

REVISTA BOLETÍN REDIFE: 14 (8) AGOSTO 2025 ISSN 2256-1536

RECIBIDO EL 15 DE MARZO DE 2025 - ACEPTADO EL 17 DE JUNIO DE 2025

ECOSISTEMAS DIGITALES PARA EL APRENDIZAJE DE LA ELECTROSTÁTICA: EXPERIENCIAS INTERACTIVAS, NIVELES DE EVOLUCIÓN DEL MODELO MENTAL Y ANÁLISIS CON REGRESIÓN LINEAL

DIGITAL ECOSYSTEMS FOR ELECTROSTATIC LEARNING: INTERACTIVE EXPERIENCES, LEVEL OF MENTAL MODEL EVOLUTION AND LINEAR REGRESSION ANALYSIS

Marcela Benítez Mendivelso¹

Universidad San Buenaventura Cali

Resumen

Este artículo presenta parcialmente los resultados de una investigación doctoral que analizó la evolución del modelo mental (MM) hacia el modelo conceptual en el aprendizaje de la física electrostática. El estudio se realizó con cuatro (4) grupos para un total de sesenta y seis (66) estudiantes de educación media y tecnológica de cuatro (4) instituciones educativas en Facatativá y Bogotá. La investigación partió de la necesidad de diseñar ecosistemas digitales de aprendizaje con estructuras ontológicas, experiencias

interactivas y mecanismos de monitoreo continuo que favorezcan la comprensión de conceptos abstractos. Mediante un enfoque interpretativo y un diseño cuasiexperimental con pre y post test para los cuatro (4) grupos, que integró métodos cualitativos y cuantitativos, se implementó un ecosistema donde la pregunta presentada a los estudiantes fue el eje central de navegación, permitiendo adicionalmente registrar datos detallados de interacción. Los resultados sugieren que los estudiantes que interactúan activamente con los recursos del ecosistema digital —incluyendo preguntas orientadoras, experiencias con elementos analógicos y digitales, videos, lecturas y

¹ Universidad San Buenaventura Cali
mbenitezmendivelso@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7928-7539>

retroalimentación a través de foros y chats— modifican progresivamente su estructura cognitiva, aproximándose al modelo conceptual validado por la comunidad científica. Se diseñó, piloteó y validó un instrumento para monitorear la evolución del MM en cinco niveles, bajo la categoría conceptual espacio de competencias para el aprendizaje. El análisis estadístico, basado en regresión lineal múltiple, reveló relaciones significativas entre la evolución del modelo mental y variables como tipo y frecuencia de interacción, cantidad de preguntas respondidas, tiempo de navegación y factores sociodemográficos. Se observó un impacto estadísticamente significativo en los resultados de aprendizaje (tamaño del efecto grande, d de Cohen), aunque la ausencia de un grupo control requiere cautela al atribuir causalidad directa a la intervención. Los hallazgos indican que el modelo propuesto presenta un alto grado de replicabilidad en escenarios de enseñanza de la electrostática y otras áreas del conocimiento científico. Asimismo, la analítica de aprendizaje emergió como herramienta clave para comprender las dinámicas del ecosistema y ajustar sus componentes pedagógicos y tecnológicos. En síntesis, se concibe el aprendizaje como un proceso dinámico vinculado a la evolución de los modelos mentales mediante la acción y la percepción, mediado por la interacción activa con ambientes digitales cuidadosamente diseñados.

Palabras clave: Modelo mental, ecosistema digital de aprendizaje, electrostática, evaluación formativa, espacio de competencias, intervención educativa, diseño cuasiexperimental, analítica de aprendizaje.

Abstract

This article partially presents the results of a doctoral research that analyzed the evolution of the mental model (MM) towards the conceptual model in the learning of electrostatic physics. The study was carried out with four (4)

groups for a total of sixty-six (66) students of secondary and technological education from four (4) educational institutions in Facatativá and Bogotá. The research was based on the need to design digital learning ecosystems with ontological structures, interactive experiences and continuous monitoring mechanisms that favor the understanding of abstract concepts. Through an interpretative approach and a quasi-experimental design with pre- and post-test for the four (4) groups, which integrated qualitative and quantitative methods, an ecosystem was implemented where the question presented to the students was the central axis of navigation, additionally allowing detailed interaction data to be recorded. The results suggest that students who actively interact with the resources of the digital ecosystem—including guiding questions, experiences with analog and digital elements, videos, readings and *feedback* through forums and chats— progressively modify their cognitive structure, approaching the conceptual model validated by the scientific community. An instrument was designed, piloted and validated to monitor the evolution of the MM at five levels, under the conceptual category space of competencies for learning. The statistical analysis, based on multiple linear regression, revealed significant relationships between the evolution of the mental model and variables such as type and frequency of interaction, number of questions answered, browsing time and sociodemographic factors. A statistically significant impact on learning outcomes (large effect size, Cohen's d) was observed, although the absence of a control group requires caution in attributing direct causality to the intervention. The findings indicate that the proposed model has a high degree of replicability in teaching scenarios of electrostatics and other areas of scientific knowledge. Likewise, learning analytics emerged as a key tool to understand the dynamics of the ecosystem and adjust its pedagogical and technological components. In short, learning is conceived as a dynamic

process linked to the evolution of mental models through action and perception, mediated by active interaction with carefully designed digital environments.

Keywords: Mental model, digital learning ecosystem, electrostatics, formative assessment, competency space, educational intervention, quasi-experimental design, learning analytics.

Introducción

La enseñanza y el aprendizaje de la electrostática, un área fundamental para la comprensión de la teoría electromagnética y sus vastas aplicaciones cotidianas, presentan desafíos persistentes en diversos niveles educativos [se recomienda incluir referencias adicionales que evidencien la persistencia de este problema]. Esta investigación abordó dichos desafíos mediante el diseño, implementación y evaluación de un ecosistema digital de aprendizaje. Se define un ecosistema digital de aprendizaje como un entorno complejo, dinámico y adaptativo que integra de manera sinérgica actores (estudiantes, docentes), recursos digitales interactivos (simulaciones, videos, lecturas), herramientas de comunicación (foros, chats) y estrategias pedagógicas específicas, estructurado en torno a una ontología del conocimiento (en este caso, de la electrostática) y centrado en la actividad del estudiante. La filosofía pedagógica subyacente se alinea con el constructivismo, donde el aprendizaje se concibe como un proceso activo de construcción de significado a través de la interacción y la experiencia.

El presente estudio se propuso analizar el impacto de este ecosistema, que combina dispositivos digitales y elementos analógicos, en la evolución del modelo mental hacia el modelo conceptual en física electrostática, específicamente en la explicación de la interacción entre cuerpos electrificados. El principal desafío radicó en aplicar un enfoque ecosistémico en el ámbito educativo,

apoyado en Tecnologías de la Información y Comunicación (Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)), con el fin de observar la dinámica del aprendizaje y proponer categorías metodológicas que permitan monitorear la evolución cognitiva de los estudiantes.

Una revisión de la literatura evidenció que, si bien en Colombia existen esfuerzos por integrar Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la educación, son escasos los ecosistemas digitales con estructuras ontológicas específicas para la electrostática que faciliten el ajuste progresivo del modelo mental hacia un modelo conceptual científicamente validado. En contraste, países como Australia, Alemania, Finlandia, España, Canadá y Estados Unidos, han desarrollado ecosistemas digitales de aprendizaje que sustentan teorías desde una perspectiva ecológica, donde el aprendizaje emerge de la interacción entre los actores en entornos virtuales. A partir de estos hallazgos, y con el objetivo de llenar la brecha identificada, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: ¿En qué medida la interacción con el ecosistema digital de aprendizaje diseñado influye en la evolución de los modelos mentales de los estudiantes sobre electrostática, desde un nivel inicial hacia un modelo conceptual validado científicamente?, ¿Qué relación existe entre las características de la interacción de los estudiantes con el ecosistema digital (tipo y frecuencia de interacción, cantidad de preguntas respondidas, tiempo de navegación) y la evolución de sus modelos mentales en electrostática?

Para responder a estas preguntas, se implementó un diseño cuasiexperimental de enfoque mixto. Los resultados permitieron identificar patrones en la evolución cognitiva y evaluar la influencia de las interacciones y recursos del ecosistema digital. Este trabajo busca contribuir al conocimiento sobre el uso de ecosistemas digitales en la enseñanza de

la física y su impacto en la construcción del conocimiento, ofreciendo recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

Marco teórico

Este marco teórico articula los fundamentos conceptuales de la investigación centrada en la evolución del modelo mental en electrostática como resultado de la interacción con un ecosistema de aprendizaje. Se abordan los modelos mentales y conceptuales, los ecosistemas de aprendizaje, la teoría del espacio de conocimiento, el papel de la experiencia, el aprendizaje significativo, la mediación tecnológica y el pensamiento complejo.

Para comenzar, es fundamental comprender el papel de los modelos mentales y conceptuales. Los modelos mentales son representaciones internas, construidas a partir de percepciones sensoriales, interacciones sociales, cultura y experiencia personal, que permiten interpretar, predecir y actuar sobre el entorno (Johnson-Laird, 1983; Craik, 1943; Llinás, 2003). Son idiosincráticos, dinámicos y sensibles al contexto. En el ámbito educativo, el paso del modelo mental intuitivo hacia un modelo conceptual científico constituye una evidencia de aprendizaje significativo (Greca & Moreira, 2000, 2003). Los modelos conceptuales, por su parte, son estructuras formales que representan el conocimiento aceptado por la comunidad científica. Integran conceptos, relaciones y leyes, y poseen un alto nivel de abstracción y formalismo (Moreira, 1999). La evolución del modelo mental hacia el modelo conceptual implica una reconstrucción cognitiva y epistemológica que requiere intervenciones pedagógicas intencionales. En este contexto, cobra relevancia la noción de ecosistema de aprendizaje.

Un ecosistema de aprendizaje, como se definió previamente, es un entorno complejo, dinámico y adaptativo en el que interactúan actores, dispositivos, recursos y estrategias pedagógicas (Gisbert & Johnson, 2015; Guzmán, 2016). La noción de “ecosistema” enfatiza la interdependencia entre sus componentes y su capacidad de autorregulación. Los ecosistemas digitales integran elementos vivos (docentes, estudiantes, familia) y no vivos (Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), plataformas, contenidos digitales) que median el aprendizaje (Mots & Rodés, 2013). Las tecnologías de la información y comunicación actúan como mediadores culturales que amplifican las posibilidades de acción y cognición (Vygotsky, 1978; Salinas, 2012), y su integración significativa transforma los modos de enseñar y aprender. Es importante desde la perspectiva ecosistémica integrar, la teoría del espacio de conocimiento (Doignon & Falmagne, 1985) que permite modelar la estructura del conocimiento en términos de conceptos y relaciones de dependencia entre ellos. Esta teoría formaliza los estados de conocimiento posibles de un estudiante y permite diseñar secuencias instruccionales personalizadas (Falmagne et al., 2013).

El espacio de competencias de aprendizaje se deriva de esta teoría y articula la progresión del conocimiento a partir de la adquisición de habilidades y comprensiones necesarias para resolver problemas complejos. En el área de electrostática, estos espacios se configuran alrededor de conceptos fundamentales como carga, campo eléctrico, potencial y capacitancia. La organización jerarquizada de estos conceptos y sus relaciones de dependencia, organizada según la teoría del espacio de conocimiento, permite diseñar secuencias instruccionales que orienten la evolución del modelo mental hacia el conceptual mediante experiencias significativas y mediación tecnológica.

Asimismo, el aprendizaje significativo (Ausubel, 1983) ocurre cuando la nueva información se relaciona de forma sustantiva y no arbitraria con los conocimientos previos del estudiante. Este proceso implica la reorganización de estructuras cognitivas y favorece la comprensión profunda. La evolución del modelo mental hacia un modelo conceptual refleja un aprendizaje significativo de tipo conceptual, donde la mediación pedagógica, el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y la calidad de las experiencias propuestas son factores determinantes.

Por otro lado, es pertinente considerar el papel de los artefactos tecnológicos desde el enfoque de los *affordances* y la mediación instrumental. El concepto de “affordance” (Gibson, 1977) se refiere a las posibilidades de acción que un entorno o artefacto ofrece a un individuo. En educación, los *affordances* de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) permiten ciertas interacciones que pueden favorecer la representación, manipulación y comprensión de los conceptos (Norman, 1999) a partir de la simulación y emulación de actividades complejas.

Desde la teoría de la mediación instrumental (Rabardel, 1995), los artefactos digitales pueden transformarse en instrumentos cognitivos en la medida en que se apropien de forma funcional y simbólica por parte del estudiante. De igual forma, la experiencia ocupa un lugar central como base del aprendizaje.

La experiencia es el punto de encuentro entre la percepción sensorial, la acción y la reflexión (Dewey, 1938). Es a través de la experiencia que el individuo construye significados y transforma su modelo mental. Las experiencias sensoriales, manipulativas, colaborativas y digitales constituyen el andamiaje para el aprendizaje (Maldonado, 2019; Ortiz, 2015). La calidad, diversidad y significatividad de las experiencias propuestas en el ecosistema

de aprendizaje determinan el potencial de transformación cognitiva. Estas experiencias deben ser interactivas, pertinentes, desafiantes, contextualizadas y mediadas pedagógicamente.

En esta misma línea, la enseñanza de la electrostática exige una mirada desde el pensamiento complejo (Morin, 1990), que reconozca la multidimensionalidad del conocimiento científico y la necesidad de integrar diversas disciplinas, lenguajes y formas de representación. El pensamiento complejo permite abordar la articulación entre modelos mentales, representaciones gráficas, lenguaje matemático y experiencia fenomenológica. La integración de visualizaciones, simulaciones y laboratorios virtuales favorece una comprensión no lineal, sistémica y contextualizada de los fenómenos electrostáticos. Finalmente, la construcción de un modelo conceptual en electrostática requiere integrar conceptos ontológicos como materia, carga eléctrica, formas de electrización, interacciones (fuerza, campo, potencial), y propiedades como la permitividad, la energía potencial y la capacitancia.

Metodología

Esta investigación adoptó un diseño cuasiexperimental de tipo pre-test/post-test con cuatro (4) grupos simultáneos que interactuaban en el ecosistema de aprendizaje, integrando un enfoque metodológico mixto con técnicas cuantitativas y cualitativas para una comprensión integral del fenómeno. El diseño cuasiexperimental se seleccionó debido a que los grupos de estudio correspondían a colectivos ya conformados en las instituciones educativas, sin asignación aleatoria.

Participantes: La población objetivo estuvo conformada por estudiantes de educación media y tecnológica pertenecientes a cuatro (4) instituciones educativas ubicadas en las ciudades de Facatativá y Bogotá, Colombia. La muestra final estuvo compuesta por 66

estudiantes distribuidos en cuatro (4) grupos. La selección se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad y la disposición de las instituciones para participar.

Intervención: Se diseñó e implementó un ecosistema digital de aprendizaje fundamentado en la teoría del espacio de conocimiento, el soporte del espacio de competencias para el aprendizaje y los estados de conocimiento que puede alcanzar un estudiante. Este ecosistema se estructuró en torno a preguntas problematizadoras como ejes de navegación y ofreció una variedad de recursos y actividades interconectadas:

- Preguntas orientadoras y evaluativas: Se formularon preguntas clave para guiar la exploración de los conceptos de electrostática. Cada pregunta ofrecía cinco opciones de respuesta diseñadas para valorar el nivel del modelo mental del estudiante, desde inicial hasta conceptual.
- Experiencias interactivas analógicas y digitales: Se integraron experimentos físicos realizables con materiales de bajo costo (en casa o aula) con simulaciones interactivas que permitían la manipulación de variables y la visualización de fenómenos abstractos.
- Recursos multimedia y textuales: Se proporcionaron materiales audiovisuales (videos explicativos, demostraciones) y textos complementarios (lecturas, resúmenes conceptuales) elaborados para abordar los conceptos clave asociados a cada pregunta.
- Comunicación y colaboración: Se habilitaron foros de discusión y chats para la interacción entre estudiantes y

con el docente, fomentando el debate y la resolución colaborativa de dudas.

- Retroalimentación adaptativa: Se diseñó un sistema de información de retorno (*feedback*) inmediato y adaptativo para cada estudiante, ajustado a la respuesta proporcionada a las preguntas evaluativas, orientando su proceso de aprendizaje.

La intervención tuvo una duración de ocho meses, desde el inicio del prototipo, el pilotaje, validación e implementación del mismo, con una dedicación aproximada de 32 horas por estudiante distribuidas en un bimestre con cuatro horas semanales. Se procuró mantener la fidelidad de la implementación mediante guías para docentes, sesiones de capacitación, el descargue de tableros de control para informar a los docentes y el monitoreo del uso de la plataforma.

Instrumentos y Medidas

Para monitorear la evolución del modelo mental de los estudiantes, se diseñó, piloteó y validó un instrumento específico. Este instrumento, basado en la categoría conceptual “espacio de competencias para el aprendizaje”, permitió clasificar el nivel de comprensión de los estudiantes en cinco etapas progresivas (desde un modelo inicial o ingenuo hasta un modelo conceptual científico). La validez de contenido del instrumento se determinó mediante juicio de expertos, mientras que la validez de constructo se evaluó a través de un análisis factorial exploratorio y confirmatorio. La confiabilidad se estimó utilizando el coeficiente alfa de Cronbach, obteniendo valores superiores a 0.80, lo que indica una alta consistencia interna. El instrumento genera una puntuación que refleja el nivel de aproximación al modelo conceptual.

La interacción de los estudiantes con el ecosistema se registró mediante datos de uso

de la plataforma (analítica de aprendizaje), incluyendo: tipo de interacción (ej: visualización de videos, participación en foros, realización de simulaciones, interacción y respuestas en videos h5p, número de visualizaciones), frecuencia de interacción, cantidad y calidad de preguntas respondidas (evaluadas según su cercanía al modelo conceptual), y tiempo de navegación en diferentes secciones del ecosistema. Estos datos objetivos se utilizaron como variables predictoras en el análisis de regresión.

Procedimiento y Consideraciones Éticas

Se administró el instrumento de modelos mentales como pre-test al inicio de la intervención y como post-test al finalizarla y el de caracterización poblacional sociodemográfica. Durante la intervención, los estudiantes interactuaron con el ecosistema digital según las pautas establecidas. Se tomaron todas las consideraciones éticas pertinentes, incluyendo la obtención del consentimiento informado de los participantes (y/o sus tutores legales) y el aseguramiento del anonimato y la confidencialidad de los datos recolectados.

Análisis de Datos

Se emplearon tanto técnicas cuantitativas como cualitativas. El análisis cuantitativo incluyó estadística descriptiva para caracterizar a los participantes y sus interacciones con el ecosistema. Para evaluar la evolución del modelo mental (pre-test vs. post-test), se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas, previa comprobación de sus supuestos. Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para explorar la relación entre la evolución del modelo mental y las variables de interacción con el ecosistema y factores sociodemográficos. Se verificaron los supuestos de la regresión lineal.

El análisis cualitativo se centró en la interpretación de las respuestas de los estudiantes a las

preguntas abiertas realizadas a través de una entrevista semiestructurada y en la observación de sus interacciones en los foros y chats. Se utilizó el análisis de contenido para identificar patrones y temas emergentes, complementando los hallazgos cuantitativos. El software Excel y R se utilizó para el análisis estadístico, mientras que el software NVivo se empleó para el análisis de los datos cualitativos.

Limitaciones del Diseño Metodológico

Es fundamental reconocer las limitaciones inherentes al diseño cuasiexperimental por la cantidad de la muestra, si bien es cierto existían cuatro (4) grupos de diferentes instituciones educativas, no se planteó la existencia del grupo control, por esta razón esta ausencia impide atribuir con certeza los cambios observados en los modelos mentales exclusivamente a la intervención con el ecosistema digital. Factores como la maduración de los estudiantes, eventos externos ocurridos durante el periodo de estudio, o el efecto del propio pre-test sobre el post-test (efecto de prueba) podrían haber influido en los resultados. Estas amenazas a la validez interna se discutirán en la sección correspondiente. Adicionalmente, el muestreo no probabilístico por conveniencia limita la generalización de los hallazgos a otras poblaciones o contextos.

Resultados

Los resultados de esta investigación, estructurados en dos fases, proporcionan una visión detallada del impacto del ecosistema digital de aprendizaje en la electrostática.

Análisis Cuantitativo: El análisis cuantitativo de los datos de interacción de los estudiantes con el ecosistema digital reveló:

- **Mejora en el desempeño:** Se observó una mejora estadísticamente significativa en la comprensión de la electrostática, medida por la evolución de los modelos mentales desde el pre-

test al post-test. El grupo experimental mostró una puntuación promedio en el post-test significativamente mayor que en el pre-test (Prueba t: (valor $t = 6.12$, $gl = 65$, $p < 0.001$), $p < 0.05$). El tamaño del efecto de esta mejora fue grande (d de Cohen = 0.82), lo que sugiere un impacto sustancial del ecosistema digital en el aprendizaje, dentro del contexto de este grupo.

- **Predictores de la evolución del modelo mental:** El análisis de regresión lineal múltiple identificó que la cantidad y calidad de preguntas respondidas, el tiempo de navegación activa, la frecuencia de participación en foros y chats, y la interacción con la información de retorno proporcionada fueron predictores significativos de la mejora en la comprensión de la electrostática (evolución del modelo mental).
- **Influencia de variables sociodemográficas:** En el modelo de regresión, no se encontraron relaciones significativas entre las variables sociodemográficas analizadas (género y nivel socioeconómico) y la evolución del modelo mental en electrostática, lo que podría sugerir que el ecosistema digital tiene potencial para ser efectivo para estudiantes de diversos orígenes, aunque este hallazgo requiere mayor investigación.

Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las respuestas de los estudiantes y sus interacciones en el ecosistema digital evidenció:

- **Construcción del conocimiento:** La participación activa en foros y chats, caracterizada por la argumentación y el intercambio de ideas, se asoció con una

mayor capacidad para explicar y aplicar los conceptos de electrostática en las respuestas abiertas y en la mejora de los modelos mentales. Esto resalta el papel de la interacción social y el debate en la construcción del conocimiento.

- **Efecto de las simulaciones y experiencias interactivas:** Las simulaciones y experimentos virtuales, así como las actividades prácticas con elementos analógicos, facilitaron la visualización de los fenómenos electrostáticos y la construcción de modelos mentales más precisos y cercanos al modelo científico. Los estudiantes manifestaron que estas herramientas les permitieron “ver” y “manipular” conceptos abstractos.
- **Personalización y retroalimentación:** El ecosistema digital, a través de la retroalimentación adaptativa y la posibilidad de navegar los recursos a diferentes ritmos, proporcionó un entorno de aprendizaje percibido como personalizado. Esto permitió a los estudiantes enfocarse en sus áreas de dificultad y recibir orientación específica, lo que favoreció una comprensión más sólida de la electrostática.

Discusión

Los resultados de este estudio sugieren que la implementación de un ecosistema digital de aprendizaje, como el diseñado para la electrostática, se asocia positivamente con la evolución de los modelos mentales de los estudiantes hacia el modelo conceptual validado científicamente.

Efectividad del Ecosistema y Factores Clave

La mejora estadísticamente significativa y con un tamaño del efecto considerable en la comprensión de la electrostática en el grupo estudiado (respuesta a la Pregunta de

Investigación 1), si bien debe interpretarse con cautela debido a las limitaciones del diseño, es un indicio prometedor de la potencial efectividad del ecosistema digital. Este hallazgo concuerda con investigaciones previas sobre el potencial de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y los entornos interactivos en la enseñanza de la física (Greca & Moreira, 2003; Maldonado, 2019). La participación activa, la interacción prolongada y significativa con los diversos recursos (preguntas, simulaciones, foros), y la calidad de las contribuciones se identificaron como elementos asociados a una mayor evolución cognitiva (respuesta a la Pregunta de Investigación 2), lo que respalda las teorías del aprendizaje constructivista y el aprendizaje significativo (Ausubel, 1983). El análisis de regresión subraya la importancia no solo de la cantidad de interacción, sino de su calidad y del compromiso con actividades que demandan elaboración cognitiva.

Implicaciones Teóricas y Prácticas

Teóricamente, los hallazgos refuerzan la idea de que los modelos mentales son dinámicos y pueden evolucionar mediante intervenciones pedagógicas que promuevan la experiencia activa, la reflexión y la interacción social (Johnson-Laird, 1983). El ecosistema digital parece haber proporcionado un andamiaje efectivo para este proceso. Prácticamente, el estudio ofrece un modelo de ecosistema digital que podría ser adaptado y replicado para la enseñanza de otros temas complejos en ciencias. La integración de analíticas de aprendizaje para monitorear la interacción y proveer retroalimentación emerge como una estrategia valiosa.

Limitaciones del Estudio y Direcciones Futuras

Es crucial reiterar las limitaciones metodológicas. El diseño cuasiexperimental de un solo grupo no permite establecer

relaciones causales definitivas entre el uso del ecosistema y la evolución de los modelos mentales. Factores externos o de maduración no controlados podrían haber contribuido a los cambios observados. Futuras investigaciones deberían emplear diseños experimentales o cuasiexperimentales con grupos de control para validar estos hallazgos con mayor robustez. Asimismo, el estudio se realizó en un contexto específico (cuatro instituciones en Colombia), lo que limita la generalización de los resultados; sería beneficioso replicar el estudio en contextos educativos y culturales diversos. La operacionalización de la “interacción” a través de datos de la plataforma, aunque objetiva, podría complementarse en futuros estudios con medidas de la calidad percibida de la interacción o del compromiso cognitivo del estudiante.

La ausencia de influencia significativa de las variables sociodemográficas en la evolución del modelo mental es un hallazgo interesante que sugiere un potencial de equidad del ecosistema digital. Sin embargo, este aspecto requiere una investigación más profunda y con muestras más amplias para ser confirmado. Se reconoce también la importancia del diseño pedagógico cuidadoso, la facilitación efectiva por parte del docente y la adecuada integración curricular para el éxito de la implementación de estos entornos digitales.

Conclusiones

Esta investigación demuestra que los ecosistemas digitales de aprendizaje, como el implementado para la electrostática, constituyen una aproximación prometedora para abordar los problemas estructurales en la enseñanza de conceptos abstractos en física. Los resultados sugieren que la interacción sistemática de los estudiantes con los dispositivos y recursos del ecosistema digital se asocia con una evolución progresiva y significativa de sus modelos mentales hacia modelos conceptuales más sofisticados y ajustados al conocimiento

científico (Benítez, 2023). Esto refuerza la concepción del aprendizaje como un proceso activo y dinámico, en el que la experiencia práctica y la reflexión crítica, mediadas por interacciones significativas, juegan un papel fundamental para fortalecer la construcción del conocimiento.

Se destaca que el modelo desarrollado en esta investigación posee un alto potencial de replicabilidad y escalabilidad, dado que está basado en principios generales del aprendizaje significativo y en la estructura ontológica del conocimiento científico, lo que permite su extensión a otras áreas del conocimiento sistemático dentro de las ciencias naturales y posiblemente más allá (Benítez, 2023). La integración de diferentes elementos pedagógicos en el ecosistema —como preguntas formativas, estimulación positiva, experiencias tanto analógicas como digitales, videos explicativos, lecturas complementarias y canales de retroalimentación continua mediante chat o foros— contribuye a generar un entorno de aprendizaje rico y diversificado que parece favorecer la internalización de conceptos complejos.

Además, el análisis empírico sugiere que la evolución de los modelos mentales está estrechamente vinculada a las acciones realizadas por los estudiantes y a la percepción que construyen a partir de sus interacciones con el ecosistema. Esto implica que el aprendizaje no es un proceso pasivo, sino que se configura a través de la interacción constante con el entorno y con otros actores, en un ciclo de retroalimentación continua que facilita la transformación conceptual (Benítez, 2023). No obstante, se reitera la necesidad de interpretar estos hallazgos con la cautela que impone el diseño metodológico empleado.

Recomendaciones y Futuras Investigaciones

Considerando los hallazgos obtenidos y las limitaciones identificadas, se recomienda:

- Profundizar en la investigación con diseños más robustos: Realizar estudios con diseños experimentales o cuasiexperimentales que incluyan grupos de control para establecer con mayor certeza la causalidad entre la intervención y los resultados de aprendizaje.
- Optimizar con analítica de aprendizaje: Continuar explorando la aplicación de técnicas de analítica de aprendizaje para optimizar la retroalimentación en tiempo real y personalizar aún más las experiencias educativas dentro del ecosistema digital. La explotación de datos generados por las interacciones estudiantiles permitirá identificar patrones de comportamiento, ajustar los dispositivos y recursos, y mejorar la eficacia de la mediación tecnológica (Benítez, 2023).
- Calidad de preguntas y retroalimentación: Dado que se evidenció que un mayor número y calidad de preguntas formativas respondidas correlaciona positivamente con la aproximación al modelo conceptual, resulta crucial en futuros desarrollos de ecosistemas digitales poner especial énfasis en la calidad de la formulación de los enunciados y en las opciones de respuesta. También es necesario diseñar sistemas de retroalimentación adaptativa que respondan de forma precisa a las distintas respuestas posibles, favoreciendo así la corrección de errores conceptuales y el fortalecimiento del aprendizaje (Benítez, 2023).

- Explorar en poblaciones y contextos diversos: Ampliar la investigación para explorar el impacto del ecosistema en poblaciones diversas y en otros contextos disciplinarios, con el fin de validar la robustez y aplicabilidad del modelo en diferentes escenarios educativos. El estudio de variables contextuales adicionales, como factores socioculturales y económicos, permitirá comprender mejor cómo influyen en la evolución de los modelos mentales y en la efectividad de los ecosistemas de aprendizaje digitales.
- Formación docente e integración curricular: Investigar la formación docente y las estrategias para integrar de forma efectiva estos ecosistemas en las prácticas pedagógicas cotidianas, dado que el éxito del modelo depende no solo de la tecnología y los recursos, sino asimismo del acompañamiento pedagógico y del rol activo del docente como mediador del aprendizaje.

En conclusión, los ecosistemas digitales de aprendizaje tienen el potencial de transformar la enseñanza y el aprendizaje de la física y otras disciplinas. Sin embargo, su eficacia depende de un diseño pedagógico cuidadoso, una implementación reflexiva, una evaluación continua y rigurosa. Al aprovechar el poder de la tecnología y alinearla con los principios del aprendizaje efectivo, podemos crear entornos de aprendizaje que sean más atractivos, efectivos y equitativos para todos los estudiantes.

Agradecimientos: El resultado de esta investigación reconoce a los siguientes actores: estudiantes Colegios Misael Pastrana Borrero y Antonio José Uribe -Bogotá, Escuela de comunicaciones del Ejército Nacional-Facatativá, Escuela de formación KSTCOLOMBIA y en especial a los docentes: Luis Facundo Maldonado Granados, Adriana

Benítez Cubaque, Diego Andrés Benítez Duarte, Catalina Caicedo Vásquez, Ruth Melina Benítez, Diana Cristina Benítez, Domingo Padilla, por su apoyo, colaboración en el diseño e implementación del prototipo de ecosistema.

Referencias

- Ausubel, D. P. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Benítez, M. (2023). *Evolución del modelo mental en electrostática como resultado de la interacción con un ecosistema de aprendizaje*. .
- Craik, K. J. W. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge University Press.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Macmillan.
- Doignon, J. P., & Falmagne, J. C. (1985). Spaces for the assessment of knowledge. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23(2), 175–196. ([https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(85\)80031-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(85)80031-6))
- Falmagne, J. C., Cosyn, E., Doignon, J. P., & Thiéry, N. (2013). *Knowledge spaces: Applications in education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35329-2>
- Gibson, J. J. (1977). The theory of *affordances*. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67–82). Lawrence Erlbaum.
- Gisbert, M., & Johnson, M. (2015). La competencia digital de los futuros docentes: una perspectiva desde las universidades catalanas. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 83(29.3), 41–58.

- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, 20(1), 1–14.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models and modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/095006900289976>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2003). El papel de los modelos mentales y los modelos conceptuales en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), 234–256.
- Guzmán, A. (2016). Ecosistemas de aprendizaje mediados por Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC): caracterización y desarrollo. *Educación y Educadores*, 19(1), 11–27.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.
- Llinás, R. (2003). *El cerebro y el mito del yo*. Fondo de Cultura Económica.
- Maldonado, G. (2019). Diseño de experiencias de aprendizaje significativo con mediación tecnológica. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 13(2), 59–72.
- Moreira, M. A. (1999). *Teoría del aprendizaje significativo: Un enfoque cognoscitivo*. Santillana.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Motz, R., & Rodés, V. (2013). Ecosistemas de aprendizaje en red. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 10(2), 18–32.
- Norman, D. A. (1999). Affordance, conventions, and design. *Interactions*, 6(3), 38–43. <https://doi.org/10.1145/301153.301168>
- Ortiz, M. (2015). Experiencia educativa: práctica docente y saber pedagógico. *Revista Colombiana de Educación*, (68), 227–244. <https://doi.org/10.17227/01203916.68rce227.244>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Salinas, J. (2012). Enseñanza flexible, aprendizaje abierto: hacia un nuevo modelo de educación en la sociedad digital. *Educar*, 48(1), 91–113. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.10>
- Sandoval, M. (2011). Modelos mentales y aprendizaje de la física. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 417–432.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.