EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Identificación de factores determinantes en el aprendizaje aplicables en contextos virtuales y medibles con técnicas no invasivas

Andrés Vargas García, Julio César Chavarro Porras

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Resumen

Siendo la educación de calidad un pilar del desarrollo de una sociedad y dado que las TIC han permeado las diferentes actividades humanas incluida la educación, es necesario evaluar cómo alcanzar una educación de calidad en ambientes mediados por TIC, reduciendo los problemas identificados de la educación virtual, entre ellos el acompañamiento, retroalimentación y adaptación a la forma de aprendizaje del estudiante. Diferentes disciplinas que van desde la pedagogía hasta la neurociencia han estudiado el aprendizaje humano. En este artículo se presenta una etapa temprana en el desarrollo del proyecto de mayor envergadura denominado «modelo de la medición del rendimiento académico a partir de técnicas no invasivas de los factores determinante del aprendizaje.» y se enfoca en mostrar de forma general el modelo, cuales técnicas no invasivas son aplicables para determinar el comportamiento del estudiante frente a un ambiente virtual de aprendizaje y los posibles beneficios a todos los involucrados en el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Palabras clave: técnicas no invasivas; aprendizaje; educación virtual

Abstract

Quality education being a pillar of the development of a society and given that ICTs have permeated the different human activities including education, it is necessary to evaluate how to achieve quality education in ICT-mediated environments, reducing the identified problems of virtual education, among them the accompaniment, feedback and adaptation to the student's way of learning. Different disciplines ranging from pedagogy to neuroscience have studied human learning. This article presents an early stage in the development of the larger project called "model of academic performance measurement based on non-invasive techniques of learning determinants" and focuses on showing in a general way the model, which non-invasive techniques are applicable to determine

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4692

the student's behavior in a virtual learning environment and the possible benefits to all those involved in the teaching/learning process.

***Keywords**: non-invasive techniques; learning; virtual education*

1. Introducción

La educación constituye un componente estructural en el desarrollo sostenible de las naciones, actuando como un factor determinante en el progreso económico, la equidad social y el fortalecimiento cultural. En consonancia con esta visión, organismos internacionales como la (ONU) han situado la educación de calidad como un eje estratégico dentro de la Agenda 2030, posicionándola como el cuarto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UNESCO, 2016).

En las últimas décadas, la incorporación de las TIC en los sistemas educativos ha generado profundas transformaciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Este fenómeno ha dado lugar al desarrollo de entornos de aprendizaje mediados por tecnología que promueven la interacción, la colaboración y el acceso abierto al conocimiento, rompiendo barreras espacio-temporales y favoreciendo el aprendizaje autónomo y personalizado (Salinas, 2004). Modalidades como la educación en línea, los recursos educativos abiertos y las plataformas de gestión del aprendizaje (LMS) representan ejemplos de esta evolución tecnológica en el ámbito educativo (Anderson, 2008; Hilton III, 2016).

El estudio del aprendizaje humano se ha abordado desde diversas perspectivas disciplinarias que, en conjunto, han permitido construir un sólido cuerpo teórico. Mientras algunas se centran en los mecanismos neurobiológicos y cognitivos de la adquisición del conocimiento, otras examinan los métodos y estrategias didácticas para optimizar la enseñanza según las necesidades de los estudiantes (Bransford et al., 2000; Gardner, 2000; Immordino-Yang & Damasio, 2007).

En este contexto, nuestro objeto de investigación se centra en la identificación de factores que influyen en el proceso de aprendizaje en entornos virtuales, haciendo énfasis en aquellos indicadores que pueden ser medidos de forma no invasiva mediante herramientas digitales. Esta línea de estudio busca aportar a la comprensión de los procesos de aprendizaje mediados por TIC desde una perspectiva empírica y basada en datos, lo cual resulta esencial para el diseño de experiencias educativas más efectivas, inclusivas y centradas en el estudiante.

2. El proceso de aprendizaje

El aprendizaje humano abarca tanto conductas observables como procesos cognitivos complejos, reflejando su naturaleza multifacética. Este proceso es motivado por factores extrínsecos e intrínsecos, vinculados al interés personal o a recompensas externas (Deci & Ryan, 2013).

Desde una perspectiva evolutiva, el aprendizaje ha sido clave para la adaptación y el desarrollo humano. A diferencia de otras especies, los seres humanos cuentan con una carga instintiva

limitada, lo que ha impulsado una gran capacidad para adquirir conocimientos y ajustar su comportamiento en función de la experiencia y la anticipación de resultados (Illeris, 2018).

En este sentido, el aprendizaje no solo cumple una función adaptativa en términos biológicos, sino que también constituye un eje central en la construcción de la cultura, el pensamiento abstracto y la organización social. La posibilidad de aprender de la experiencia propia y ajena, ha sido determinante para que los seres humanos puedan responder de manera flexible a entornos cambiantes y complejos, estableciendo un puente entre la acción, la reflexión y la transformación del entorno.

El aprendizaje ha sido conceptualizado desde diversas perspectivas teóricas. Dos enfoques predominantes en psicología son el conductista, que lo define como un cambio observable en el comportamiento producto de la experiencia, y el cognitivo, que lo entiende como un proceso interno que modifica estructuras mentales y esquemas de procesamiento de la información (LeFrançois, 2012; Ormrod et al., 2005; Woolfolk, 2006).

Estas concepciones también han influido en disciplinas como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. En (Michalski et al., 2013), el aprendizaje es definido como una secuencia de eventos mediante la cual un sistema experimenta modificaciones internas que le permiten mejorar su comportamiento futuro, con el fin de alcanzar determinados objetivos. El propósito fundamental de este proceso es que el sistema sea capaz de ejecutar tareas similares de manera más eficiente a partir de la experiencia previa, imitando así, de forma parcial, los principios adaptativos del aprendizaje humano.

El objetivo del proceso de aprendizaje es disminuir la diferencia entre el nivel de conocimiento que se posee y el nivel que se aspira alcanzar. El conocimiento se puede dividir en dos tipos de conocimientos, declarativo y procedimental, mientras el primero puede expresarse y usarse en diferentes ocasiones, es considerado el «saber que» mientras el conocimiento procedimental puede usar e invocar el conocimiento declarativo para usarlo en otros ámbitos, es el «saber cómo». El conocimiento declarativo es estático, mientras que el procedimental es dinámico.

Existe otro tipo de conocimiento, usado en el ámbito de la IA y es el conocimiento heurístico, este puede formalizarse como «las reglas de producción» que actúa a nivel del sistema de control. El conocimiento heurístico es el conocimiento empírico (Nguyen-Xuan, 2020), La acumulación de acontecimientos similares, pero no idénticos son necesarios para la adquisición de conocimientos (Herbert & Burt, 2003).

3. El aprendizaje humano

Desde una perspectiva neurobiológica, el cerebro constituye el órgano central del proceso de aprendizaje, al integrar funciones básicas, cognitivas y metacognitivas. Su estructura puede analizarse funcionalmente en tres grandes regiones. El cerebro inferior, conectado a la médula espinal, regula funciones fisiológicas esenciales como la respiración, la deglución, el sueño y la actividad cardíaca. El cerebro medio, por su parte, se encarga de tareas relacionadas con la

integración sensorial, especialmente la visión y la audición; destaca en esta región la formación reticular, crucial para el mantenimiento de la atención y la conciencia (Sousa, 2016), finalmente, el cerebro superior, particularmente la corteza cerebral, está implicado en los procesos más complejos del aprendizaje. Esta corteza, dividida en dos hemisferios y a su vez en lóbulos, alberga funciones como el lenguaje, la memoria a largo plazo, la planificación, el razonamiento, la toma de decisiones y la regulación de estrategias cognitivas y metacognitivas, todos ellos elementos fundamentales para el aprendizaje significativo (Tokuhama-Espinosa, 2010).

Desde el punto de vista fisiológico el aprendizaje se da cuando se producen interconexiones entre las neuronas, en el fortalecimiento de la sinapsis ya existente y en la creación de nuevas. (Byrnes & Fox, 1998; Greenough et al., 1987; Merzenich, 2001; Rosenzweig, 1986). También se ha encontrado que la neurogénesis (formación de nuevas neuronas, proceso que se creía que solo se daba en las etapas prenatales) parece estar estimulada en parte por las nuevas experiencias de aprendizaje (Gould et al., 1999). El aprendizaje no se produce en una única parte del cerebro, sino que intervienen múltiples sistemas, por lo cual se da en diferentes zonas del cerebro, es por esto que es un campo de estudio para la neurociencia.

En este marco, los procesos cognitivos se definen como las operaciones mentales que ejecuta el cerebro para recibir, codificar, almacenar, manipular y utilizar la información proveniente del entorno. Estos procesos incluyen funciones superiores como la atención, la percepción, la memoria, el lenguaje, el razonamiento y la toma de decisiones, los cuales son fundamentales para la construcción del conocimiento y la autorregulación del aprendizaje (Anderson & Crawford, 2007).

La integración de las neurociencias con la educación ha permitido generar conocimientos fundamentales sobre las bases neurales del proceso de aprendizaje, investigaciones actuales posibilitaron mayores conocimientos sobre los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje a través del estudio de funciones cerebrales superiores y complejas, como lo son: el lenguaje, la memoria (Azcoaga, 1987) y la atención; estos son los procesos cognitivos que se entrenan por medio de las diferentes prácticas educativas para su fortalecimiento (Campos, 2010), tener en cuenta el papel fundamental de la motivación en este proceso (Etchepareborda & Abad-Mas, 2005), La motivación, un estado interno que nos anima a actuar, nos dirige en determinadas direcciones y nos mantiene en algunas actividades, la motivación a menudo determina si se aprende algo y cómo se aprende, sobre todo si las conductas y los procesos cognitivos necesarios para ese aprendizaje son voluntarios y por tanto, están bajo el control de la persona. Además, una vez que hemos aprendido algo, la motivación es en gran medida responsable de que continuemos haciéndolo (Ormrod et al., 2005).

4. Técnicas no invasivas

En los entornos virtuales de aprendizaje, el estudio del comportamiento estudiantil mediante técnicas no invasivas ha cobrado creciente relevancia en el ámbito de la neuroeducación y la analítica del aprendizaje. Estas técnicas permiten recolectar datos digitales derivados de la interacción de los estudiantes con plataformas educativas, sin interferir directamente en su experiencia formativa, y ofrecen indicadores valiosos sobre el compromiso, la comprensión y otros

procesos cognitivos y afectivos implicados en el aprendizaje (Papamitsiou & Economides, 2014; Siemens & Long, 2011).

Entre las estrategias más empleadas se encuentran:

- **Análisis de interacción en plataformas virtuales:** Este método se basa en el procesamiento de datos generados por los estudiantes dentro del entorno de gestión del aprendizaje (LMS), tales como tiempo de conexión, frecuencia de clics, descargas de materiales, trayectorias de navegación y patrones de acceso. Estos datos permiten construir perfiles de comportamiento digital y detectar posibles dificultades de aprendizaje (Gašević et al., 2015; Siemens & Long, 2011).
- **Encuestas y cuestionarios en línea:** Herramientas utilizadas para recabar información autorreportada sobre variables afectivas como la motivación, la satisfacción, el nivel de estrés percibido y la percepción general del curso o entorno (Nulty, 2008; Pintrich & De Groot, 1990).
- **Análisis de escritura y producción textual:** Consiste en examinar tareas escritas (ensayos, foros, entregas) con el fin de identificar niveles de compromiso, estilos discursivos y comprensión conceptual, mediante técnicas como el análisis textual computacional o el procesamiento de lenguaje natural (NLP) (Pennebaker & Chung, 2007).
- **Tecnologías portátiles (wearables):** El uso de dispositivos como pulseras inteligentes o sensores biométricos permite monitorear variables fisiológicas relacionadas con el estado emocional o cognitivo del estudiante, como la frecuencia cardíaca, el nivel de actividad o el estrés (Ba & Hu, 2023; Swan, 2012).
- **Análisis audiovisual en sesiones virtuales:** Se emplea el procesamiento de grabaciones de videollamadas para evaluar indicadores de participación, interacción no verbal y reconocimiento de emociones mediante el análisis de expresiones faciales y patrones de comportamiento visual y auditivo (D'mello & Graesser, 2013; Zeng et al., 2007).
- **Inteligencia Artificial aplicada al aprendizaje:** A través de algoritmos de machine learning se pueden generar modelos predictivos de rendimiento académico, identificar estudiantes en riesgo o personalizar rutas de aprendizaje según las necesidades individuales (Baker et al., 2016) .
- **Seguimiento ocular (eye tracking):** Esta técnica registra los movimientos oculares y puntos de fijación visual durante la interacción con contenidos digitales, permitiendo identificar áreas de interés, distribución de la atención y procesos de exploración visual del estudiante (Duchowski & Duchowski, 2007; Holmqvist et al., 2011).
- **Pupilometría:** El análisis del diámetro pupilar ofrece información sobre el esfuerzo cognitivo, la carga mental y la respuesta emocional durante la realización de tareas académicas. Cambios en la dilatación pupilar pueden asociarse a estados como concentración, dificultad, interés o fatiga (Beatty & Lucero-Wagoner, 2000; Mathôt, 2018).

5. Medición del rendimiento académico

La evaluación del rendimiento académico constituye un componente esencial del proceso educativo, ya que permite valorar el grado en que los estudiantes alcanzan los objetivos de aprendizaje establecidos. Este proceso implica la recolección, análisis e interpretación de evidencias

provenientes de diversas fuentes, con el fin de determinar en qué medida se han desarrollado las competencias cognitivas, procedimentales y actitudinales esperadas (Marzano, 2007).

Desde una perspectiva formativa, la evaluación no se limita a emitir un juicio de valor sobre el desempeño del estudiante, sino que también busca identificar fortalezas y debilidades, facilitando una retroalimentación significativa que contribuya a la mejora continua del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta retroalimentación es fundamental no solo para el estudiante, quien puede ajustar sus estrategias de estudio y autorregular su aprendizaje, sino también para los docentes, quienes pueden adaptar sus metodologías de enseñanza, y para las instituciones educativas, que pueden implementar estrategias orientadas a la mejora de la calidad educativa (Black & Wiliam, 2010).

En entornos de aprendizaje mediados por tecnologías digitales, la evaluación adquiere nuevas dimensiones. Con el uso de ambientes virtuales de aprendizaje (LMS), es posible implementar técnicas de evaluación continua basadas en el análisis de datos, permitiendo un seguimiento detallado y personalizado del progreso estudiantil. En este contexto, el rendimiento académico puede medirse a través de múltiples indicadores, tales como:

- Resultados en actividades evaluativas: calificaciones en tareas, pruebas, exámenes y proyectos entregados en línea.
- Nivel de participación: contribuciones en foros, chats, videoconferencias y otras actividades colaborativas asincrónicas y sincrónicas.
- Tiempo y frecuencia de uso de la plataforma: métricas de acceso, navegación y permanencia en los objetos virtuales de aprendizaje.
- Evidencias de desempeño competencial en entornos digitales: resolución de problemas, elaboración de productos multimedia, interacción con simuladores, etc.

Sin embargo, el rendimiento académico es un fenómeno multidimensional influenciado por una compleja interacción de factores individuales, sociales, contextuales y pedagógicos. Entre estos se pueden destacar:

- **Factores individuales**: Incluyen la motivación intrínseca y extrínseca, la autoestima académica, las habilidades cognitivas y metacognitivas, así como los hábitos de estudio y la capacidad de autorregulación emocional y temporal (Zimmerman, 2002). Desde el enfoque neuroeducativo, el funcionamiento ejecutivo del cerebro (atención, memoria de trabajo, control inhibitorio) resulta clave para un desempeño académico exitoso (Diamond, 2013).
- **Factores sociales**: El apoyo del entorno familiar, la interacción con compañeros y la calidad de la relación pedagógica con el docente son determinantes en la experiencia de aprendizaje. Las investigaciones en neurociencia social sugieren que el aprendizaje en contextos colaborativos puede potenciar la activación de regiones cerebrales vinculadas a la empatía y la cognición social (Immordino-Yang & Damasio, 2007).
- **Factores contextuales**: Comprenden las condiciones tecnológicas (disponibilidad de equipos, conectividad), el ambiente físico y emocional del hogar o aula virtual, así como la accesibilidad a los recursos educativos digitales.
- **Factores pedagógicos**: Se relacionan con la calidad del diseño instruccional, la pertinencia del currículo, la claridad de los objetivos de aprendizaje, y la frecuencia y calidad de la

retroalimentación proporcionada por los docentes. Las metodologías y el diseño centrado en el estudiante han demostrado mayor eficacia en entornos digitales (Salinas, 2004).

Evaluar el rendimiento académico en educación virtual no puede reducirse a un análisis cuantitativo de notas, sino que debe incorporar una visión holística que reconozca la diversidad de variables que inciden en el aprendizaje. Este enfoque integral, enriquecido por los aportes de la neurociencia y las tecnologías educativas, contribuye a construir sistemas de evaluación más justos, inclusivos y efectivos.

6. Propuesta de modelo experimental para la medición del rendimiento académico en entornos virtuales de aprendizaje

Se plantea el diseño de un modelo experimental orientado a la medición del rendimiento académico en entornos virtuales de aprendizaje (AVA), basado en la integración de variables observables obtenidas a través de métodos no invasivos. Este modelo tiene como propósito establecer una correlación entre los patrones de comportamiento digital de los estudiantes y el logro de los objetivos de aprendizaje, permitiendo una evaluación más integral, continua y contextualizada.

El enfoque propuesto se sustenta en los siguientes fundamentos:

- **El análisis de datos digitales (learning analytics)** como herramienta clave para el monitoreo del desempeño estudiantil en tiempo real, aprovechando los registros de interacción con la plataforma (logs, navegación, tiempo de conexión, participación en actividades) para generar indicadores de compromiso y progresión académica.
- **Los principios de la neuroeducación**, que destacan la importancia de factores como la atención, la motivación y la autorregulación cognitiva y emocional en el rendimiento académico, permitiendo la identificación de señales indirectas (por ejemplo, nivel de esfuerzo cognitivo a través de pupilometría o seguimiento ocular) que complementen la evaluación tradicional.
- **La triangulación de datos cuantitativos y cualitativos**, mediante el uso combinado de rúbricas de evaluación, análisis de contenidos generados por los estudiantes (ensayos, foros, tareas), y cuestionarios de percepción, con el fin de construir perfiles de aprendizaje más precisos.
- **El uso de tecnologías emergentes**, tales como inteligencia artificial y aprendizaje automático, para la predicción del rendimiento académico, la detección temprana de estudiantes en riesgo y la personalización de la retroalimentación pedagógica.

Este modelo pretende contribuir al fortalecimiento de los sistemas de evaluación en educación virtual, ofreciendo un enfoque más sensible al contexto, adaptativo y centrado en el estudiante, alineado con las exigencias actuales de calidad e inclusión educativa, consta de las fases descritas en la figura 1.

Etapa 0 Preliminar, consta de la definición de: Población de estudio, tipo de muestreo, determinación del tamaño de la muestra, definición de criterios de inclusión y exclusión, determinación de consideración éticas.

Figura 1. Fases del modelo de medición del rendimiento académico

7. Validación

Se propone la ejecución de un experimento controlado con participación de usuarios reales, cuyo propósito es validar la efectividad del sistema de medición y análisis del rendimiento académico en entornos virtuales de aprendizaje (AVA), a partir del cruce de variables observables obtenidas mediante técnicas no invasivas.

Para ello, se seleccionarán uno o varios Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA) previamente validados bajo estándares reconocidos de calidad educativa, utilizando metodologías consolidadas como LORI (Learning Object Review Instrument) (Vargo et al., 2003), COdA (Calidad de Objetos de Aprendizaje) (Fernández et al., 2012) y ECOBA (Evaluación de Contenidos de Objetos de Aprendizaje) (Ruiz González et al., 2006). Estos OVA serán implementados en una muestra representativa de estudiantes seleccionados conforme a los criterios previamente establecidos.

Durante el desarrollo de la experiencia formativa, se capturarán y procesarán datos provenientes del sistema de análisis multimodal (detección de emociones, reconocimiento facial, seguimiento ocular, análisis lexicográfico, entre otros), los cuales serán posteriormente contrastados con los resultados obtenidos por los estudiantes en las evaluaciones asociadas al proceso de aprendizaje.

Este diseño experimental tiene como finalidad verificar la capacidad del sistema propuesto para predecir y explicar el rendimiento académico a partir de indicadores observacionales no invasivos, contribuyendo así a la validación empírica del modelo y al avance del conocimiento en el campo de la neuroeducación apoyada por tecnologías emergentes.

8. Consideraciones finales

El presente trabajo constituye una fase inicial dentro del desarrollo de un proyecto de investigación de mayor alcance titulado: "Modelo de medición del rendimiento académico a partir de técnicas no invasivas de los factores determinantes del aprendizaje". En esta etapa se aborda el proceso de identificación y categorización de las variables relevantes para el aprendizaje, susceptibles de ser medidas mediante métodos no invasivos en entornos virtuales.

El enfoque adoptado en esta fase es predominantemente cualitativo, orientado a la exploración y selección de aquellas variables que inciden significativamente en el proceso de aprendizaje, y que pueden ser observadas durante la interacción del estudiante con Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA) en plataformas digitales.

Esta aproximación busca sentar las bases para el desarrollo de sistemas inteligentes capaces de monitorear de manera automática y remota el estado del proceso de aprendizaje. Ello permitirá a docentes y tutores en entornos e-learning contar con información contextualizada y en tiempo real sobre el desempeño de sus estudiantes, facilitando la toma de decisiones pedagógicas oportunas, sin necesidad de presencia física o supervisión directa constante. Esta capacidad de intervención temprana representa un avance significativo hacia una educación personalizada y adaptativa basada en evidencia.

9. Referencias

- Anderson, J. R., & Crawford, J. (2007). Cognitive psychology and its implications. (7th ed.).
- Anderson, T. (2008). The theory and practice of online learning. athabasca university press. https://doi.org/10.15215/aupress/9781897425084.01
- Azcoaga, J. E. (1987). Aprendizaje fisiológico. Psicología. Lenguaje. Aprendizaje (Actas de las Primeras Jornadas Nacionales de APINEP, Rosario, 1986). Buenos Aires, Ediciones Pedagógicas, 17-32.
- Ba, S., & Hu, X. (2023). Measuring emotions in education using wearable devices: A systematic review. Computers & Education, 200, 104797. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104797
- Baker, R. S., Martin, T., & Rossi, L. M. (2016). Educational data mining and learning analytics. The Wiley handbook of cognition and assessment: Frameworks, methodologies, and applications, 379–396. https://doi.org/10.1002/9781118956588.ch16
- Beatty, J., & Lucero-Wagoner, B. (2000). The pupillary system.
- Black, P., & Wiliam, D. (2010). Inside the black box: Raising standards through classroom assessment. Phi delta kappan, 92(1), 81-90. https://doi.org/10.1177/003172171009200119
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). How people learn (Vol. 11). Washington, DC: National academy press.

- Byrnes, J. P., & Fox, N. A. (1998). The educational relevance of research in cognitive neuroscience. Educational Psychology Review, 10, 297-342. https://doi.org/10.1023/A:1022145812276
- Campos, A. L. (2010). Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano.
- D'mello, S., & Graesser, A. (2013). AutoTutor and affective AutoTutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS), 2(4), 1-39. https://doi.org/10.1145/2395123.2395128
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2013). Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. Springer Science & Business Media.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. Annual review of psychology, 64(1), 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Duchowski, A., & Duchowski, A. (2007). Eye tracking techniques. Eye tracking methodology: Theory and practice, 51–59. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-609-4_5
- Etchepareborda, M. C., & Abad-Mas, L. (2005). Memoria de trabajo en los procesos básicos del aprendizaje. Revista de neurología, 40(1), 79-83. https://doi.org/10.33588/rn.40S01.2005078
- Fernández, P., Domínguez, R., & Armas, R. (2012). Herramienta COdA de Evaluación de la Calidad de Objetos de Aprendizaje, desarrollada en el marco de los Proyectos de Innovación y Mejora de la Calidad de la Docencia.
- Gardner, H. (2000). La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas: lo que todos los estudiantes deberían comprender (Vol. 21). Grupo Planeta (GBS).
- Gašević, D., Dawson, S., & Siemens, G. (2015). Let's not forget: Learning analytics are about learning. TechTrends, 59, 64-71. https://doi.org/10.1007/s11528-014-0822-x
- Gould, E., Beylin, A., Tanapat, P., Reeves, A., & Shors, T. J. (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. Nature neuroscience, 2(3), 260-265. https://doi.org/10.1038/6365
- Greenough, W. T., Black, J. E., & Wallace, C. S. (1987). Experience and brain development. Child development, 539-559. https://doi.org/10.2307/1130197
- Herbert, D. M., & Burt, J. S. (2003). The effects of different review opportunities on schematisation of knowledge. Learning and Instruction, 13(1), 73-92. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00038-X
- Hilton III, J. (2016). Open educational resources and college textbook choices: A review of research on efficacy and perceptions. Educational technology research and development, 64(4), 573-590. https://doi.org/10.1007/s11423-016-9434-9
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. oup Oxford.
- Illeris, K. (2018). A comprehensive understanding of human learning. In Contemporary theories of learning (pp. 1-14). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315147277-1
- Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. Mind, brain, and education, 1(1), 3-10. https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x
- LeFrançois, G. (2012). Theories of Human Learning: What the Professor Said.: Wadsworth. Belmont, CA.
- Marzano, R. J. (2007). The art and science of teaching: A comprehensive framework for effective instruction. Ascd.
- Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, physiology, and function. Journal of cognition, 1(1). https://doi.org/10.5334/joc.18
- Merzenich, M. M. (2001). Cortical plasticity contributing to child development. In Mechanisms of cognitive development (pp. 79-108). Psychology Press.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., & Mitchell, T. M. (2013). Machine learning: An artificial intelligence approach. Springer Science & Business Media.

- Nguyen-Xuan, A. (2020). Cognitive Mechanisms of Learning. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781119750482
- Nulty, D. D. (2008). The adequacy of response rates to online and paper surveys: what can be done? Assessment & evaluation in higher education, 33(3), 301–314. https://doi.org/10.1080/02602930701293231
- Ormrod, J. E., Sanz, A. J. E., Soria, M. O., & Carnicero, J. A. C. (2005). Aprendizaje humano (Vol. 4). Pearson Educación Madrid, Spain.
- Papamitsiou, Z., & Economides, A. A. (2014). Learning analytics and educational data mining in practice: A systematic literature review of empirical evidence. Journal of Educational Technology & Society, 17(4), 49-64.
- Pennebaker, J. W., & Chung, C. K. (2007). Expressive writing, emotional upheavals, and health. Foundations of health psychology, 263–284. https://doi.org/10.1093/oso/9780195139594.003.0011
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. Journal of educational psychology, 82(1), 33. https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.33
- Rosenzweig, M. R. (1986). Multiple models of memory. The brain, cognition, and education, 347-371. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268330-5.50019-6
- Ruiz González, R., Muñoz Arteaga, J., & Álvarez Rodríguez, F. (2006). Formato para la Determinación de la Calidad en los Objetos de Aprendizaje. Primera Conferencia Latinoamericana de Objetos de Aprendizaje, LACLO. Coordinan: Repositorio de Conocimiento Europeo (ARIADNE), Corporación Latinoamericana de Redes Avanzadas (CLARA). Guayaquil, Ecuador,
- Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. Rev. U. Soc. Conocimiento, 1, 1.
- Siemens, G., & Long, P. (2011). Penetrating the fog: Analytics in learning and education. EDUCAUSE review, 46(5), 30.
- Sousa, D. A. (2016). How the brain learns. Corwin Press.
- Swan, M. (2012). Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. Journal of Sensor and Actuator networks, 1(3), 217–253. https://doi.org/10.3390/jsan1030217
- Tokuhama-Espinosa, T. (2010). Mind, brain, and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching. WW Norton & Company.
- UNESCO. (2016). Educación 2030: Declaración de Incheon y Marco de Acción para la realización del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Garantizar une aducación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656_spa
- Vargo, J., Nesbit, J. C., Belfer, K., & Archambault, A. (2003). Learning object evaluation: computer-mediated collaboration and inter-rater reliability. International Journal of Computers and Applications, 25(3), 198-205. https://doi.org/10.1080/1206212X.2003.11441703
- Woolfolk, A. (2006). Psicologia Educativa 9/e. Pearson educación.
- Zeng, Z., Pantic, M., Roisman, G. I., & Huang, T. S. (2007). A survey of affect recognition methods: audio, visual and spontaneous expressions Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces. https://doi.org/10.1145/1322192.1322216
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. Theory into practice, 41(2), 64-70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2

Sobre los autores

- **Andrés Vargas García**: Ingeniero de Sistemas y Computación, Maestría en Ingeniería de Sistemas, Estudiante de Doctorado en Ingeniería. avargas@utp.edu.co
- **Julio César Chavarro Porras**: Ingeniero de Sistemas, Doctor en Ingeniería, Profesor Titular Universidad Tecnológica de Pereira. jchavar@utp.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)