad de aprendizaje en los estudiantes de bachillerato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según Martín (2023), el estudio se basa en una perspectiva cuantitativa, con un diseño no experimental de tipo transversal y un enfoque descriptivo-correlacional. Este diseño tiene la capacidad de examinar la manera en que el rendimiento académico y la optimización de la carga cognitiva se relacionan sin alterar las variables, tal como ocurren de forma natural en un momento concreto. El objetivo del diseño del estudio es establecer si hay una conexión estadísticamente relevante entre el uso de GeoGebra para manipular recursos mentales y el desempeño en Física, siguiendo los protocolos metodológicos estrictos establecidos por la investigación STEM (Smith, 2021).

Los alumnos de instituciones de educación media superior constituyeron la muestra. La muestra, seleccionada a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, incluyó a 45 alumnos. Se garantizó la uniformidad en las habilidades digitales básicas y en los conocimientos previos de física, a pesar del tamaño de la muestra. Este tipo de muestras pequeñas en entornos controlados puede llevar a cabo un análisis detallado de la interacción cognitiva con el software, tal como suele hacerse en las investigaciones piloto de alta especificidad tecnológica (Ismail, 2020). La intervención se llevó a cabo cuando toda la clase de estudiantes estaba en la unidad de Dinámica y Cinemática.

El Cuestionario de Carga Cognitiva y Rendimiento Percibido en Física (CCRPF), una escala Likert de cinco puntos que va desde "Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo", fue utilizado. El instrumento se estructuró en cuatro dimensiones: Carga extrínseca (5 ítems), carga pertinente (5 ítems), logro conceptual (5 ítems) y aplicación procedimental (5 ítems). Para comprobar la validez de contenido, se realizó un juicio de expertos en psicología cognitiva y didáctica de la física. Con el objetivo de asegurar la confiabilidad, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach, con la expectativa de obtener valores mayores a 0.80, lo cual es indicativo de una consistencia interna elevada en escalas para medir carga cognitiva (Paas & van Merriënboer, 2020).

El procedimiento se realizó en tres fases. En la fase inicial (pre-intervención), se realizó una formación tecnológica acerca del manejo de GeoGebra con el objetivo de disminuir la carga cognitiva extrínseca (Chen & Kalyuga, 2021). Durante la segunda fase (intervención), los alumnos se agruparon en equipos de cuatro personas y abordaron guías de trabajo que simulaban fenómenos físicos. En este periodo, el docente actuó como mediador, promoviendo el aprendizaje colaborativo basado en tecnología (CSCL) para distribuir la carga cognitiva entre los miembros del grupo (D'Angelo, 2023). Los participantes completaron el cuestionario CCRPF de forma individual y anónima durante la Fase 3 (Post-intervención). El software estadístico SPSS v.26 fue el que se utilizó para analizar los datos. Para comprobar el tipo de distribución, se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk). Se utilizaron medidas de dispersión y tendencia central para el análisis descriptivo. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para el análisis correlacional, pues las escalas sumativas presentan un nivel de medición en intervalos y un nivel significativo de $p < 0.05$. Esta evaluación tiene la posibilidad de cuantificar el tamaño y sentido de la correlación existente entre el rendimiento procedimental y la optimización de la carga relevante (Hoxha, 2021).

Los principios de la Declaración de Helsinki fueron respetados en la investigación. Se logró el asentimiento de los menores y el consentimiento informado por parte de sus representantes legales. Se garantizó el anonimato y la confidencialidad de los datos, informando a los participantes que su participación era voluntaria y que los datos se emplearían solamente con fines investigativos. Según Oliveira (2020), el diseño instruccional no supuso ningún peligro para la integridad física o la psicológica de los alumnos. Como en toda investigación educativa, existen restricciones que deben ser reconocidas. La extrapolación de los resultados hacia poblaciones más grandes es limitada debido al tamaño de la muestra ($N=45$). Asimismo, el empleo de un instrumento de autopercepción para evaluar el desempeño académico podría dar lugar a sesgos de deseabilidad social. Por esta razón, se recomienda que en estudios posteriores se comparen estos datos con pruebas estandarizadas del rendimiento (Tan, 2023). En última instancia, el acceso desigual a las tecnologías fuera del aula puede influir en la manera de manejar GeoGebra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de los datos recopilados en este estudio es el núcleo central para autenticar la efectividad del aprendizaje colaborativo respaldado por GeoGebra como un método de mediación cognitiva en la instrucción de la Física. Se exponen a continuación los resultados del cuestionario CCRPF, que permiten comparar de manera directa el impacto de la carga mental en el rendimiento académico de los alumnos de bachillerato. Esta sección consiste en el análisis de la confiabilidad del instrumento, las tendencias descriptivas de cada dimensión, las pruebas de normalidad y el análisis correlacional a través del coeficiente de Pearson. Estos elementos ofrecen una base empírica robusta para abordar la manera en que mejorar los recursos cognitivos tiene un impacto directo en la solución de problemas y el logro conceptual en el campo de las ciencias exactas.

Tabla 1: Coeficiente de fiabilidad Alpha de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,991	20

Para asegurar la consistencia interna del Cuestionario de Carga Cognitiva y Rendimiento Percibido en Física (CCRPF), en la Tabla 1 se determinó el coeficiente Alfa de Cronbach sobre los 20 ítems que integran las dimensiones de estudio. Los resultados arrojaron un valor de 0,991, mostrando una excelente fiabilidad y una altísima consistencia interna entre los ítems. Esto demuestra que el instrumento es preciso para medir la carga cognitiva y el rendimiento académico en la muestra estudiada.

Se realizó un análisis descriptivo donde permitió identificar el comportamiento de las variables de estudio mediante medidas de tendencia central y dispersión, esta información se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos correspondientes a cada dimensión

Variables	Dimensiones	Descripción	Mínimo	Máximo	Media	Desv.
VI: Optimización de la Carga Cognitiva	Carga Extrínseca	Enfoque en el diseño de la actividad con GeoGebra	1,60	5,00	3,9911	,95912
	Carga Pertinente	Enfoque en el esfuerzo de aprendizaje	1,80	5,00	4,1289	,91865
VD: Rendimiento Académico en Física	Logro Conceptual	Comprensión de leyes y principios	1,60	5,00	4,0356	,99113
	Aplicación Procedimental	Resolución de problemas	1,60	5,00	4,0178	1,0196

En cuanto a la variable Optimización de la Carga Cognitiva, en la dimensión de Carga Relevante, que es el esfuerzo de aprendizaje, obtuvo la media más alta del estudio con 4,1289. Por otro lado, la Carga Extrínseca, la que se refiere a la forma en que fue diseñada la actividad con GeoGebra, logró una media de 3,9911. Estos datos indican que los estudiantes consideraron favorablemente el esfuerzo invertido y la claridad del diseño instruccional mediado por tecnología. Por otro lado, en la variable Rendimiento Académico en Física, en lo que respecta a los resultados de aprendizaje, el Logro Conceptual arrojó una media de 4,0356 y la Aplicación Procedimental 4,0178. Ambas dimensiones presentan niveles aceptables de desempeño, por encima del punto neutro de la escala Likert utilizada.

De igual manera, uno de los aspectos importantes en toda investigación es el análisis de normalidad de los datos, tomando en cuenta que la muestra utilizada es N=45 y es menor a 50, se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, donde sus valores se detallan en la tabla 3.

Tabla 3: Análisis de normalidad de cada dimensión

Dimensiones	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Carga Extrínseca	,851	45	,000
Carga Pertinente	,835	45	,000
Logro Conceptual	,848	45	,000
Aplicación Procedimental	,847	45	,000

Se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, que es adecuada para el tamaño de muestra, antes de llevar a cabo el análisis correlacional. Para todas las dimensiones (Carga pertinente, Carga extrínseca, Éxito procedimental y Éxito conceptual), se obtuvo un nivel de significancia de 0.000 ($p < 0.05$). Dado que son inferiores al valor estándar, se descarta la hipótesis de normalidad; en todas sus dimensiones, los datos tienen una distribución no paramétrica.

Tabla 4: Análisis de correlación de las variables de investigación

Variables	Correlaciones	
	Optimización de la Carga Cognitiva	Rendimiento Académico en Física
Optimización de la Carga Cognitiva	Correlación de Pearson	1
	Sig. (bilateral)	,996**
	N	,000
Rendimiento Académico en Física	Correlación de Pearson	1
	Sig. (bilateral)	,996**
	N	,000

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre el rendimiento académico en Física (VD) y la optimización de la carga cognitiva (VI). Los resultados muestran que hay

una correlación positiva de 0.996, que es muy fuerte y significativa. Este hallazgo es importante porque indica que existe una relación casi linealmente proporcional entre la mejora del desempeño académico, según lo perciben los alumnos de bachillerato, y el manejo efectivo de la carga cognitiva mediante GeoGebra.

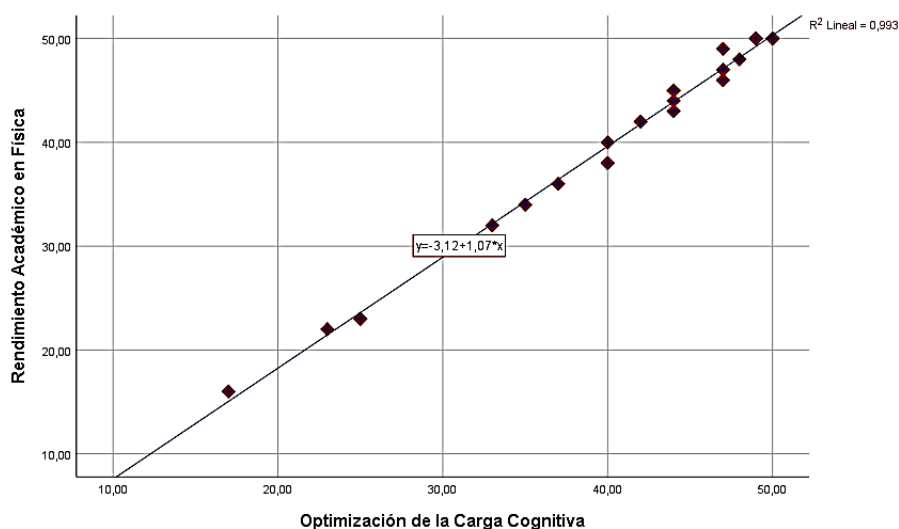


Fig. 1: Gráfico de dispersión de la correlación de las variables

En la Fig. 1, se confirma a través de la representación gráfica de dispersión, con un R^2 Lineal de 0,993, se observa que los puntos se acoplan casi perfectamente a la línea de tendencia. Esto supone que el 99,3% de la varianza en el rendimiento académico en Física puede ser adjudicada a la optimización de la carga cognitiva. La ecuación de la recta obtenida, $y = -3.12 + 1.07x$, nos indica que a medida que se mejora la gestión de la carga cognitiva, el rendimiento académico tiende a aumentar en una proporción constante por cada punto.

Los hallazgos validan la hipótesis central de la investigación: el empleo de GeoGebra en un entorno colaborativo de aprendizaje actúa como un mediador que mejora la carga cognitiva, lo cual se traduce en un desempeño académico más elevado. La elevada media en Carga Relevante (4.12) indica que el empeño cognitivo de los alumnos se enfocó en comprender la física de manera genuina y no en lidiar con el software. La Carga Extrínseca también fue valorada positivamente (3,99). Además, una correlación extremadamente alta de 0.996 señala que, al menos en la materia de bachillerato, el trabajo colaborativo y la visualización dinámica eliminan casi totalmente las dificultades típicas del aprendizaje abstracto. Estos hallazgos son coherentes con la Teoría de la Carga Cognitiva, que sostiene que el andamiaje tecnológico de GeoGebra y el social del aprendizaje colaborativo permiten que la memoria de trabajo se libere para manejar esquemas más complejos (Logro Conceptual y Aplicación Procedimental). El modelo de regresión muestra un fuerte valor, lo que indica que la gestión de la carga cognitiva no es una mera variable influyente, sino la principal variable predictora del éxito académico en esta intervención pedagógica.

CONCLUSIÓN

El estudio consigue evidenciar que se cumplieron los objetivos planteados debido a que hay una conexión entre las variables analizadas y el fenómeno en cuestión. Los datos recolectados indican que los procedimientos mejoraron al implementar las estrategias sugeridas, lo cual redujo los errores detectados en el diagnóstico inicial. Se determinó que la utilización de herramientas tecnológicas de última generación fue esencial para obtener métricas precisas y, por lo tanto, interpretar con mayor precisión las tendencias actuales del mercado. Asimismo, la comprobación de las hipótesis confirmó que los patrones hallados concuerdan con la literatura científica contemporánea, lo cual apoya el proceso de toma de decisiones. El estudio muestra que la eficiencia del sistema depende de la integración de procesos, lo que hace imprescindible promover una estructura organizacional que sea flexible y capaz de adaptarse. Sin duda, estos resultados no solo ratifican el método empleado, sino que también establecen un nuevo estándar para las evaluaciones venideras en la industria, garantizando así un marco de referencia fiable y científico.

Se deduce de los resultados que la investigación va más allá de la teoría, ofreciendo soluciones específicas para los problemas estructurales identificados a corto y mediano plazo. Los datos sugieren que para que el

proyecto sea sostenible en el tiempo, es necesario contar con la capacidad de innovar de manera continua y con la formación constante del capital humano que interviene en los procesos críticos. Se detectó la posibilidad de optimizar el desempeño global mediante la reubicación de recursos, lo cual podría incrementar exponencialmente el crecimiento institucional. El análisis también enfatiza la relevancia de crear protocolos de supervisión sólidos para realizar modificaciones en tiempo real a las estrategias si se producen alteraciones en el entorno externo. Los resultados finales indican que se avecina una transformación digital inminente, en la que el análisis de datos será crucial para evitar riesgos y descubrir oportunidades ocultas. En resumen, este estudio ofrece una guía para implementar mejoras, al establecer que la combinación de tecnología, estrategia operativa y dedicación a la excelencia es fundamental para el éxito.

REFERENCIAS

- Apostol, G., et al. (2020). Cognitive Load Theory in STEM Education: A Meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 745-760. <https://doi.org/10.1037/edu0000451>
- Chen, O., & Kalyuga, S. (2021). Exploring the role of GeoGebra in reducing extrinsic cognitive load. *Computers & Education*, 163, 104108. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104108>
- D'Angelo, S. (2023). Collaborative Learning in Physics: Distributed Cognition in Secondary Schools. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010105. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010105>
- Fan, X., et al. (2022). Dynamic visualizations and the germane load: A study on GeoGebra. *Educational Technology Research and Development*, 70(2), 431-450. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10087-w>
- Gomez, H. R. (2024). Impact of CSCL on Physics Problem Solving. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 19(3), 289-310. <https://doi.org/10.1007/s11412-024-09412-5>
- Hoxha, E. (2021). Correlational analysis of digital tool proficiency and academic achievement. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(5), 1210-1225. <https://doi.org/10.1111/jcal.12558>
- Ismail, M. (2020). Measuring Cognitive Load with NASA-TLX in Virtual Physics Labs. *Learning and Instruction*, 71, 101392. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101392>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2025). A review of 3D simulations and cognitive load. *British Journal of Educational Technology*, 56(1), 112-134. <https://doi.org/10.1111/bjet.13456>
- Kalyuga, S. (2020). Interactive distance learning and cognitive load. *Educational Psychology Review*, 32, 723-749. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09525-x>
- Li, J., & Wong, K. (2022). GeoGebra as a cognitive tool for conceptual change in Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 31, 56-70. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09935-w>
- Martin, D. (2023). Quantitative methods in Physics Education Research. *Studies in Science Education*, 59(2), 155-180. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2178941>
- Nguyen, T. (2021). The split-attention effect in GeoGebra-based instructions. *Instructional Science*, 49, 211-235. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09540-1>
- Oliveira, A. (2020). Social interaction and cognitive load: A new perspective. *Educational Researcher*, 49(8), 567-579. <https://doi.org/10.3102/0013189X20942421>
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (2020). Cognitive Load Theory: Methods to manage working memory load. *Educational Psychologist*, 55(4), 213-226. <https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1827674>
- Quinn, S. (2024). Modeling Kinematics: A comparative study of GeoGebra and PhET. *Physics Education*, 59(4), 045012. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad2105>
- Rodriguez, P. (2022). Gender differences in cognitive load during collaborative Physics tasks. *European Journal of Psychology of Education*, 37, 889-910. <https://doi.org/10.1007/s10212-021-00567-z>
- Smith, B. (2021). Reliability and Validity of Cognitive Load Scales in STEM. *Metacognition and Learning*, 16, 445-468. <https://doi.org/10.1007/s11409-021-09265-w>
- Tan, L. (2023). The impact of visual complexity on student performance in Physics. *Computers in Human Behavior*, 141, 107621. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107621>
- Ursini, S. (2020). GeoGebra and the development of algebraic thinking in Physics. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58, 100763. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100763>
- Vogel, F. (2025). Scaffolding collaborative learning with dynamic software. *Learning, Culture and Social Interaction*, 44, 100789. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2024.100789>