

Adopción de herramientas digitales entre estudiantes de Geociencias a partir del Modelo eTAM

D. Palacio-Jiménez, L. J.D. Valencia-Quiceno, A. Valencia-Arias*, M. Benjumea-Arias

Resumen— Esta investigación busca examinar la adopción de herramientas digitales en estudiantes universitarios en el campo de Geociencias basados en el Modelo de Aceptación Tecnológica para economías emergentes (eTAM). Se ha realizado un análisis cuantitativo a partir de un cuestionario aplicado a 198 estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia. Entre los resultados se destaca la percepción de autoeficacia como una de las variables más influyente del modelo, lo cual, se asocia con la facilidad percibida en el uso de herramientas digitales. Asimismo, la utilidad percibida condiciona el nivel de aceptación de las herramientas digitales en la enseñanza de asignaturas en geociencias.

Términos indexados—Ciencias de la tierra, Enseñanza superior, Innovación educativa, Modelo de Aceptación Tecnológica.

Abstract— This research examines the adoption of digital tools by university students in the field of geosciences based on the technology acceptance model (TAM) for emerging economies. A quantitative analysis was conducted using a questionnaire administered to 198 students at the National University of Colombia. Among the results, the perception of self-efficacy stands out as one of the most influential variables of the model, which is associated with the perceived ease of use of digital tools. Likewise, perceived usefulness conditions the level of acceptance of digital tools in teaching geoscience subjects.

Index Terms—Earth Sciences, Higher Education, Educational Innovation, Technological Acceptance Model.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la discusión sobre la transformación digital ha permeado gran parte de las esferas de la actividad humana incluyendo la innovación, por medio de la cual han surgido nuevas herramientas digitales y la digitalización de las existentes, impactando no solo la calidad de los resultados de la producción técnica y científica, sino también la velocidad de generación [1].

D. Palacio-Jiménez, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Medellín, Colombia. Professor (email: davidpalacioj@gmail.com).

J.D. Valencia-Quiceno, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Master Student (email: jdv00005@mix.wvu.edu).

A. Valencia-Arias, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú. Professor. (email: valencijho@uss.edu.pe). (<http://orcid.org/0000-0001-9434-6923>). Corresponding author

M. Benjumea-Arias, Instituto Tecnológico Metropolitano Medellín Colombia. Professor (email: marthabenjumea@itm.edu.co). (<https://orcid.org/0000-0002-6776-3892>)

De igual forma, la pandemia por COVID-19 reveló la urgencia por la transformación digital derivando en el surgimiento de nuevas aplicaciones, portales, plataforma y herramientas digitales aplicados a diversos campos [2], por lo que desde el sistema educativo han surgido modelos para entender la enseñanza y el aprendizaje basados en la información y la comunicación (TIC) [3].

A partir de lo anterior, algunos autores han concluido que existe un comportamiento cíclico en el que la adopción de herramientas digitales en la educación, lo que amplía la oportunidad de un mayor desarrollo de estas y el aporte en la mediación de nuevos programas de aprendizaje [4], siendo elementos imprescindibles para la educación superior y la educación primaria, secundaria e incluso para las Ciencias, Tecnología, Ingenierías y Matemáticas (STEM) [5]. No obstante, [6] indica que es imprescindible estudiar las ventajas y las desventajas del uso de medios digitales para la enseñanza a partir de las características de una población específica, de modo tal que, al incorporar las TIC a los sistemas educativos tradicionales se pueden suplir carencias en términos de cobertura, relevancia y metodología [7].

Esta investigación agrupa estudiantes del conjunto de disciplinas científicas e ingenieriles afines a las geociencias, las cuales buscan entender los complejos procesos involucrados en la evolución del planeta analizando la dinámica terrestre con el fin de descubrir y aprovechar la ocurrencia de recursos hídricos, minerales e hidrocarburos; entender el comportamiento fenomenológico del clima y los desastres naturales y, entre otras, realizar obras de infraestructura civil sobre la superficie terrestre [8]. Razones por las cuales el conocimiento en el área de las geociencias representa una base fundamental para afrontar los desafíos que implica el crecimiento socio-económico de un país, en especial en las próximas décadas cuando el paradigma de la accesibilidad a fuentes energéticas renovables y no renovables, agotamiento de los recursos hídricos y minerales, distribución y usos del suelo, calentamiento global, incendios forestales, etc. se ha intensificado por la interacción del ser humano con el medio ambiente.

Ha sido tal la acogida en la educación superior en sus enfoques multidisciplinarios, que algunos autores indican que se han transformado los métodos de estudios del campo geológico a partir de herramientas digitales asequibles, ligeras

y precisas, que otorgan beneficios de ubicación rápida y de alta precisión de observaciones, mediciones de mapas digitales, adquisición y registro ágil de grandes conjuntos de datos, así como su visualización [9,10], brindando oportunidades de accesibilidad e inclusión en el trabajo de campo a un público que tradicionalmente no se considera apto para el desarrollo de estas actividades que son parte del ejercicio misional de los programas en geociencias [11,12].

Consecuentemente, una de las principales motivaciones que impulsan el proceso de virtualidad en instituciones educativas, es la posibilidad de ampliar su cobertura para ofrecer diferentes niveles de formación académica a aquellos estudiantes que posean alguna discapacidad física o sensorial [13].

El aprendizaje en el área de las geociencias requiere de una capacidad de transferir conocimiento fenomenológico y teórico en uno práctico, generalmente a través de observaciones de campo, toma de muestras, análisis e interpretación del entorno físico [12]. Por tal motivo, las actividades de laboratorio y salidas de campo son esenciales para comprender los conceptos teóricos orientados a la interpretación de procesos geológicos, los cuales son considerados las tareas más motivadoras y emocionantes para los estudiantes durante toda la formación universitaria [14].

La presente investigación se realiza con el fin de entender y establecer las variables más representativas que influyen en la aceptación, intensión de uso y adopción de herramientas digitales en la formación académica de estudiantes universitarios de geociencias. Para ello se ha empleado el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) propuesto inicialmente por Davis [15] y posteriormente modificado por [16].

A. Antecedentes

Clásicos estudios como [17], señalan que las TIC puede facilitar a profesores y alumnos de las áreas geológicas o de las geociencias, la representación de fenómenos y procesos dinámicos complejos que se desarrollan en contextos regionales, donde su interpretación y comprensión resulta complicada utilizando los métodos tradicionales.

Comprendiendo la literatura científica sobre herramientas digitales de la década anterior y la implementación de TIC permite estimular el proceso de aprendizaje en los estudiantes mediante la articulación de herramientas informáticas que facilitan la interacción en tiempo real simulando un entorno educativo más flexible, dinámico y personalizado [18].

Estos desarrollos en términos de tecnología digital han permitido que otros autores planteen estrategias como los Entornos Personales de Aprendizaje (EPA), posibilitando cambios sustanciales en los sistemas de educación superior incluyendo los pregrados en geociencias. Sin embargo, uno de los retos más importantes que han destacado autores como [19] y [20] es el intercambio de roles educativos, donde el profesor deja de ser el protagonista de la formación académica y el estudiante se convierte en un participante activo del

proceso administrando su horario y ritmo de aprendizaje, transformando el sentido de obligación por gusto al conocimiento. Empero, en el campo de las Geociencias, esta transición de lo presencial a lo digital es un reto, ya que tradicionalmente los estudiantes requieren extensas horas de trabajo en campo y laboratorio para observar, analizar e interpretar los procesos naturales [21].

Además, en la literatura reciente se puede identificar que el uso de herramientas digitales se ha visto potenciado en el contexto de la pandemia, produciendo una innovación incremental a causa del impacto generado sobre el conocimiento y aplicación de la competencia digital, que tiene la finalidad de promover el uso crítico en procesos educativos, científicos, participativos y personalizados; debido a que se involucran nuevas características o mejoras a los productos o servicios existentes [22,23].

Otros autores han mencionado que esta innovación incremental de las herramientas digitales en la práctica educativa es una forma de transitar de la innovación, ya que durante el mismo proceso se tiene la oportunidad de reflexionar sobre la práctica con fines de maduración, consolidación y uso de la tecnología, soportado por una evaluación práctica enfocada en las habilidades desarrolladas en los procesos de enseñanza y aprendizaje [24].

B. TAM original

Autores como [25] y [26] han destacado la importancia de las herramientas digitales en la construcción y enseñanza de contenidos académicos bajo metodologías E-Learning y M-Learning. Inclusive, algunos modelos estadísticos han mostrado que el desempeño de alumnos bajo la modalidad virtual es similar y en ocasiones mejor que la tradicional, no obstante, los cursos con metodologías mixtas han obtenido los mejores resultados [27,28].

El uso de estos modelos estadísticos ha generado que los autores hayan hecho uso TAM siendo uno de los más validados internacionalmente que relaciona las variables de utilidad percibida, facilidad de uso percibida, actitud hacia el uso e intención de uso [29]. Su aplicación en el ámbito educativo se ha visto evidenciado en estudios como el realizado en Arabia Saudita, donde se analizaron diferentes variables de TAM para determinar el uso de la aplicación Zoom en el aprendizaje de idiomas [30]. Similarmente, un estudio realizado en Indonesia investigó los factores más relevantes que impactan la intención conductual de los estudiantes universitarios sobre el uso de metodologías E-learning basado en TAM [31].

Así mismo, en la literatura científica se puede apreciar que TAM ha sido utilizado para la comprensión de los factores que determinan la adopción de herramientas digitales para el contexto educativo, como se evidencia en el estudio de [32], que identificó la intención de uso de herramientas digitales para la educación abierta y a distancia en Malasia. Sin embargo, no se identifican aplicaciones del modelo TAM original para países en desarrollo del contexto latinoamericano. A continuación, se presenta la Figura 1 con

el modelo original:

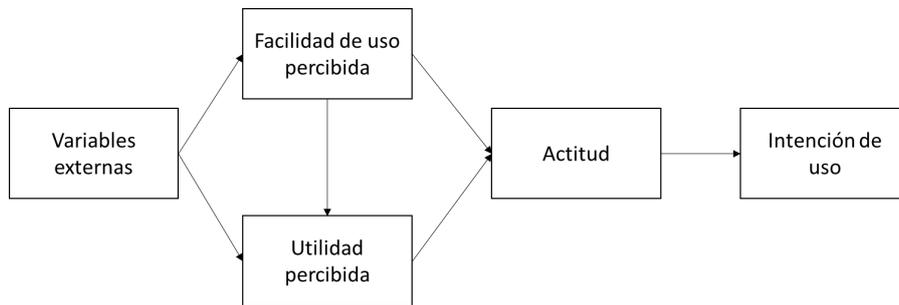


Figura 1. Modelo Teórico de Aceptación Tecnológica (TAM) Fuente: [7].

C. TAM extendido

El TAM es un modelo de intencionalidad que ha sido sujeto de numerosos estudios, siendo el más reconocido y ampliamente utilizado para entender la aceptación y adopción de tecnologías emergentes de los sistemas de información computarizada, analizando la motivación del usuario a través de 2 factores fundamentales: facilidad de uso y utilidad percibidas, teniendo en cuenta que podrían ser influenciadas por actitudes individuales [7,33].

No obstante, el modelo original planteado por [15] contempla la opción de ser analizado a partir de variables externas, siendo definidas en [34] a partir de otros estudios. Estas variables incluyen: Preparación del Instructor, como la capacidad de estos para ajustar sus procesos de enseñanza a herramientas e-learning [35]; Preparación de Estudiantes, relacionado a las habilidades que los estudiantes requieren para utilizar una tecnología en particular [36]; Percepción de autoeficacia, aludiendo a la habilidad de interactuar efectivamente con herramientas tecnológicas [37];

Autonomía de aprendizaje, asociada a la responsabilidad de los estudiantes para mejorar sus habilidades de investigación, escritura y socialización en el aprendizaje [38]; e Innovación personal, para referirse a la actitud de una persona hacia el uso de las nuevas tecnologías de la información [39].

Estas variables han sido validadas en la literatura científica como variables externas idóneas para entender la intención de uso en el contexto de países en desarrollo, complementando la versión original del TAM [34], la cual valida a su vez el modelo ilustrado en la Figura 2, donde se representa la aceptación tecnológica en economías emergentes de acuerdo con la intención de uso de herramientas digitales entre estudiantes universitarios. Este modelo utiliza las mismas 5 variables externas como hipótesis (H) que podrían influir en el comportamiento y actitud de los estudiantes, y estas se relacionan a su vez con la facilidad de uso y la utilidad percibidas.

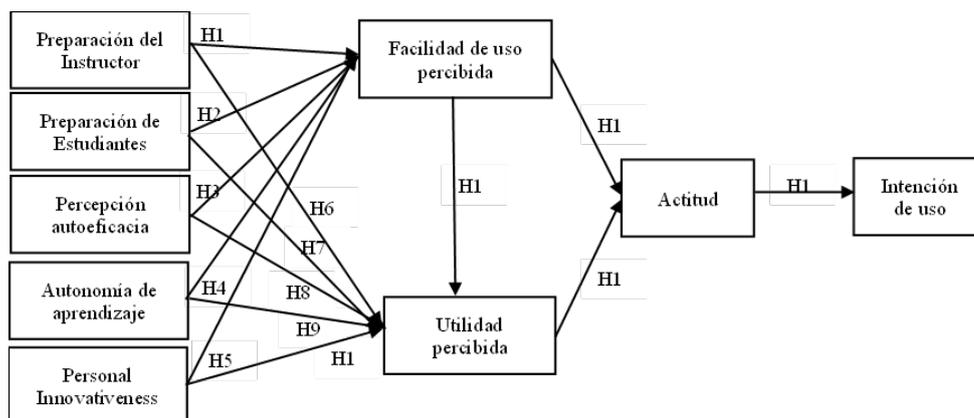


Figura 2. Modelo Teórico de Aceptación Tecnológica para economías emergentes (eTAM) Fuente: Modificado de [34].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación presenta un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo y correlacional, empleando técnicas estadísticas para identificar la intención de adoptar herramientas digitales utilizadas en el área de geociencias. La población objeto corresponde a estudiantes activos de la Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín, pertenecientes a los pregrados de ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería forestal, ingeniería geológica, ingeniería de minas y metalurgia e ingeniería de petróleos. Estos programas tienen como característica en común un amplio componente práctico de campo y conceptual de laboratorio, en el cual, tradicionalmente se ha requerido de frecuentes visitas de campo y modernos laboratorios que permitan una aproximación a los fenómenos estudiados. Tal alcance correlacional, según [40] permitió analizar estadísticamente las variables analizadas en la investigación, conforme con el modelo teórico seleccionado, de modo tal que se pudieran confirmar o negar las hipótesis planteadas.

Se realizó un muestreo no probabilístico por criterio, a partir de los siguientes criterios de inclusión: ser estudiante activo de la Universidad Nacional de Colombia para el año 2020, estar matriculado en alguno de los programas curriculares mencionados y estar matriculado como mínimo el tercer semestre de su pregrado. Los estudiantes de primer y segundo semestre fueron excluidos, ya que, las herramientas digitales que sirven de apoyo para el contenido de cursos en Geociencias normalmente comienzan a utilizarse a partir del tercer semestre, cuando ya hay fundamentos teóricos. Para el análisis cuantitativo, entendiendo el tipo de muestreo, la muestra es planeada a partir de la fórmula para poblaciones finitas, con un nivel de confianza del 95%, que relaciona un valor de Z de 1.96, una proporción esperada del 15%, así como un error de muestreo del 5%, por lo que se tiene una muestra representativa de 198 estudiantes a encuestar, lo que es coherente con la participación definitiva de 198 estudiantes interdisciplinarios, con rangos de edad y programa académicos presentados en la Tabla 1.

Rango de edad	Porcentaje	Género	Porcentaje
18 a 20 años	14%	Femenino	41,9%
20 a 25 años	77%		
26 a 30 años	8%	Masculino	58,1%
Más de 30 años	2%		

Tabla 1. Información demográfica de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

El instrumento de recolección de la información se diseñó a partir de una encuesta con indagaciones tipo Likert de 5 puntos. Este instrumento fue sustentado a partir del propuesto por [34], que también fue propuesto para entender factores de intención de uso a partir de las variables latentes del modelo TAM, así mismo, fue validado por los autores en términos de planteamiento de preguntas a partir del contexto de las

geociencias, así como en aspectos asociados a la sintaxis, la cohesión y demás aspectos de redacción, de modo que se validara la inteligibilidad del instrumento. En ese sentido, a partir de la Tabla 2, se presenta el instrumento aplicado:

N	Afirmaciones
1	Considero fácil acceder a herramientas digitales en los cursos de su carrera
2	Disfrutaría más el trabajo de las materias si se incorporara un mayor número de herramientas digitales
3	La utilización de herramientas digitales me permite realizar los trabajos de forma más rápida
4	Creo que las herramientas digitales en los cursos de mi carrera son útiles para mi aprendizaje
5	Creo que usar herramientas digitales mejora mis habilidades para el aprendizaje
6	Me gusta acceder a las herramientas digitales que los profesores nos muestran en clase
7	Me gusta ser autónomo en mi ritmo de aprendizaje
8	No tengo ninguna dificultad usando las herramientas digitales que los profesores nos muestran la clase
9	Tengo las habilidades necesarias para mejorar mi aprendizaje en las materias de mi carrera con ayuda de las herramientas digitales
10	Mis profesores me motivan para utilizar herramientas digitales en mis procesos de aprendizaje
11	Me gusta conocer sobre nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)
12	Percibo que mis compañeros valoran las nuevas tecnologías como herramientas útiles en nuestras carreras
13	Considero que tendría más oportunidades de adquirir un empleo si tengo dominio de herramientas digitales propias de mi carrera
14	Pienso que los docentes deberían dar un mayor uso a las herramientas digitales en los procesos de enseñanza
15	Los estudiantes deberíamos recibir mayores capacitaciones para una adecuada utilización de herramientas digitales en nuestras materias
16	Considero que, entre mis compañeros, soy de los primeros en probar nuevas herramientas digitales para mejorar mis habilidades
17	Tengo los conocimientos necesarios para utilizar las herramientas digitales disponibles en mi Universidad

Tabla 2. Instrumento de investigación. Elaboración propia a partir de [34]

Inicialmente, la encuesta se estructura con ocho preguntas que buscan caracterizar al encuestado, identificando a cuál pregrado pertenece, cuántos semestres ha matriculado, el género, la edad y su apreciación sobre el uso de herramientas digitales como complemento al desarrollo en sus cursos de pregrado (plataformas, softwares y aplicaciones móviles). Adicionalmente, se indaga acerca de metodologías alternativas en el proceso de aprendizaje y el nivel de apropiación de estas metodologías. Las siguientes tres preguntas son de carácter abierto y buscan identificar las herramientas digitales que han aprendido durante su carrera universitaria, ventajas y desventajas. Para finalizar, se formulan 17 afirmaciones que se relacionan con los constructos del modelo seleccionado, para entender a partir de su estructuración, los factores que inciden en la intención de adoptar herramientas digitales en estudiantes de Geociencias.

Por otro lado, entendiendo el modelo seleccionado, se realiza un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) que permitiera corroborar la validez de las dimensiones heredadas

de la literatura, que en este caso específico son preparación del instructor, preparación de estudiantes, percepción de autoeficacia, autonomía de aprendizaje, innovación personal, facilidad de uso percibida, utilidad percibida, actitud e intención de uso. Se realizó el análisis de fiabilidad de la escala de medición del modelo por medio del Alfa de Cronbach, la prueba de viabilidad de KMO, y el test de esfericidad de Bartlett que confirma la aplicabilidad del AFC; este tratamiento estadístico, así como el análisis de correlación para medir la inferencia que tienen los constructos en la intención de uso se realiza a partir del Software Statistical Product and Service Solutions (SPSS).

Es oportuno mencionar que se tomaron en cuenta consideraciones éticas plasmadas en la Resolución 8430 de 1993, la cual establece lineamientos técnicos, científicos y administrativos para las investigaciones realizadas con seres humanos en Colombia. Dicho rigor se encuentra asegurado en el formato de consentimiento informado que se insertó al inicio del formulario virtual, en este se detallaron objetivos, beneficios, riesgos y demás aspectos clave para poder hacer parte de la pesquisa expuesta en este manuscrito al lector.

III. RESULTADOS

Con el fin de contextualizar los resultados encontrados en el presente estudio, se relacionan al lector con el análisis factorial, la validez convergente, validez discriminante, la fiabilidad del modelo y el contraste de la hipótesis, considerados elementos clave de los modelos que sirvieron como referente para el análisis de los datos recolectados, los cuales fueron procesados con el programa estadístico SPSS [41].

A. Análisis factorial

La interpretación teórica del Análisis Factorial (AF) busca identificar las variables más próximas entre sí, formando clústeres y, a partir de estas agrupaciones, estimar una sub-agrupación para cada caso en un grupo de variables definidas [42]. Su objetivo es encontrar una manera de condensar la información contenida en una serie de variables originales, en un conjunto de factores, con una pérdida mínima de información [43]. Dentro de las técnicas que constituyen el AF, se encuentran el Análisis Factorial Exploratorio (AFE) y el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC).

El AFE es un tipo de análisis multivariante interdependiente, que busca interrelacionar componentes latentes dentro de un conjunto de variables cuantitativas, con el objetivo de reducir dimensiones en las variables de la muestra [44]. Este factor es ampliamente modelado cuando no hay suficiente disponibilidad de evidencias para predecir el conjunto de construcciones [45].

B. Validez convergente

Esta medida permite evaluar el grado de correlación entre diferentes mediciones del mismo concepto, es decir, la validez

convergente existe cuando un mismo rasgo estadístico se correlaciona positivamente por diferentes metodologías [43,46]. Con el objetivo de llevar a cabo un AFE, en primer lugar, es necesario calcular la matriz de correlación (ver Tabla 3), la cual debe determinar el número de factores para después rotarlos y extraerlos para su interpretación [47]. En ese sentido, con el fin de evaluar la evidencia de validez convergente, se aplicó un análisis de la medida Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y el Test de Esfericidad de Bartlett, ya que, estos indicadores miden la adecuación muestral que evalúa si los datos son apropiados para el análisis factorial [44].

El análisis del índice KMO, busca comparar la matriz de correlaciones parciales con la matriz de correlaciones observadas, con el fin de determinar la relevancia de las variables al aplicar AF [42]. La Prueba de esfericidad de Bartlett analiza la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas, mediante la evaluación de la hipótesis nula, la cual indica a priori, que los coeficientes no están correlacionados [44]. De este modo, la Tabla 3 representa los estadísticos mencionados, en donde los valores de la Prueba de esfericidad de Bartlett ofrecen una significación de 0,000 permitiendo rechazar la hipótesis nula de no correlación y el coeficiente de KMO igual o mayor 0,5, concluyendo que es adecuado efectuar el AF.

	Kaiser-Meyer-Olkin	Prueba de esfericidad de Bartlett
Aprendizaje	0,500	0,000
Actitud	0,500	0,000
Facilidad de uso percibida	0,500	0,000
Autoeficacia percibida	0,500	0,000
Preparación estudiantes	0,500	0,000
Innovación personal	0,500	0,000
Preparación del instructor	0,500	0,000
Utilidad percibida	0,533	0,000

Tabla 3. Validez convergente. Elaboración propia.

Adicionalmente, con la finalidad de establecer si el instrumento es correcto, se realizó una matriz de componentes para determinar que los ítems pertenecen a cada constructo (ver Tabla 4), estableciendo como criterio aceptar aquellos índices cuyo valor sea mayor o igual a 0,5 y un promedio igual o superior a 0,7 [48]. De los 17 ítems originalmente analizados, PIns2 no se encontró dentro de los niveles indicados por lo que se ha descartado.

	Ítem	Cargas Factoriales	Promedio
Autoaprendizaje	AA1	0,786	0,786
	AA2	0,786	
Actitud	ACT1	0,806	0,806
	ACT2	0,806	

Facilidad de uso percibida	FU1	0,819	0,819
	FU2	0,819	
Autoeficacia percibida	PA1	0,844	0,844
	PA2	0,844	
Preparación estudiantes	PEst1	0,814	0,814
	PEst2	0,814	
Innovación personal	PI1	0,795	0,795
	PI2	0,795	
Preparación del instructor	PIIns1	0,889	0,889
	PIIns2 (descartado)	0,889	
Utilidad percibida	UP1	0,779	0,718
	UP2	0,850	
	UP3	0,527	

Tabla 4. Cargas factoriales. Fuente: Elaboración propia

Facilidad de uso percibida * Preparación estudiantes	-0,075	0,199
Facilidad de uso percibida * Innovación personal	0,199	0,456
Facilidad de uso percibida * Preparación instructor	0,253	0,499
Facilidad de uso percibida * Utilidad percibida	0,046	0,322
Autoeficacia percibida * Preparación estudiantes	0,033	0,298
Autoeficacia percibida * Innovación personal	0,392	0,609
Autoeficacia percibida * Preparación instructor	0,198	0,480
Autoeficacia percibida * Utilidad percibida	0,154	0,390
Preparación estudiantes * Innovación personal	0,164	0,419
Preparación estudiantes * Preparación instructor	0,012	0,281
Preparación estudiantes * Utilidad percibida	0,201	0,500
Innovación personal * Preparación instructor	-0,036	0,269
Innovación personal * Utilidad percibida	0,083	0,348
Preparación del instructor * Utilidad percibida	-0,042	0,237

Tabla 5. Validez discriminante. Fuente: Elaboración propia.

C. Validez discriminante

En esta validez, se entiende la ausencia de correlaciones estadísticas entre las puntuaciones de las pruebas, como un indicador que no involucra los mismos procesos entre variables [49], donde la correlación debe ser mayor que la que exista con respecto a las medidas propuestas para otra construcción. Por ello, analizada la consistencia interna, es decir, la validez convergente, resulta conveniente realizar una comparación entre las relaciones de los indicadores para demostrar que existe validez discriminante. Dicho procedimiento se realiza por medio de un intervalo de confianza del 95% para las correlaciones entre las construcciones, estableciendo como criterio no incluir el 1 [50] (ver Tabla 5).

	Inferior	Superior
Autoaprendizaje * Actitud	0,375	0,623
Autoaprendizaje * Facilidad de uso percibida	0,177	0,444
Autoaprendizaje * Autoeficacia percibida	0,237	0,498
Autoaprendizaje * Preparación estudiantes	0,150	0,409
Autoaprendizaje * Innovación personal	0,176	0,430
Autoaprendizaje * Preparación instructor	-0,010	0,281
Autoaprendizaje * Utilidad percibida	0,227	0,473
Actitud * Facilidad de uso	0,099	0,369
Actitud * Autoeficacia percibida	0,203	0,470
Actitud * Preparación estudiantes	0,257	0,506
Actitud * Innovación personal	0,138	0,405
Actitud * Preparación instructor	-0,039	0,265
Actitud * Utilidad percibida	0,319	0,547
Facilidad de uso percibida * Autoeficacia percibida	0,358	0,599

El AFC es una técnica de análisis que se utiliza para contrastar modelos de medida a base de una hipótesis en una serie de variables observadas que miden una o más variables latentes (independientes o dependientes). Para ello, se especifican las relaciones entre dichas variables, a partir de cargas factoriales [51]. Con esto, se busca confirmar si el número de factores o construcciones y las cargas de variables observadas en ellos, se ajustan a lo esperado con base en la teoría, para llegar a la confirmación y percibir con precisión la representación de las construcciones por las variables observadas, es necesario evaluar la confiabilidad de la escala [52].

D. Fiabilidad del modelo

La confiabilidad es una evaluación del grado de consistencia entre múltiples mediciones de una variable, específicamente la consistencia interna de los indicadores dentro de un mismo factor [51]. Esta busca que los indicadores individuales de una escala midan la misma construcción y, por tanto, demostrar una alta correlación. Así, una medida de diagnóstico frecuentemente utilizada para medirla es el coeficiente de confiabilidad mediante el Alfa de Cronbach, que también debe cumplir con un criterio, considerándose como límite inferior el valor 0,7 aunque también podría disminuir a 0,6 [43]. Como es ilustrado en la Tabla 6, en todos los casos el coeficiente es mayor a 0,7, por lo que se concluye que los indicadores de cada sub-escala son una medida fiable de la construcción.

	Alfa de Cronbach
Aprendizaje	0,770
Actitud	0,803
Facilidad de uso percibida	0,829

Autoeficacia percibida	0,855	Innovación personal	0,774
Preparación estudiantes	0,778	Preparación del instructor	0,904
		Utilidad percibida	0,738

Tabla 6. Fiabilidad del modelo. Fuente Elaboración propia.

E. Contraste de hipótesis

En esta etapa se empleó el índice d de Somers, el cual es un coeficiente de correlación no paramétrico y asimétrico, para el estudio de relaciones entre variables ordinales. Este estadístico, mide la fuerza y relación entre pares de variables, puede tomar valores que van desde -1, donde todos los pares son discordantes, hasta 1, donde todos los pares son concordantes [53]. En la Tabla 7 se observan los valores obtenidos. Los valores que se acercan a -1 indican el crecimiento de una variable y el decrecimiento de la otra, los valores que se acercan a 0 indican que la relación no es positiva y a su vez no es negativa, y los valores cercanos a 1 indican que ambas variables crecen paralelamente [54]. Las relaciones más significativas encontradas fueron la utilidad percibida y su influencia sobre la actitud (0,507) y la percepción de autoeficacia en la facilidad de uso percibida (0,441).

	D de Somers
H1: Preparación del instructor → Facilidad de uso percibida	0,309
H2: Preparación de estudiantes → Facilidad de uso percibida	0,063
H3: Percepción de autoeficacia → Facilidad de uso percibida	0,441
H4: Autonomía en el aprendizaje → Facilidad de uso percibida	0,318
H5: Innovación personal → Facilidad de uso percibida	0,302
H6: Preparación del instructor → Utilidad percibida	0,064
H7: Preparación de estudiantes → Utilidad percibida	0,319
H8: Percepción de autoeficacia → Utilidad percibida	0,208
H9: Autonomía en el aprendizaje → Utilidad percibida	0,299
H10: Innovación personal → Utilidad percibida	0,169
H11: Utilidad percibida → Facilidad de uso percibida	0,216
H12: Facilidad de uso percibida → Actitud	0,199
H13: Utilidad percibida → Actitud	0,507
H14: Actitud → Intención	0,363

Tabla 7. Contraste de hipótesis. Fuente: Elaboración propia.

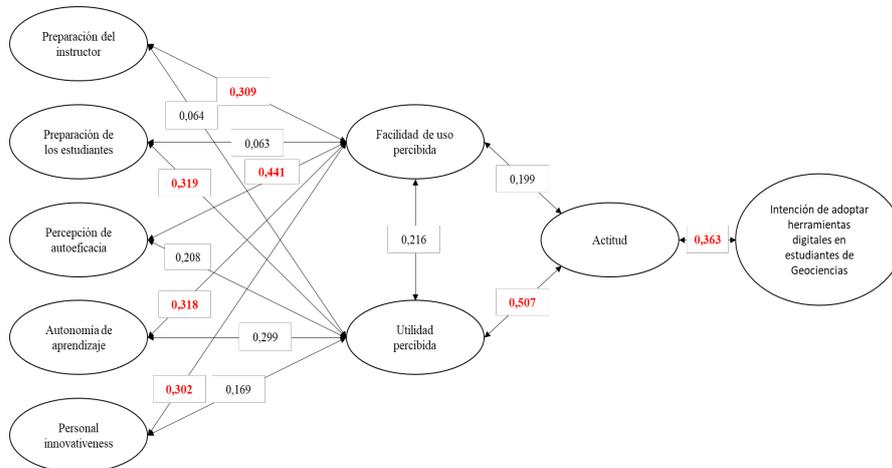


Figura 3. Contraste de hipótesis. Uso de herramientas virtuales de aprendizaje en estudiantes universitarios. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados representados en la figura 3 muestran que en el modelo de uso de herramientas digitales por parte de los estudiantes presenta diversas relaciones positivas (las más destacadas se encuentran en color rojo). Se resalta inicialmente la relación positiva entre la preparación de los estudiantes y la utilidad percibida (0,319), esto indica que entre más capacitado esté un estudiante, el gusto por el uso de las herramientas es mayor, ya que percibe una mayor contribución con el uso de estas.

También se evidencia asociación entre la percepción de autoeficacia con respecto a la facilidad de uso percibida (0,441), nuevamente esto indica que las habilidades necesarias para mejorar el aprendizaje mediante el uso de herramientas digitales y los conocimientos necesarios para el uso de estas herramientas determinan la percepción de la facilidad de usar las herramientas digitales por parte de los estudiantes universitarios.

Además, la autonomía de aprendizaje mostró una relación positiva con respecto a la facilidad de uso percibida (0,318), indicando que el mejoramiento en las habilidades de aprendizaje es un determinante para que un estudiante perciba como sencillo el uso de diversas herramientas digitales. Por esta razón, la influencia de la utilidad percibida frente a la actitud de los estudiantes (0,507) es la relación más fuerte en esta investigación. Por su parte, la preparación del instructor y la innovación personal, no mostraron influir de forma positiva en la utilidad percibida. Así mismo, la preparación de los estudiantes obtuvo una asociación débil con la facilidad de uso percibida.

IV. DISCUSIÓN

Las TIC han adquirido un rol transformador en los sistemas de educación superior a causa de las transiciones en las necesidades formativas de los estudiantes en la década actual, las cuales son totalmente divergentes a los requerimientos académicos de décadas anteriores, obligando tanto a

profesores como estudiantes a desarrollar nuevas destrezas para afrontar la transformación digital de los últimos 10 años y que se ha intensificado bajo el contexto pandémico.

A partir de este estudio, es posible identificar la influencia que tiene la utilidad percibida sobre la actitud en los estudiantes (0,507), la percepción de autoeficacia sobre la Facilidad de uso percibida (0,441), la actitud sobre la intención (0,363), la preparación de estudiantes sobre la utilidad percibida (0,319), la autonomía en el aprendizaje sobre a la facilidad de uso percibida (0,318) y la preparación del instructor sobre a la facilidad de uso percibida (0,309).

Dichos hallazgos son congruentes con la investigación propuesta por [55], cuyo estudio sobre EPA para la enseñanza de ciencias geológicas, demuestra como la integración de las TIC con las dinámicas educativas en este campo, afianza la autonomía del aprendizaje estudiantil. Según [20] los EPA permiten aumentar la motivación del estudiante a través de actividades más interactivas y visuales.

De esta manera, la investigación relaciona el impacto de la preparación del instructor frente a la facilidad de uso percibida (0,309) y la preparación de estudiantes frente a la utilidad percibida (0,319), lo cual está sustentado en el estudio de [56] sobre el rol del estudiante en ambientes mediados por las TIC, demostrando que, el carácter crítico y reflexivo y las habilidades como autogestión y disciplina, son características principales de estos entornos. Similarmente, la investigación de [57], señala que la proliferación de herramientas tecnológicas que fomentan la interacción, colaboración y trabajo en equipo, han sido ampliamente adoptadas por docentes en el proceso de enseñanza.

Aunque diversos autores coinciden con los hallazgos obtenidos en este estudio, existen otras investigaciones cuyos resultados son divergentes, tal es el caso de [58], quien, pese a reconocer el rol revolucionario que han tenido las TIC en la educación, deja en claro que su incorporación en las dinámicas educativas de países en desarrollo, resultan

complejas y poco efectivas. De hecho, [59] en un estudio realizado en la Universidad de Ciencia y Tecnología de Adama (Etiopía), demuestra que, a pesar de que las TIC han alcanzado una inmersión significativa en los procesos educativos, el nivel de adopción personal por parte de estudiantes y docentes presenta limitaciones en términos de orden institucional, debido a la carencia de accesibilidad a las TIC y al poco acompañamiento pedagógico y técnico. Dichas dificultades son comunes y frecuentes en diversos contextos de economías emergentes.

En el ámbito de las geociencias, es importante destacar el constante desarrollo computacional que ha permitido aproximar fenómenos naturales desde el punto de vista del modelamiento numérico y el manejo de grandes volúmenes de datos, reemplazando modelos heurísticos y conceptuales basados en la percepción y descripción fenomenológica, por múltiples softwares para simular, analizar y cuantificar geoprocesos de manera interactiva, precisa y estandarizada, eliminando el sesgo e imprecisión que pueda generar cada profesional. Por tal motivo, desde la academia es importante fortalecer los procesos de aprendizaje con múltiples herramientas digitales, buscando que los estudiantes aumenten el interés por la utilidad percibida o facilidad de uso percibida.

Sin lugar a duda, la crisis sanitaria causada por la pandemia del coronavirus ha dado paso a diversos estudios que buscan adoptar hábitos, estrategias y modelos que conlleven al uso de múltiples herramientas digitales que antes no eran muy utilizadas en los procesos formativos, pero que hoy se han convertido en herramientas fundamentales, generando la oportunidad de trascender en los procesos de enseñanza y aprendizaje [60]. La adopción de las herramientas digitales se encuentra cada vez más relacionada con la innovación incremental, reflejando la resiliencia del sector educativo para superar las adversidades y adaptarse de acuerdo con las necesidades específicas de cada institución.

Por otra parte, es evidente que las investigaciones enfocadas a la apropiación de las tecnologías en los programas académicos de geociencias son escasas. De hecho, la situación pandémica a nivel mundial ha planteado un gran reto académico para profesores y estudiantes, al verse en la obligación de migrar los procesos de enseñanza-aprendizaje a una metodología virtual de manera abrupta e inesperada, obligando a una adopción drástica de las TIC con el fin de reemplazar las actividades educativas tradicionales, con metodologías online mediante herramientas computacionales.

Para la presente investigación, se tienen diferentes limitaciones que deben ser tenidas en cuenta para futuros estudios, como lo son la existencia de una muestra reducida con relación a la población de estudio, es decir, estudiantes de Geociencias, por lo que los resultados no pueden ser generalizados, razón por la cual nuevos abordajes pueden disponer de otros tipos de muestreo que les permita contar con un mayor volumen de participantes, que detallen una muestra más representativa de la población objeto de estudio.

Otra limitación tiene que ver con la ubicación de la muestra seleccionada, y es que, la presente investigación fue realizada

a estudiantes de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, que dan cuenta de necesidades, condiciones, características o particularidades propias del contexto, por lo que se recomienda a futuras investigaciones realizar el estudio en otro segmento poblacional, que pueda dar cuenta de otros resultados u otras particularidades, ampliando el conocimiento existente sobre la adopción de herramientas digitales por parte de estudiantes de geociencias.

Así mismo, futuras investigaciones pueden realizar una revisión exhaustiva de otras variables externas existentes en el modelo TAM, de modo tal que se pueda contar con una mayor precisión a la hora de entender la intención de uso de estas herramientas digitales, o incluso, apuntar al mismo objetivo a partir de otros modelos o teorías que se encuentren rigurosamente validadas en la literatura científica, como lo pueden ser la Teoría del Comportamiento Planificado (TPB), Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT), entre otras.

V. CONCLUSIONES

La presente investigación ha identificado diferentes factores que inciden en el uso de herramientas digitales por parte de estudiantes universitarios afines al campo de las geociencias. Se destaca la percepción de autoeficacia como una de las variables más influyentes del modelo, la cual se asocia con la facilidad innata con que una persona se aproxima a un problema. Asimismo, la utilidad percibida condiciona el nivel de aceptación de las herramientas digitales en el proceso educativo, es decir, el interés de aprender una herramienta está directamente relacionado con la utilidad de dicha herramienta.

Aspectos como la preparación del instructor, preparación de los estudiantes y autonomía para el aprendizaje, son variables adicionales que condicionan la actitud de estudiantes hacia la intención de aprender un software o herramienta nueva. Por lo tanto, estas variables deben ser tenidas en cuenta al estructurar cursos bajo modalidades M-Learning o E-Learning, con el fin de fomentar no solo la adopción de nuevas tecnologías, sino también de concientizar a los estudiantes sobre la aplicabilidad e importancia de las TIC en un mundo industrializado.

La facilidad con que puedan ser utilizadas las TIC al interior del aula de clase por los estudiantes, plantea un reto importante a considerar, pues se debe garantizar un acompañamiento técnico y pedagógico permanente, para que los estudiantes desarrollen las habilidades necesarias para emplear las tecnologías de manera adecuada, conllevando a facilitar la percepción de uso.

La incorporación de las TIC en las dinámicas educativas ha cobrado mayor relevancia en los últimos años debido a la utilidad y aplicabilidad en el campo laboral, ya que, por normativa, gran parte de la información de los proyectos debe presentarse georreferenciada, basada en estimaciones numéricas y estandarizada. Razón por la cual, la adquisición de estos conocimientos es un factor diferenciador en la industria, ocasionando que los estudiantes perciban una gran

utilidad de adquirir competencias digitales.

Para concluir, se ha evidenciado la relevancia que tiene la preparación de los docentes en la aceptación de las TIC por parte de los estudiantes, una cuestión que ratifica el rol fundamental que adquieren los formadores académicos en el proceso enseñanza aprendizaje de nuevas tecnologías.

REFERENCIAS

- [1] T. J. Marion and S. K. Fixson, "The transformation of the innovation process: How digital tools are changing work, collaboration, and organizations in new product development," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 38, no. 1, pp. 192–215, 2021. Doi: 10.1111/jpim.12547.
- [2] Y. Bombard and R. Z. Hayeems, "How digital tools can advance quality and equity in genomic medicine," *Nat. Rev. Genet.*, vol. 21, no. 9, pp. 505–506, 2020. Doi: 10.1038/s41576-020-0260-x.
- [3] L. Amhag, L. Hellström, and M. Stigmar, "Teacher educators' use of digital tools and needs for digital competence in higher education," *J. Digit. Learn. Teach. Educ.*, vol. 35, no. 4, pp. 203–220, 2019. Doi: 10.1080/21532974.2019.1646169.
- [4] D. Hillmayr, L. Ziemwald, F. Reinhold, S. I. Hofer, and K. M. Reiss, "The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis," *Comput. Educ.*, vol. 153, p. 103897, 2020. Doi: 10.1016/j.compedu.2020.103897.
- [5] S. A. Soomro, H. Casakin, and G. V. Georgiev, "Sustainable design and prototyping using digital fabrication tools for education," *Sustainability*, vol. 13, no. 3, p. 1196, 2021. Doi: 10.3390/su13031196.
- [6] O. Zawacki-Richter, "The current state and impact of Covid-19 on digital higher education in Germany," *Hum. Behav. Emerg. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 218–226, 2021. Doi: 10.1002/hbe2.238.
- [7] I. Gómez-Ramírez, A. Valencia-Arias, and L. Duque, "Approach to M-learning Acceptance Among University Students: An integrated model of TPB and TAM," *Int. Rev. Res. Open Distrib. Learn.*, vol. 20, no. 3, pp. 142–164, 2019. Doi: 10.19173/irrodl.v20i4.4061.
- [8] K. S. McNeal, S. L. Courtney, and E. T. Johnson, "Teaching the Earth: Pathways and Careers in Geoscience Education," in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2021.
- [9] A. M. Lundmark, L. E. Augland, and S. V. Jørgensen, "Digital fieldwork with Fieldmove-how do digital tools influence geoscience students' learning experience in the field?," *J. Geogr. High. Educ.*, vol. 44, no. 3, pp. 427–440, 2020. Doi: 10.1080/03098265.2020.1712685.
- [10] S. Tavani et al., "Smartphone assisted fieldwork: Towards the digital transition of geoscience fieldwork using LiDAR-equipped iPhones," *Earth-Science Rev.*, vol. 227, p. 103969, 2022. Doi: 10.1016/j.earscirev.2022.103969.
- [11] A. L. Peace, J. J. Gabriel, and C. Eyles, "Geoscience Fieldwork in the Age of COVID-19 and Beyond: Commentary on the Development of a Virtual Geological Field Trip to Whitefish Falls, Ontario, Canada," *Geosciences*, vol. 11, no. 12, p. 489, 2021. Doi: 10.3390/geosciences11120489.
- [12] C. L. Atchison, A. M. Marshall, and T. D. Collins, "A multiple case study of inclusive learning communities enabling active participation in geoscience field courses for students with physical disabilities," *J. Geosci. Educ.*, vol. 67, no. 4, pp. 472–486, 2019. Doi: 10.1080/10899995.2019.1600962.
- [13] I. G. Carabajal, A. M. Marshall, and C. L. Atchison, "A synthesis of instructional strategies in geoscience education literature that address barriers to inclusion for students with disabilities," *En J. Geosci. Educ.*, vol. 65, Número 4, pp. 531–541, 2017. Doi: 10.5408/16-211.1.
- [14] E. Marcai, W. Viana, R. M. C. Andrade, and D. Rodrigues, "A mobile learning system to enhance field trips in geology," in IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings, pp. 1–8, 2014. Doi: 10.1109/FIE.2014.7044030.
- [15] F. D. Davis, "A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End User Information Systems," *Comput. Sci.*, vol. 146, no. 3652, pp. 1648–1655, 1985. Doi: 10.1126/science.146.3652.1648.
- [16] V. Venkatesh and F. D. Davis, "Theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies," *Manage. Sci.*, vol. 46, no. 2, pp. 186–204, 2022. Doi: 10.1287/mnsc.46.2.186.11926.
- [17] C. Manzano, M. Martínez, and C. Canovas, "Actividades prácticas de Geología y Ciencias de la Tierra a través de Internet," *Enseñanza las ciencias la tierra Rev. la Asoc. Española para la Enseñanza las Ciencias la Tierra*, vol. 12, no. 1, pp. 38–46, 2004.
- [18] E. Said-Hung et al., "Hacia el fomento de las TIC en el sector educativo en Colombia (Elías Said Hung (ed.) Editor. Univ. del Norte, [Online]. Available: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/5705/9789587416329>, 2015.
- [19] M. B. Aránguiz, "Aplicación de Entornos Personales de Aprendizaje en la enseñanza de las ciencias geológicas," XIV Congr. Geológico Chil., pp. 477–479, 2015 [Online]. Available: <https://goo.gl/hjBeul>.
- [20] J. E. Ortiz and T. Torres, "Ayuda virtual al aprendizaje de Geología en la E.T.S.I Minas y Energía de Madrid," *Teoría la Educ.*, vol. 15, no. 3, pp. 24–35, 2014 [Online]. Available: <https://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/12215>.
- [21] M. J. Streule and L. E. Craig, "Social learning theories-an important design consideration for geoscience fieldwork," *J. Geosci. Educ.*, vol. 64, no. 2, pp. 101–107, 2016. Doi: 10.5408/15-119.1.
- [22] M. S. Ramírez-Montoya et al., "Desarrollo Tecnológico del Repositorio Institucional del Tecnológico de Monterrey (RITEC): innovación abierta incremental," 2018. [Http://hdl.handle.net/11285/628047](http://hdl.handle.net/11285/628047).
- [23] J. Vargas-Murillo, "Competencias digitales y su integración con herramientas tecnológicas en educación superior," *Cuad. Hosp. clínicas*, vol. 60, no. 1, pp. 88–94, 2019.
- [24] G. Díaz and G. M. Del Rosario, "Innovación incremental abierta con Blockchain para desarrollar competencias de emprendimiento en MOOC de energía," *Inst. Tecnológico y Estud. Super. Monterrey*, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/636616?locale-attribute=es>.
- [25] L. F. Diez, A. Valencia, and J. Bermúdez, "Agent-based Model for the Analysis of Technological Acceptance of Mobile Learning," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 15, no. 6, pp. 1121–1127, 2017. Doi: 10.1109/TLA.2017.7932700.
- [26] C. Englund, A. D. Olofsson, and L. Price, "Teaching with technology in higher education: understanding conceptual change and development in practice," *High. Educ. Res. Dev.*, vol. 36, no. 1, pp. 73–87, 2017. Doi: 10.1080/07294360.2016.1171300.
- [27] S. M. Sit and M. R. Brudzinski, "Creation and Assessment of an Active e-Learning Introductory Geology Course," *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 26, no. 6, pp. 629–645, 2017. Doi: 10.1007/s10956-017-9703-3.
- [28] D. Pal and S. Patra, "University students' perception of video-based learning in times of COVID-19: A TAM/TTF perspective," *Int. J. Human-Computer Interact.*, vol. 37, no. 10, pp. 903–921, 2021.
- [29] C. Troise, A. O'Driscoll, M. Tani, and A. Prisco, "Online food delivery services and behavioural intention—a test of an integrated TAM and TPB framework," *Br. Food J.*, vol. 123, no. 2, pp. 664–683, 2021. Doi: 10.1108/BFJ-05-2020-0418.
- [30] H. A. Alfadda and H. S. Mahdi, "Measuring Students' Use of Zoom Application in Language Course Based on the Technology Acceptance Model (TAM)," *J. Psycholinguist. Res.*, vol. 50, pp. 883–900, 2021. Doi: 10.1007/s10936-020-09752-1.
- [31] M. Mailizar, D. Burg, and S. Maulina, "Examining university students' behavioural intention to use e-learning during the COVID-19 pandemic: An extended TAM model," *Educ. Inf. Technol.*, pp. 1–21, 2021. Doi: 10.1007/s10639-021-10557-5.
- [32] N. H. M. Noh, R. Raju, Z. D. Eri, and S. N. H. Ishak, "Extending technology acceptance model (TAM) to measure the students' acceptance of using digital tools during open and distance learning (ODL)," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1176, no. 1, p. 12037, 2021.
- [33] S. C. Chang, T. C. Hsu, and M. S. Y. Jong, "Integration of the peer assessment approach with a virtual reality design system for learning earth science," *Comput. Educ.*, vol. 146, p. 103758, 2020. Doi: 10.1016/j.compedu.2019.103758.
- [34] A. Valencia, S. Chalela, and J. Bermúdez, "A proposed model of e-learning tools acceptance among university students in developing countries," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 24, no. 2, pp. 1057–1071, 2019. Doi: 10.1007/s10639-018-9815-2.
- [35] T. Ahmed, "Toward successful E-learning implementation in developing countries: A proposed model for predicting and enhancing

- higher education instructors participation". International Journal of Academic Research in, vol. 3, no. 1, 2013. https://hrmars.com/papers_submitted/9451/toward-successful-e-learning-implementation-in-developing-countries-a-proposed-model-for-predicting-and-enhancing-higher-education-instructors-participation.pdf.
- [36] J. Lee, N. L. Hong, y N. L. Ling, "An analysis of students preparation for the virtual learning environment," The Internet and Higher Education, vol. 4, no. 3, pp. 231–242, 2001. DOI: 10.1016/S1096-7516(01)00063-X.
- [37] S. S. Liaw, "Investigating students' perceived satisfaction, behavioral intention, and effectiveness of elearning: A case study of the blackboard system," Computers & Education, vol. 51, no. 2, pp. 864–873, 2008. DOI: 10.1016/j.compedu.2007.09.005.
- [38] W. Bhuasiri, O. Xaymoungkhoun, H. Zo, J. J. Rho, and A. P. Ciganek, "Critical success factors for elearning in developing countries: A comparative analysis between ICT experts and faculty", Computers & Education, vol. 58, no. 2, pp. 843–855, 2012, doi: 10.1016/j.compedu.2011.10.010.
- [39] E. M. Van Raaij and J. J. L. Schepers, "The acceptance and use of a virtual learning environment in China," in Computers & Education, vol. 50, no. 3, pp. 838-852, 2008, doi: 10.1016/j.compedu.2006.09.001.
- [40] O. N. Patiño-Toro, C. Bermeo-Giraldo, A. Valencia-Arias, and L. F. Garcés-Giraldo, "Factores que inciden en el aprendizaje en gestión tecnológica e innovación en estudiantes de administración mediante el modelo de aceptación tecnológica," Form. Univ., vol. 13, no. 5, pp. 77–86, Oct. 2020, doi: 10.4067/S0718-50062020000500077.
- [41] I. B. M. Corp, "SPSS Statistics," vol. N.o 25., 2018.
- [42] A. Alaminos, F. J. Frances, C. Penalva, and Ó. A. Santacreu, Análisis multivariante para las Ciencias Sociales I Índices de distancia. Universidad de la Cuenca, 2015.
- [43] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson, Multivariate Data Analysis, 7.a. Prentice Hall., 2009.
- [44] M. López-Aguado and L. Gutiérrez-Provecho, "Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS," REIRE Rev. d'innovació i Recer. en Educ., vol. 12, no. 2, pp. 1–14, 2019. Doi: 10.1344/reire2019.12.227057.
- [45] L. Alder, W. R. Lindsay, and B. Lindsay, "Exploratory factor analysis and convergent validity of the Dundee Provocation Inventory," J. Intellect. Dev. Disabil., vol. 32, no. 3, pp. 190–199, 2007. Doi: 10.1080/13668250701549435.
- [46] R. B. Kline, Principles and Practice of Structural Equation Modeling, 4th ed. New York: The Guilford Press, 2023.
- [47] M. T. Escobero-Portillo, J. A. Hernández-Gómez, V. Esteban-Ortega, and G. Martínez-Moreno, "Modelos de Ecuaciones Estructurales: Características, Fases, Construcción, Aplicación y Resultados," Cienc. y Trab., vol. 55, pp. 16–22, 2016.
- [48] D. Frías-Navarro and M. P. Soler, "Prácticas del análisis factorial exploratorio (AFE) en la investigación sobre conducta del consumidor y marketing," Suma Psicológica, vol. 19, no. 1, pp. 47–58, 2012.
- [49] I. Acuña, Y. Michelini, J. I. Guzmán, and J. C. Godoy, "Assessment of convergent and discriminant validity in computerized decision-making tests," Aval. Psicol., vol. 16, no. 3, pp. 375–383, 2017. Doi: 10.15689/ap.2017.1603.12952.
- [50] J. A. Martínez-García and L. Martínez-Caro, "La validez discriminante como criterio de evaluación de escalas: ¿teoría o estadística?," Univ. Psychol., vol. 8, no. 1, pp. 27–36, 2009.
- [51] M. A. Verdugo, M. Crespo, M. Badía, and B. Arias, Metodología en la investigación sobre discapacidad: Introducción al uso de las ecuaciones estructurales: VI Seminario Científico SAID, 2008. Salamanca: Instituto Universitario de Integración en la Comunidad.
- [52] R. S. Vera Costa, "Confirmatory Factor Analysis-A Case study.," 2019.
- [53] R. Newson, "Confidence intervals for rank statistics: Somers' D and extensions," Stata J., vol. 6, no. 3, pp. 309–334, 2006. Doi: 10.1177/1536867X0600600302.
- [54] J. Hernández-March, "La emancipación juvenil: un análisis estadístico aplicado a la comunidad de Madrid". Universidad Complutense de Madrid, 2003.
- [55] M. Basso, Aplicación de entornos personales de aprendizaje en la enseñanza de las ciencias geológicas. XIV Congreso Geológico Chileno, 2015.
- [56] P. Rugeles, B. Mora, and P. Metaute, "El rol del estudiante en los ambientes educativos mediados por las TIC," Rev. Lasallista Investig., vol. 12, no. 2, pp. 132–138, 2015.
- [57] F. Esteve, "Bologna y las TIC: de la docencia 1.0 al aprendizaje 2.0," La Cuestión Univ., vol. 5, pp. 59–67, 2009.
- [58] C. Karamti, "Measuring the Impact of ICTs on Academic Performance: Evidence From Higher Education in Tunisia," J. Res. Technol. Educ., vol. 48, no. 4, pp. 322–337, 2016. Doi: 10.1080/15391523.2016.1215176.
- [59] B. Alemu, "Integrating ICT into Teaching-Learning Practices: Promise, Challenges and Future Directions of Higher Educational Institutes," Univers. J. Educ. Res., vol. 3, no. 3, pp. 170–189, 2015.
- [60] F. J. García Peñalvo, A. Corell Almuzara, V. Abella García, and M. Prado, "La evaluación online en la educación superior en tiempos de la COVID-19", 2020.



David Palacio received the B.E. degree in geologic engineering, the B.E. degree in productivity and quality engineering, and the M.E. degree in analytic engineering from the Universidad Nacional de Colombia. He is a professor at Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Medellin – Colombia). Currently, he is a geological engineer in the Administrative Department for Disaster Risk Management of Antioquia. His research interests include machine learning, technology adoption models, and disaster risks. (e-mail: davidpalacioj@gmail.com)



Juan David received his B.S degree in geological engineering and his specialization in Artificial Intelligence at the National University of Colombia. Currently, he is a research assistant developing a M.S in mining engineering at West Virginia University in the US. His research interest include augmented and virtual reality, machine learning, technology adoption models, and heavy equipment training. (email: jdv00005@mix.wvu.edu)



Alejandro Valencia-Arias received the B.E. degree in management engineering, the M.E. degree in systems engineering, and the Ph.D. degree in engineering–industry and organizations from the Universidad Nacional de Colombia. He has published about 60 articles in international indexed journals. His research interests include mobile learning, technology adoption models, and entrepreneurship. (e-mail: javalenciar@gmail.com)



M. Benjumea Arias: Business Administrator, Specialist in Organizational Management, and Master in Administrative Engineering. She has been engaged in teaching for 22 years and is currently affiliated as a Researcher in research projects with the Metropolitan Institute of Technology (ITM). Her areas of expertise include foresight, entrepreneurship, and business consulting. Email: marthabenjumea@itm.edu.co

