



V. 11 N.º 2 JULIO-DICIEMBRE 2025/ Revista Científica Multidisciplinaria /
ISSN: 2542-3037 <https://revistapt.edublogs.org/>



DETECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VACÍOS COGNITIVOS EN MATEMÁTICA UNIVERSITARIA MEDIANTE UN INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE ERRORES: UN ESTUDIO EN LA UNELLEZ

Jesús Armin Olivar Belandria ^{1,2}

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ) VPDS

²(itcd.upel@gmail.com), (<https://orcid.org/0009-0004-8466-9138>)

Resumen

El avance de la Inteligencia Artificial (IA) y la Minería de Datos Educativos (EDM) ofrece oportunidades inéditas para abordar los vacíos cognitivos persistentes en la matemática universitaria. Esta investigación doctoral en desarrollo propone un Modelo de Agente Tutor Inteligente (ATI) basado en EDM, destinado a intervenciones personalizadas en la UNELLEZ, específicamente en el VPDS-Programa de Ciencias Básicas y Aplicadas. Su objetivo es describir la construcción, validación y caracterización inicial de estos vacíos mediante un instrumento de análisis de errores. Metodológicamente, se adoptó un enfoque cuantitativo no experimental-descriptivo. El instrumento, una lista de verificación de errores, se diseñó a partir de un análisis inductivo de evaluaciones de matemática y se validó en mesas de trabajo con docentes, garantizando validez de contenido y consistencia inter-evaluador. Los resultados incluyen una taxonomía de errores con seis categorías estandarizadas; la caracterización preliminar reveló alta prevalencia de errores algebraicos y en manipulación simbólica (déficits estructurales heredados), junto con la criticidad de fallos en comprensión conceptual (dificultades en abstracción). Así, el instrumento proporciona una observación rigurosa y cuantificable del error, esencial para el modelado empírico y adaptativo del estudiante en el ATI.

Palabras clave

Agente tutor inteligente (ATI), análisis de errores, inteligencia artificial (IA), matemática universitaria, minería de datos educacional (EDM), vacíos cognitivo

Recibido: 2025-09-13 /Revisado: 2025-10-29/ Aceptado: 2025-11-27/
Publicado: 2025-12-28 Páginas 114-134



DETECTION AND CHARACTERIZATION OF COGNITIVE GAPS IN UNIVERSITY MATHEMATICS USING AN ERROR ANALYSIS INSTRUMENT: A STUDY AT UNELLEZ

Jesús Armin Olivar Belandria ^{1,2}

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ) VPDS

²(itcd.upel@gmail.com), (<https://orcid.org/0009-0004-8466-9138>)

Abstract

The advancement of Artificial Intelligence (AI) and Educational Data Mining (EDM) offers unprecedented opportunities to address persistent cognitive gaps in university mathematics. This ongoing doctoral research proposes an Intelligent Tutor Agent (ITA) model based on EDM, intended for personalized interventions at UNELLEZ, specifically in the VPDS-Basic and Applied Sciences Program. Its objective is to describe the construction, validation, and initial characterization of these gaps using an error analysis instrument. Methodologically, a non-experimental, descriptive, quantitative approach was adopted. The instrument, an error checklist, was designed based on an inductive analysis of mathematics assessments and validated in workshops with faculty, ensuring content validity and inter-rater reliability. The results include an error taxonomy with six standardized categories; The preliminary characterization revealed a high prevalence of algebraic and symbolic manipulation errors (inherited structural deficits), along with critical failures in conceptual understanding (difficulties in abstraction). Thus, the instrument provides a rigorous and quantifiable observation of error, essential for the empirical and adaptive modeling of the student in the ATI.

Keywords

Intelligent Tutor Agent (ITA), error analysis, artificial intelligence (AI), university mathematics, educational data mining (EDM), cognitive gaps.

Received: 2025-09-13 / Revised: 2025-10-29/ Accepted: 2025-11-27/
Published: 2025-12-28 Page 114-134



Introducción

Partiendo del contexto global y la promesa de la IA, la era contemporánea se define por el avance exponencial de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), con la Inteligencia Artificial (IA) emergiendo como su fuerza más disruptiva en diversos sectores, incluida la educación superior. En este contexto, los Agentes Tutores Inteligentes (ATI) se presentan como sistemas pioneros (VanLehn, 2011), capaces de emular la tutoría humana, personalizar el contenido y la retroalimentación, y transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje (Varela, 2023).

Para que estos agentes alcancen su máximo potencial, la Minería de Datos Educativo (EDM) se vuelve indispensable (Romero y Ventura, 2007), dotándolos de la capacidad de diagnosticar y comprender el aprendizaje en tiempo real. Mediante el análisis sistemático de grandes volúmenes de datos, la EDM permite identificar patrones de error y vacíos cognitivos de manera precisa y objetiva (Baker y Yacef, 2009). De este modo, la data se convierte en una acción pedagógica efectiva, orientada a corregir las deficiencias conceptuales justo cuando se manifiestan (Acosta et al., 2018; López-Meneses et al., 2025).

A pesar de la evolución tecnológica, la Matemática Universitaria persiste como un filtro en la formación de profesionales, especialmente en carreras de Ciencias Básicas y Aplicadas como las Ingenierías ofrecidas en la UNELLEZ-VPDS específicamente en el Programa Ciencias Básicas y Aplicadas (Informática, Civil, Petróleo, Arquitectura, Meteorología). La dificultad no solo se refleja en las altas tasas de reprobación y abandono, sino en la persistencia de vacíos cognitivos que impiden la aplicación, y transferencia del conocimiento matemático a la disciplina profesional.

En este sentido, los enfoques pedagógicos tradicionales a menudo fracasan en identificar y abordar eficazmente estos vacíos a gran escala, siendo la detección generalmente tardía y reactiva. La clave para una intervención proactiva (propósito central un sistema ATI) caracterización rigurosa de la naturaleza de los errores cometidos por el estudiante.



El análisis preliminar de las evaluaciones de matemática en la UNELLEZ-VPDS de estudiantes del Programa Ciencias Básicas y Aplicadas reveló que los vacíos son estructurales y se agrupan en categorías recurrentes que requieren una clasificación sistemática para su posterior modelado algorítmico. Entre los hallazgos más críticos se incluyen:

1. Errores en operaciones algebraicas: Fallas en las bases conceptuales, como la ley de signos, operaciones con fracciones o procesos de factorización.
2. Errores en manipulación simbólica: Dificultades al despejar variables o simplificar expresiones, reflejando una incomprensión de las reglas de equivalencia matemática.
3. Errores en comprensión conceptual: Falta de entendimiento del significado profundo de los conceptos fundamentales (e.g., el límite, la derivada o la integral), lo que trasciende el error de procedimiento.
4. Errores en procedimientos y aplicación de fórmulas: Secuencia incorrecta de pasos algorítmicos o aplicación inadecuada de fórmulas.

Ante esta complejidad, el diseño de herramientas estandarizadas se convierte en un imperativo metodológico. Por consiguiente, se desarrolló un instrumento específico de Lista de Verificación de Errores (Tabla 1) que permite a los docentes identificar, cuantificar de manera objetiva y consistente los patrones de error.

En esta perspectiva, el trabajo se desprende de la investigación doctoral en desarrollo, cuyo objetivo general es desarrollar un Modelo de Agente Tutor Inteligente (ATI) basado en EDM para la UNELLEZ-VPDS-Programa Ciencias Básicas y Aplicadas. Donde, el primer paso y eje central de dicha tesis es el diagnóstico empírico, que sienta las bases para el módulo de intervención del ATI.

De esta forma, el propósito de este artículo es: Describir el desarrollo y la estructura del Instrumento de Análisis de Errores, y presentar la



caracterización inicial de los vacíos cognitivos y patrones de error recurrentes detectados en la matemática universitaria en la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias Básicas y Aplicadas, validando el instrumento como una herramienta eficaz para el diagnóstico en el contexto de la Minería de Datos Educativa.

Ahora bien, es importante indicar que la investigación se justifica al capitalizar el potencial de la IA para abordar una problemática crítica en la educación: la persistencia de vacíos cognitivos que actúan como un filtro en la formación de capital humano científico-tecnológico. Además, se alinea Teórica-Epistemológica en la consolidación de Agentes Tutores Inteligentes (ATI) al proponer un modelo que integra explícitamente la Minería de Datos Educativa (EDM) para la detección y caracterización de vacíos cognitivos. Este enfoque busca generar un marco conceptual que refine la comprensión de cómo la IA puede personalizar la intervención pedagógica, enriqueciendo la base teórica existente sobre sistemas de aprendizaje adaptativo y EDM (Baker y Yacef, 2009; Romero y Ventura, 2007).

Continuando, se justifica en la alineación Axiológica y Ontológica del modelo de ATI promueve valores como la equidad y la inclusión educativa, al ofrecer una tutoría adaptativa y proactiva que atiende la diversidad de ritmos de aprendizaje de manera individualizada (UNESCO, 2022; Jobin, Ilenca y Vayena, 2019). Donde, ontológicamente, redefine la naturaleza de la intervención tutorial mediante IA como un proceso dinámico contextualizado, explorando la relación entre el estudiante, el tutor artificial (Floridi, 2019).

Así mismo, se inscribe de manera pertinente dentro de las líneas de investigación del Doctorado en Tecnología de la Información y Comunicación de la UNELLEZ (UNELLEZ, 2020). Donde, el proyecto se articula primordialmente con la Línea de Investigación: Minería de la Información, a través del enfoque de la EDM, y de forma complementaria con la Sublínea: Inteligencia Artificial dentro de Tecnologías Especiales.



Cuyo engranaje es vital para el cumplimiento de las políticas de postgrado y la generación de conocimiento con impacto institucional.

Ahora bien, el artículo se estructura iniciando con fundamentos teóricos, abarcando los fundamentos del análisis de errores, la relevancia del instrumento en la EDM, entre otros temas teóricos importantes para la investigación en curso. Luego, se presenta los materiales y métodos, donde se detalla el paradigma, la metodología de diseño, instrumento. Continuando, con los resultados de la aplicación del instrumento inicial y la discusión de los vacíos cognitivos. Finalmente, se presentan las conclusiones y las implicaciones de este diagnóstico para el desarrollo de sistemas inteligentes en la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias Básicas y Aplicadas.

Fundamentos teóricos

Agentes Tutores Inteligentes (ATI) y Minería de Datos Educativo (EDM)

El núcleo de la investigación se inscribe en el ámbito de los Agentes Tutores Inteligentes (ATI), sistemas que capitalizan el potencial de la Inteligencia Artificial (IA) para ofrecer una intervención pedagógica que emula, en muchos casos supera, la tutoría humana en términos de escalabilidad y adaptabilidad (VanLehn, 2011). Los ATI representan una aplicación avanzada de las TIC en educación, diseñados para interactuar de manera autónoma, reactiva y proactiva con el estudiante, simulando el diálogo socrático de un tutor experto (Russell y Norvig, 2021). Su arquitectura se fundamenta en la integración sinérgica de cuatro modelos: el Dominio (conocimiento experto matemático), el estudiante (representación dinámica del aprendiz), la tutoría (estrategias pedagógicas) y la Interfaz, cuya coordinación permite una personalización genuina del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En este punto, la eficacia de cualquier ATI reside en la precisión de su Modelo del Estudiante, un componente para diagnosticar de manera



continúa como proactiva las deficiencias conceptuales del aprendiz; de allí, que su capacidad diagnóstica de alta resolución se logra mediante la integración de la Minería de Datos Educacional (EDM). La EDM trasciende el análisis estadístico descriptivo para aplicar técnicas de aprendizaje automático sobre grandes volúmenes de datos académicos históricos y de interacción (Romero y Ventura, 2007). Al utilizar algoritmos de agrupamiento (clustering) como K-means y de clasificación como Random Forest, la EDM puede descubrir patrones latentes, perfiles de estudiantes con dificultades similares transformando así el rastro digital en evidencia empírica sólida.

De este modo, la EDM provee el soporte algorítmico necesario para que el ATI abandone la retroalimentación genérica enfocándose en la corrección de deficiencias específicas. La sinergia entre el ATI y la EDM es, por tanto, simbiótica fundamental; mientras el ATI, proporciona el marco de intervención tutorial adaptativa, y la EDM alimenta enriqueciendo continuamente el Modelo del Estudiante con diagnósticos basados en datos (Baker y Yacef, 2009). La integración convierte al sistema en un tutor inteligente que no solo reacciona a errores puntuales, sino que anticipa las causas raíz de los vacíos cognitivos, ofreciendo una ruta de aprendizaje dinámica y personalizada.

En sí, para este apartado la conjunción teórica y práctica entre los Agentes Tutores Inteligentes como en la Minería de Datos Educacional constituye el pilar tecnopedagógico de esta investigación. La unión permite transitar desde una educación digital unidireccional hacia un ecosistema de tutoría adaptativa, basada en evidencia, donde cada intervención se deriva de un diagnóstico algorítmico preciso, haciendo posible la personalización a escala que requiere la educación matemática universitaria contemporánea.



Vacíos Cognitivos: De Error Puntual a concepción Sistemática

La problemática central abordada es la persistencia de los Vacíos Cognitivos en la matemática universitaria, definidos no como errores fortuitos o descuidos, sino como concepciones erróneas persistentes, sistemáticas, profundamente arraigadas, que reflejan una construcción incompleta o incorrecta del conocimiento conceptual y procedimental. Cuyos vacíos constituyen verdaderos obstáculos epistemológicos, representaciones mentales alternativas que, siendo coherentes para el estudiante, son incompatibles con el saber científico establecido actuando como filtros en la asimilación de nuevos conocimientos.

Cabe destacar, un vacío cognitivo, desde una perspectiva teórica, se distingue conceptualmente del mero olvido o un error ocasional. Se define como una incomprensión estructural o una representación mental incorrecta de un concepto fundamental que, al no ser atendida, persiste y distorsiona la adquisición de nuevos conocimientos (Bulut, 2025).

En el marco de la teoría constructivista, y particularmente en la Didáctica de la Matemática (Vygotsky, 1978), el error es visto como la manifestación observable de un estado cognitivo defectuoso que requiere una reestructuración. Un vacío cognitivo, por tanto, no es la mera ausencia de información, sino la presencia activa de un modelo mental errado. De allí, que la naturaleza los hace particularmente resistentes a correcciones superficiales, como la repetición de ejercicios del procedimiento correcto, demandando en cambio una intervención instruccional específica que promueva un cambio conceptual profundo.

En el contexto de la educación universitaria, estos vacíos se magnifican debido al alto grado de abstracción la naturaleza acumulativa y jerárquica del conocimiento en disciplinas como el Cálculo. Las fallas en el manejo algebraico básico, la incomprensión de la notación funcional o interpretaciones limitadas del concepto de límite, actúan como barreras infranqueables para el nuevo aprendizaje, dificultando irreversiblemente la



conexión de conocimientos previos y la transferencia de habilidades a problemas complejos y aplicados. Su persistencia no solo compromete el rendimiento en un curso, sino que erosiona la base sobre la que se construye toda la formación profesional en ciencias e ingeniería.

Por consiguiente, abordar los vacíos cognitivos trasciende la simple corrección de errores. Implica un desafío pedagógico de mayor envergadura: diagnosticar la estructura defectuosa del conocimiento del estudiante para diseñar intervenciones que faciliten una reestructuración cognitiva. Donde, la comprensión es fundamental para justificar el desarrollo de sistemas inteligentes que puedan identificar las deficiencias de manera automática y personalizada.

El análisis de errores como metodología de caracterización

Para abordar la naturaleza sistemática de estos vacíos, el Análisis de Errores se establece como la metodología idónea. Cuyo enfoque trasciende radicalmente la calificación tradicional, cuyo fin suele ser sumativo, para adoptar una perspectiva diagnóstica y formativa. Su objetivo no es solo identificar un resultado incorrecto, sino clasificar, interpretar y rastrear el origen del error, buscando develar el patrón cognitivo o la regla defectuosa que lo generó. Se trata de una metodología que concibe el error como una fuente valiosa de información sobre el proceso de pensamiento del aprendiz.

De esta forma, con el rigor y la utilidad en su sistematización se puede lograr mediante la creación de una Taxonomía de Errores formal. La misma, taxonomía actúa como un marco de referencia que convierte las manifestaciones conductuales observables (errores en una evaluación) en categorías diagnósticas estables y significativas (e.g., errores algebraicos, conceptuales, procedimentales, por aplicación incorrecta de reglas). El proceso de categorización es lo que permite distinguir entre un error aislado



y la evidencia recurrente de una concepción, facilitando así la transición de un diagnóstico cualitativo a uno cuantificable.

En este sentido, la implementación operativa de este análisis se materializa en un instrumento estandarizado: la Lista de Verificación de Errores (o Error Checklist). Donde, el instrumento es la clave para garantizar la objetividad, consistencia y replicabilidad del diagnóstico, transformando una observación pedagógica subjetiva en un dato estructurado. La estandarización que provee este instrumento es un requisito indispensable para cualquier investigación que pretenda sustentar el desarrollo de un sistema inteligente, ya que proporciona el lenguaje común. Como también el protocolo necesario para convertir la experiencia docente en un insumo computable para algoritmos de EDM.

En síntesis, el análisis de errores, formalizado a través de una taxonomía y un instrumento estandarizado, constituye el puente metodológico entre la observación pedagógica y el modelado computacional. Al ofrecer un protocolo reproducible para caracterizar los vacíos cognitivos, sienta las bases empíricas sólidas y objetivas necesarias para alimentar y validar los modelos de diagnóstico de un Agente Tutor Inteligente.

Operacionalización del Diagnóstico para el Modelo ATI

El Instrumento de Análisis de Errores descrito actúa como el puente metodológico fundamental entre el diagnóstico pedagógico tradicional y el Modelado del Estudiante formal requerido por un Agente Tutor Inteligente. Mientras el ojo experto del docente puede identificar un problema, la eficacia del ATI depende, como señala VanLehn (2011), de la precisión con la que su Modelo del Estudiante es capaz de representar las deficiencias cognitivas. Por ende, el ATI requiere que ese diagnóstico sea expresado en un formato estructurado, cuantificable y procesable algorítmicamente. El instrumento provee precisamente ese protocolo, estandarizando la



observación y traduciendo el conocimiento didáctico tácito en un conjunto de reglas y características explícitas.

Al aplicar el instrumento a una prueba evaluativa, el dato crudo (una respuesta marcada como incorrecta) se transforma en un conjunto de características etiquetadas y cuantificadas. Por ejemplo, un ejercicio no solo se registra como "fallido", sino que se anota que contiene dos instancias de "Error Algebraico: manipulación incorrecta de signos" y una de "Error Conceptual: confusión entre notación de función y producto". Donde, el nivel de granularidad es lo que, en el contexto de la Minería de Datos Educativo (EDM), se traduce en atributos para construir modelos cognitivos computables, tales como árboles de decisión o algoritmos de clasificación. La capacidad de EDM para descubrir patrones significativos en el dataset de errores estructurado es crucial para la modelización descritos por Romero y Ventura (2007); y Baker y Yacef (2009).

Con la sistematización se constituye el paso inicial y crítico del proceso, para los resultados la caracterización detallada son el insumo primario que alimentará los algoritmos de detección automática y modelado del ATI. Sin un diagnóstico inicial preciso y estructurado, cualquier modelo posterior carecería de validez. Así, el instrumento permite al sistema no solo saber que un estudiante tiene dificultades, sino comprender la naturaleza específica de esas dificultades, permitiendo al Módulo de Tutoría del ATI diseñar estrategias de intervención que sean quirúrgicamente enfocadas a corregir el tipo, como también la profundidad del vacío cognitivo, cumpliendo así la promesa de una tutoría verdaderamente personalizada y adaptativa.

En definitiva, la operacionalización del diagnóstico a través de un instrumento formal es el catalizador que permite la materialización del ATI. Al cerrar la brecha entre la evaluación formativa humana y los requisitos de la inteligencia artificial, este proceso asegura que la intervención tutorial automatizada esté fundamentada en un entendimiento profundo y



estructurado del error estudiantil, maximizando su potencial para impactar positivamente en el aprendizaje.

Materiales y métodos

El estudio se enmarca en el paradigma positivista con un enfoque cuantitativo, su diseño es no experimental, transeccional de alcance descriptivo. El propósito inmediato de este artículo es la construcción y validación de un instrumento para la fase diagnóstica-descriptiva de la investigación doctoral. Donde, la fase inicial se apoya en una metodología de Análisis de Errores complementada con técnicas de validación por expertos.

En cuanto, a los participantes como los materiales de origen la población para el análisis de errores fue definida por los estudiantes del Programa de Ciencias Básicas y Aplicadas de la UNELLEZ-VPDS. Los materiales empíricos (evaluativos) lo constituyeron evaluativos de matemática universitaria (pruebas, exámenes) reales, cedidos por docentes del programa. De allí, que estos documentos fueron la fuente empírica primaria para identificar y tipificar los errores recurrentes que conforman la taxonomía inicial del instrumento.

En relación, a los participantes clave el instrumento central desarrollado es la Lista de Verificación de Errores. El instrumento fue diseñado para operacionalizar la variable Vacíos Cognitivos, al sistematizar la clasificación de errores en categorías estandarizadas (ej., errores algebraicos, errores en notación, errores conceptuales). Para el procedimiento de construcción y validación, se articuló en torno a la triangulación entre la evidencia empírica (evaluativos), la experiencia docente con la validación metodológica, siguiendo un proceso de construcción iterativo.

1. Fase de Construcción (Análisis de Errores con Evaluativos):

- Identificación de la Taxonomía: Los evaluativos fueron la base para la creación de la taxonomía inicial de errores. Se realizó un análisis inductivo de los errores más comunes y sistemáticos observados en el desempeño estudiantil.

- Diseño del Instrumento: El resultado de este análisis fue la Lista de Verificación, estructurada en Bloques Temáticos (ej., Bloque 1: Errores en Notación, Bloque 2: Errores en Álgebra) y detallando el tipo de error y un ejemplo breve.

2. Fase de Validación de Contenido (Mesas de Trabajo y Juicio de Expertos): Para garantizar la validez del instrumento, se implementa Mesas de Trabajo con los docentes de matemática, actuando como Juicio de Expertos con un componente práctico:

- Capacitación y Criterios: Se uniformaron los criterios de análisis entre los docentes para reducir la subjetividad.

- Análisis Individual: Cada docente aplicó el instrumento (Lista de Verificación) a una sub-muestra de evaluativos (el material empírico) identificando los errores según la taxonomía propuesta.

- Validación Cruzada y Consenso: Los docentes intercambiaron las evaluaciones para verificar la consistencia en la aplicación del instrumento y consensuar los criterios en casos dudosos. Este proceso aseguró la Validez de Contenido y la confiabilidad inter-evaluador preliminar.

Ahora bien, los datos generados por el instrumento se utilizaron para la caracterización inicial de los vacíos cognitivos:

- Análisis Descriptivo: Se calcularon las frecuencias y porcentajes de los errores marcados en la Lista de Verificación para cada categoría.

- Identificación de Patrones: Se identificaron los Bloques Temáticos Mayores y los Errores Más Frecuentes que actúan como vacíos cognitivos prioritarios en la población estudiantil, sentando la base para el modelado de EDM.



Lo anterior, es un proceso de construcción como de validación mediante juicio de expertos es el que asegura la pertinencia y rigurosidad del instrumento como herramienta diagnóstica clave para el desarrollo del Modelo de Agente Tutor Inteligente.

Resultados

En este apartado se expone los primeros resultados y caracterización inicial de la tesis doctoral en desarrollo, cuyo objetivos es: Desarrollar un modelo de agente tutor inteligente, basado en minería de datos educacional, para la intervención y corrección de vacíos cognitivos en el aprendizaje de la matemática universitaria en la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias Básicas y Aplicadas. Donde, se inicia con la estructura final de la Lista de Verificación de Errores (el instrumento) resultante del proceso de validación por expertos y el análisis de los evaluativos de matemática universitaria en la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias Básicas y Aplicadas, en el cual se exponen los hallazgos de los vacíos cognitivos detectados.

En este sentido, la taxonomía del instrumento de análisis de errores, su construcción se basó en el análisis de una muestra representativa de evaluaciones, las cuales permitieron identificar patrones recurrentes de error que no eran aleatorios, sino sistemáticos. La taxonomía final, validada en las mesas de trabajo, se organizó en seis categorías principales que representan las dimensiones del vacío cognitivo en los estudiantes. Además, la clasificación es la que permite al instrumento cuantificar los datos de errores, preparándolos para el modelado de la Minería de Datos Educacional (EDM).



Tabla 1. Taxonomía y Categorías de Vacíos Cognitivos en Matemática Universitaria

Tipo de Error (Categoría del Vacío Cognitivo)	Descripción	Ejemplos de Manifestación en la Evaluación
Errores en Operaciones Algebraicas	Fallas en el manejo de reglas fundamentales de aritmética y álgebra básica.	Ley de signos, operaciones con fracciones, factorización y expansión.
Errores en Manipulación Simbólica	Dificultades en la aplicación de las propiedades de la igualdad y la manipulación de expresiones matemáticas.	Despeje incorrecto de variables, simplificación errónea de expresiones.
Errores en Aplicación de Fórmulas	Uso inadecuado o incorrecto de fórmulas estándar de cálculo diferencial o integral.	Aplicación incorrecta de la regla de la cadena, o fórmulas de derivadas/integrales.
Errores en Comprensión Conceptual	Incomprensión del significado fundamental de un concepto matemático.	No entender el significado o la definición de límite, derivada o integral; confusión entre concepto y procedimiento.
Errores en Procedimientos Algorítmicos	Fallas en la secuencia lógica o los pasos necesarios para resolver un problema complejo.	Inversión u omisión de pasos en la resolución de problemas (ej., método de integración).
Errores por Falta de Conexión con Conocimientos Previos	Incapacidad para relacionar un concepto nuevo con las bases matemáticas necesarias para su entendimiento.	Confusión de propiedades de logaritmos o exponenciales al intentar resolver ecuaciones de cálculo avanzado.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto, a la caracterización preliminar de vacíos cognitivos, la aplicación piloto del instrumento por el panel de expertos en las Mesas de Trabajo arrojó una caracterización preliminar cualitativa de los vacíos cognitivos más prevalentes en la población estudiantil. Donde, para priorizar el enfoque del diagnóstico con EDM en fases posteriores.

1. Vacíos Fundamentales (Álgebra y Notación): Se observó que las categorías de errores en operaciones algebraicas y errores en manipulación simbólica concentraron el mayor número de marcas en las Listas de Verificación. Lo que indica que gran parte de los vacíos cognitivos en matemática universitaria tiene su origen en deficiencias estructurales de ciclos de estudio previos (bachillerato), confirmando que estos vacíos actúan como un prerrequisito no consolidado.



2. La Dificultad de la Abstracción (Errores Conceptuales): La categoría de errores en comprensión conceptual fue la que más preocupó al panel docente. Aunque su frecuencia absoluta pueda ser menor que la de los errores de cálculo, su impacto es mayor, ya que revela la incapacidad del estudiante para justificar el porqué de un procedimiento o para aplicar el concepto en un contexto diferente. En lo cual, estos errores son los más difíciles de corregir y requieren una intervención tutorial profunda.
3. La Importancia del Instrumento: El resultado más relevante del proceso de mesas de trabajo fue la consistencia en la identificación de los errores. La Lista de Verificación demostró ser una herramienta eficaz para reducir la varianza en el diagnóstico docente, estandarizando la forma en que los errores son clasificados y cuantificados. Lo que valida al instrumento como el mecanismo confiable para generar el datos de calidad que alimentará los algoritmos de clasificación de la Minería de Datos Educativa.

Discusión

La caracterización inicial de los vacíos cognitivos mediante el Instrumento de análisis de errores desarrollado establece un fundamento empírico crucial para la construcción del Modelo de Agente Tutor Inteligente (ATI). El primer hallazgo significativo radica en la eficacia metodológica del instrumento, validado a través de las mesas de trabajo con docentes. La estandarización de la clasificación de errores transforma la observación subjetiva en un conjunto de datos etiquetados y cuantificables. Esto es un requisito indispensable que conecta la didáctica de la matemática con la ingeniería del conocimiento, ya que la Minería de Datos Educativa (EDM) requiere inputs consistentes para el modelado.

Al respecto, Romero y Ventura (2007) y Baker y Yacef (2009) enfatizan que la calidad de los patrones de error como la precisión del Modelo del Estudiante depende directamente de la consistencia y el rigor



en la recolección inicial de datos. Por lo tanto, el instrumento cumple su objetivo primario de proveer la base de datos de alta calidad necesaria para los algoritmos de la EDM.

En este sentido, el análisis preliminar de las evaluaciones confirma que los vacíos cognitivos no son aleatorios, sino que responden a déficits estructurales persistentes. Con la prevalencia de errores en operaciones algebraicas y manipulación simbólica subraya un problema de prerrequisitos que el sistema de educación universitaria hereda. Donde, si un estudiante no domina la ley de signos o la factorización, su progreso en el Cálculo se verá obstaculizado, ya que, en términos de Vygotsky (1978), su proceso de construcción de conocimiento se basa en una estructura errónea.

En esta misma perspectiva, con la detección de Errores en Comprensión Conceptual evidencia la dificultad inherente de la matemática universitaria: la transición de lo procedimental a lo abstracto. Cuyos errores, aunque menos frecuentes, son los más críticos, pues revelan que el estudiante memoriza el proceso sin entender el significado de un límite o una integral, requiriendo un enfoque de tutoría que se centre en la reestructuración profunda del concepto.

De esta forma, la taxonomía en seis categorías (Tabla 1) proporciona un mapa de diagnóstico multidimensional que supera la limitación de la calificación binaria (aprobado/reprobado). Donde, la riqueza de detalle es fundamental para alcanzar la verdadera personalización que prometen los sistemas de IA en la educación. Como lo señala VanLehn (2011), la eficacia de los sistemas de tutoría inteligente reside en su capacidad para diagnosticar precisamente el origen del error y la intervención adecuada.

En este punto, es importante resaltar que las categorías identificadas permiten que el futuro ATI diseñe rutas de aprendizaje adaptativas, diferenciando si el estudiante necesita repaso de álgebra básica, corrección de una práctica en la secuencia algorítmica. La caracterización es la piedra angular para que el sistema ATI de la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias



Básicas y Aplicadas sea efectivo y pertinente, alineándose con las tendencias y desafíos de la educación superior mediada por tecnología (Varela, 2023).

En síntesis, este apartado valida la rigurosidad metodológica del Instrumento de Análisis de Errores como una herramienta de diagnóstico consistente. Los resultados no solo caracterizan la tipología de los vacíos cognitivos más críticos en la matemática universitaria, sino que, fundamentalmente, operacionalizan la base empírica de la tesis doctoral. La taxonomía resultante es el insumo principal del modelado consolidando la fase diagnóstica necesaria para la intervención y corrección de vacíos cognitivos mediante la Minería de Datos Educativa.

Conclusiones

El presente artículo no solo ofrece una herramienta práctica para el diagnóstico, sino que también sienta las bases empíricas que contribuyen a la consolidación teórica de los Agentes Tutores Inteligentes y al enriquecimiento de la Minería de Datos Educativa, articulándose de forma directa con la Línea de Investigación: Minería de la Información y la Sublínea: Inteligencia Artificial del Doctorado en TIC de la UNELLEZ, asegurando su pertinencia científica en la formación de capital humano cualificado.

A partir del desarrollo del Instrumento de Análisis de Errores y su aplicación inicial, se derivan las siguientes conclusiones fundamentales: Se logró establecer una metodología de diagnóstico sistemático (Fase 1) que transforma la observación subjetiva del error docente en data estructurada y cuantificable. La validación del instrumento (Lista de Verificación de Errores) mediante las Mesas de Trabajo y el Juicio de Expertos demostró que la taxonomía de seis categorías es válida y rigurosa para tipificar los vacíos cognitivos en la matemática universitaria. Con la estandarización es la piedra angular para que las técnicas de Minería de Datos Educativa (EDM) puedan, en fases posteriores, modelar y predecir los patrones de falla con la precisión requerida por un Agente Tutor Inteligente (ATI).



En lo referente, a la caracterización preliminar de los vacíos como déficits estructurales reveló una marcada concentración en los errores en operaciones algebraicas y manipulación simbólica, confirmando que los déficits de ciclos educativos previos actúan como barreras infranqueables para el aprendizaje avanzado. De igual importancia, la identificación de Errores en Comprensión Conceptual subraya que la dificultad en el Cálculo reside en la falta de abstracción y no solo en el fallo procedimental. Los hallazgos validan la necesidad de una intervención multidimensional y personalizada que atienda la raíz del vacío (conceptual, procedimental, o de conocimiento previo), diferenciando la estrategia tutorial, lo cual no es posible con métodos de evaluación tradicionales.

En cuanto a la proyección hacia la Intervención Tecnológica, el resultado central del artículo es la Taxonomía de Errores, la cual se erige como el Modelo Conceptual de Vacíos Cognitivos que será implementado en el Módulo de Diagnóstico del ATI. Con la taxonomía permite al sistema no solo detectar que el estudiante falló, sino por qué falló (ej., error de signo vs. falta de entender la derivada), sentando las bases para que el ATI adapte el contenido y la retroalimentación en tiempo real. Por lo que, cumple con el principio de eficacia de los sistemas tutores inteligentes, al permitir una intervención proactiva que mitiga la deserción y fomenta la equidad en el acceso a la educación de calidad.

En conclusión, la investigación en su fase inicial ha logrado el desarrollo y la validación inicial del instrumento, generando el dato categórico esencial para la Fase 2 (Analítica-Constructiva) de la tesis. El próximo paso de la investigación se centrará en la aplicación de algoritmos de clustering y clasificación de la Minería de Datos Educativa sobre esta data para construir los modelos cognitivos computables que finalmente darán vida al prototipo funcional del Agente Tutor Inteligente, cumpliendo así el objetivo de optimizar la gestión académica y el rendimiento en la UNELLEZ-VPDS- Programa Ciencias Básicas y Aplicadas

Referencias

- Acosta, J. C., La Red Martínez, D. L., y Primorac, C. R. (2018). Determinación de perfiles de rendimiento académico en la UNNE con Minería de Datos Educativa. (1078-1082). En: Gladys Dapozo, G. y Irrazabal, E. *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación - WICC 2018*, libro de actas. Corrientes, Argentina : Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Exactas. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/30369>
- Baker, RS y Yacef, K. (2009). El estado de la minería de datos educativos en 2009: Una revisión y perspectivas futuras. *Revista de minería de datos educativos* , 1 (1), 3-17. <https://jedm.educationaldatamining.org/index.php/JEDM/article/view/8>
- Bulut, C. (2025). The Role of Mathematics in Economics: Necessity or Contradiction?. *London Journal of Social Sciences*, (9), 20-27. <https://londonic.uk/js/index.php/ljbeh/article/view/320>
- Floridi, L. (2019). Translating principles into practices of digital ethics: Five risks of being unethical. *Philosophy & Technology*, 32(2), 185-193. <https://tinyurl.com/2yqpyfd6>
- Jobin, A., Ienca, M., y Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature machine intelligence*, 1(9), 389-399. <https://www.nature.com/articles/s42256-019-0088-2>
- López-Meneses, E., Mellado-Moreno, P., Gallardo, C. y Pelicano-Piris, N. (2025) Minería de datos educativos y modelado predictivo en la era de la inteligencia artificial: un análisis profundo de la dinámica de la investigación. *Computadoras* , 14 (2), 2-25. <https://www.mdpi.com/2073-431X/14/2/68>
- Romero, C., y Ventura, S. (2007). Minería de datos educativos: Un estudio de 1995 a 2005. *Sistemas expertos con aplicaciones* , 33 (1), 135-146. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417406001266>
- Russell, S. J., y Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Global Edition 4e. <https://library.giadinh.edu.vn/handle/GDU/2783>
- UNESCO. (2022). Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial. UNESCO. <https://www.unesco.org/es/articles/recomendacion-sobre-la-etica-de-la-inteligencia-artificial>
- UNELLEZ (2020). *Doctorado en Tecnologías de Información y Comunicación desde la UNELLEZ*. Documento en línea: <http://www.unellez.edu.ve/noticias/index.php?idCont=4438>
- VanLehn, K. (2011). La eficacia relativa de la tutoría humana, los sistemas de tutoría inteligente y otros sistemas de tutoría. *Psicólogo Educativo* ,



46 (4), 197-221.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00461520.2011.611369>

Varela, Y. Z. (2023). La inteligencia artificial y el futuro de la educación superior desafíos y oportunidades. *Horizontes pedagógicos*, 25(1), 1-13.

World Economic Forum. (2024). *The future of learning: AI is revolutionizing education 4.0*. <https://www.weforum.org/stories/2024/04/future-learning-ai-revolutionizing-education-4-0/>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. London: Harvard university press.