

Simulations and Virtual Laboratories, didactic resource in the teaching of University Mathematics: systematic review

Fernando Ysmael Cenas Chacon, Dr.¹; Fanny Evelyn Blaz Fernández, Mg.¹; Leydidiana Rosibel Gamboa Ferrer, Mg.¹; Yasmina Ramírez Sobalvarro, Dra.².

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú, fernando.cenas@upn.edu.pe

¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, fanny.blaz@upn.edu.pe

¹Universidad Privada del Norte, Campus Virtual, Perú, leydidiana.gamboa@upn.edu.pe

²Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú, yramirezsl@unac.edu.pe

Abstract

Mathematics is considered one of the fundamental disciplines in university education, since it contributes to the formation of skills, a situation that is favored by the use of simulations and virtual laboratories in learning. The objective of this study was to identify the opportunities generated by the use of virtual laboratories and simulation in the learning of mathematics in a period of time from 2019 to January 2024. It was different databases were consulted to carry out the systematic review among these ERIC (Educational Resources Information Center), Google Scholar, Scopus, Redalyc and Dialnet; making use of search formulas (AND, OR), obtaining 274 studies, which were subjected to inclusion and exclusion criteria, and a total of 30 articles were compiled using PRISMA. It was found that the studies analyzed showed that the use of simulation and virtual laboratories are valuable opportunities that contribute to the improvement of students' academic performance, the acquisition and strengthening of innovative skills, support the organization of learning in a sequential manner and increase the levels of understanding and application of concepts. The multiple studies developed revealed that the use of this type of resources used in educational experiences generated significant learning of mathematics, which in turn allowed students to feel more confident and motivated to solve problematic situations in complex environments.

Keywords: Learning, virtual laboratories, mathematics, opportunities, simulations

Simulaciones y Laboratorios Virtuales, recurso didáctico en la enseñanza de la Matemáticas Universitaria: revisión sistemática

Fernando Ysmael Cenas Chacon, Dr.¹; Fanny Evelyn Blaz Fernández, Mg.¹; Leydidiana Rosibel Gamboa Ferrer, Mg.¹; Yasmina Ramírez Sobalvarro, Dra.².

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú, fernando.cenas@upn.edu.pe

¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, fanny.blaz@upn.edu.pe

¹Universidad Privada del Norte, Campus Virtual, Perú, leydidiana.gamboa@upn.edu.pe

²Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú, yramirezsl@unac.edu.pe

Resumen: La matemática se considera parte de las disciplinas fundamentales en la educación universitaria, puesto que la misma aporta a la formación de habilidades, situación que se ve favorecida al hacer uso de la tecnología. El objetivo de este estudio fue identificar las oportunidades que genera el uso de laboratorios virtuales y la simulación en la enseñanza de las matemáticas en un período de tiempo desde 2019 hasta enero 2024. Se consultó diferentes bases de datos para realizar la revisión sistemática entre estas; ERIC (Educational Resources Information Center), Google Scholar, Scopus, Redalyc y Dialnet; haciendo uso de fórmulas de búsqueda (AND, OR), obteniéndose 274 estudios, los cuales se sometieron a criterios de inclusión y exclusión, lográndose recopilar un total de 30 artículos haciendo uso de PRISMA. Se encontró que los estudios analizados, demostraron que el uso de la simulación y los laboratorios virtuales son oportunidades valiosas que aportan al mejoramiento del rendimiento académico de los estudiantes, la adquisición y fortalecimiento de las habilidades innovadoras, apoya la organización de los aprendizajes de forma secuencial y al incremento de los niveles de comprensión y aplicación de los conceptos. Los múltiples estudios desarrollados develaron que el uso de este tipo de recursos utilizados en las experiencias educativas, contribuyeron al desarrollo de mejores prácticas para la enseñanza de las matemáticas, lo cual a su vez permitió que los estudiantes se sienten más seguros y motivados a resolver situaciones problemáticas en entornos complejos.

Palabras clave: Aprendizaje, laboratorios virtuales, matemática, oportunidades, simulaciones.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se formuló para atender la importancia de comprender como los laboratorios virtuales y simulaciones han alcanzado popularidad en el campo de las matemáticas, así como estas herramientas tienen un impacto importante al enseñar esta disciplina. En palabras de [1] la pandemia de COVID-19 se convirtió en el detonante para que las universidades mostrarán mucho más interés en hacer uso de la virtualidad y con ello las simulaciones para apoyar el desarrollo de los cursos y motivar la experimentación de distintas ciencias.

Es por medio de los laboratorios virtuales y la posibilidad de simular que de acuerdo con [2] el estudiante recibe una retroalimentación directa y rápida. Esto sin duda contribuye a una mejora en los universitarios, situación que para [3] implica que los estudiantes se conviertan en protagonistas activos.

El objetivo de este estudio se enmarca en describir como el uso de laboratorios virtuales y la simulación son un recurso didáctico en la enseñanza de las matemáticas en un período de tiempo desde 2019 hasta enero 2024.

II. MARCO TEÓRICO

A. Uso de laboratorios virtuales

Es el uso de la tecnología, la que ha permitido la iniciación del aprendizaje de ciencias como matemáticas con laboratorios digitales [4]. A nivel universitario en la opinión de [5], se requiere de un compromiso por parte de los docentes para poder desentrañar las bondades de la simulación, es al hacer un uso adecuado de la tecnología que los laboratorios virtuales potencian las competencias tanto de docentes como de estudiantes [6]. El estar en contacto con los simuladores el educando se motiva y encuentra nuevos caminos para la enseñanza de ciencias como las matemáticas [7].

Es con el uso de los laboratorios virtuales y las simulaciones que el aula se dinamiza, las matemáticas se vuelven interesantes, convirtiendo al estudiante en protagonista [8]. Fue el surgimiento de las herramientas digitales, las que provocaron una revolución en la educación universitaria, particularmente las matemáticas se benefician de esta situación gestándose con ello una transformación educativa [9].

Se torna una misión y responsabilidad inmediata para las universidades crear las condiciones para el funcionamiento de laboratorios virtuales y establecer programas de simulación que permitan el abordaje de los contenidos con un sentido de futuro y en búsqueda de resolver incógnitas que separan al estudiante del verdadero sentido de querer aprender matemáticas y aplicarlas en su entorno [10]. Solo si logra hacer ajuste y cambios importante en el acondicionamiento de las estructuras físicas de los

laboratorios en las universidades se estará dando pasos importantes para gestar en los estudiantes el deseo de experimentar con ciencias como la matemática y revolucionar la forma tradicional de aprender [11].

El uso de laboratorios virtuales y realizar simulaciones forma parte importante de la educación universitaria, situación que se traduce en la producción de conocimientos científicos [12]. La realización de simulaciones y la constante práctica de actividades académicas en laboratorios virtuales se encuentra asociada al control de riesgos, así como ahorro de tiempo, situación que puede ser aplicada en diversas ciencias [13]. Uno de los retos que es necesario enfrentar, se asocia con evitar la saturación de elementos al momento de hacer las simulaciones, sobre todo con el fin de lograr los propósitos establecidos, situación que es válida cuando se trabaja con matemáticas, física entre otras disciplinas [14].

El empleo de los laboratorios virtuales y los simuladores en la enseñanza de las matemáticas para [15], se han convertido en una oportunidad a nivel de la educación básica y superior, sin embargo, de acuerdo con [16] uno de los mayores retos en educación es hacer uso de softwares libres para que los estudiantes puedan desarrollar lo aprendido, dentro y fuera del aula. En la experiencia de [17], el uso continuo de simuladores y la interacción de los estudiantes con los laboratorios virtuales les permite la aplicación y asimilación de los conceptos. Es por medio del uso de simuladores que se logra hacer un complemento a los procesos de enseñanza presenciales y reales [18]. Al momento de motivar a que los estudiantes incursionen en ciencias como la matemática se logra que el estudiante cree su propia experiencia [19].

Se convierte en una prioridad al momento de enseñar matemáticas, el que los estudiantes compartan sus saberes previos y ocurra una interacción que cree un ambiente motivador [20]. El hacer uso de laboratorios virtuales como una buena práctica educativa implica que los estudiantes dediquen mayor cantidad de tiempo a la experimentación, validando de esta manera su aprendizaje [21]. Al contar con los laboratorios virtuales y hacer uso de simuladores, se puede categorizar a los estudiantes por sus intereses, y las necesidades al momento de aprender matemáticas [22]. Existen múltiples estudios que demostraron la eficiencia en el logro de los aprendizajes, al hacer uso de los laboratorios virtuales [23]. Si se cuenta con laboratorios virtuales y se llevan a cabo simulaciones los estudiantes logran alcanzar niveles mucho más altos de satisfacción en la forma en como aprenden [24].

El uso de las simulaciones se convirtió en los últimos años en una herramienta valiosa para hacer el aprendizaje de las matemáticas algo divertido, donde los estudiantes pueden ser creativos [25]. Por medio de las simulaciones se pueden desarrollar y comprender con mayor detalle aspectos visibles y complejos [26]. De acuerdo con la experiencia de [27] al hacer uso de laboratorios virtuales y simulaciones para la enseñanza de la matemática, se genera un efecto positivo en los logros académicos de los estudiantes, lo cual

se refleja en la mejora del rendimiento. En a través de la simulación que los estudiantes logran mejorar e interesarse por ciencias exactas como la matemática, al mismo tiempo les permite crear relaciones de compañerismo [28]. Se concibe los laboratorios virtuales como recursos didácticos que apoyan el desarrollo de los docentes y de estudiantes, es por medio de estos que se alcanzan habilidades cognitivas más altas y con ello desempeños satisfactorios que validan los conocimientos teóricos [29].

III. METODOLOGÍA

Como primer paso se realizó este estudio utilizando la declaración PRISMA, de acuerdo con [30] se utiliza para hacer revisiones sistemáticas nuevas, actualizadas o modernas. Esta es una guía utilizada para realizar publicaciones de procesos investigativos, la finalidad de esta es contribuir a la integridad y calidad de las investigaciones presentadas bajo la modalidad de revisiones sistemáticas y metaanálisis. A partir de lo anterior, se desarrolló una revisión sistemática considerando las recomendaciones emanadas en PRISMA, la cual permitió hacer una recopilación y organización de los principales hallazgos realizados en diversos estudios que convergen con la pregunta de investigación planteada. El período comprendido fue del año 2019 a enero del 2024, esta se realizó utilizando criterios de elegibilidad para brindar una respuesta a la pregunta de investigación inicial la cual fue ¿De qué forma las Simulaciones y Laboratorios Virtuales, se han convertido en un recurso didáctico en la enseñanza de la Matemáticas Universitaria?, a partir de esta se formularon nuevas preguntas entre estas, ¿Cuáles son los beneficios de utilizar simulaciones y laboratorios virtuales en la enseñanza de las matemáticas? ¿Qué variables han incidido en el aprovechamiento de la simulación y laboratorios virtuales para la enseñanza de las matemáticas? Formó parte del proceso para la clasificación de los artículos hacer uso de filtros de búsqueda de la información, en bases de datos en línea entre estos; Scopus, Eric, Google académico, Redalyc, así como Dialnet, para esto se utilizó la siguiente fórmula: "Simulación" AND "Laboratorios virtual" AND "Enseñanza" AND "Matemáticas" AND "estudiantes universitarios".

Un segundo momento fue el considerar criterios de inclusión que permitieron realizar una selección de artículos ajustados al planteamiento inicial del estudio, entre estos se estimaron: a) experiencias académicas desarrolladas a partir del uso de laboratorios virtuales y procesos de simulación en la enseñanza de las matemáticas. b) Experiencias que validen los aportes realizados en la enseñanza de esta disciplina al haber puesto en práctica la simulación y el uso de laboratorios virtuales, c) artículos en español e inglés, d) escritos publicados entre 2019 a enero 2024. Se consideraron criterios de exclusión entre estos: a) que el abordaje de la temática no se realizará de forma precisa. b) que el artículo no se encontrará disponible en un 100%. c) escritos duplicados y d) estudios ubicados en la categoría de libro, informes institucionales, capítulo de libro, tesis y/o trabajos de fin de estudios. Al finalizarse el proceso de filtrado se procedió a extraer y realizar una

síntesis de cada uno de los documentos, para esto se inició con la revisión del título y del resumen, esto aportó a la labor de filtrado, seguidamente, se realizó la lectura completa de cada uno de los artículos seleccionados, con el propósito de construir el estudio de forma coherente.

Al finalizar la búsqueda se contó con 274 artículos, a estos se les realizó una nueva revisión aplicando los criterios de inclusión y se descartaron 103, entre estos, 52 tenían un título que indicaba la temática, sin embargo, el contenido no fue abordado de forma precisa, 31 se encontraban duplicados, 13 no fueron elegibles por encontrarse en otros idiomas y 7 por ser revisiones documentales. Esto representó contar en esta primera fase de filtrado con 171 artículos, de los cuales 49 fueron excluidos puesto se presentaban experiencias de investigación correspondientes a trabajos monográficos a nivel de grado y postgrado, esto permitió contar al final de esta etapa con 122 escritos, a estos nuevamente se les aplicó un tamizaje y se separaron del análisis a 41 de estos, por no contar con la autorización para acceder al documento de forma completa, quedando 81 elegibles, siempre con el afán de ajustar los artículos encontrados a los criterios se realizó una revisión y se descartaron 31 puesto que exponían sus resultados de forma un tanto confusa y otros 15 escritos su metodología no era clara, lográndose al final contar con un total de 30. La figura 1. muestra el resumen de dicho proceso de filtrado.

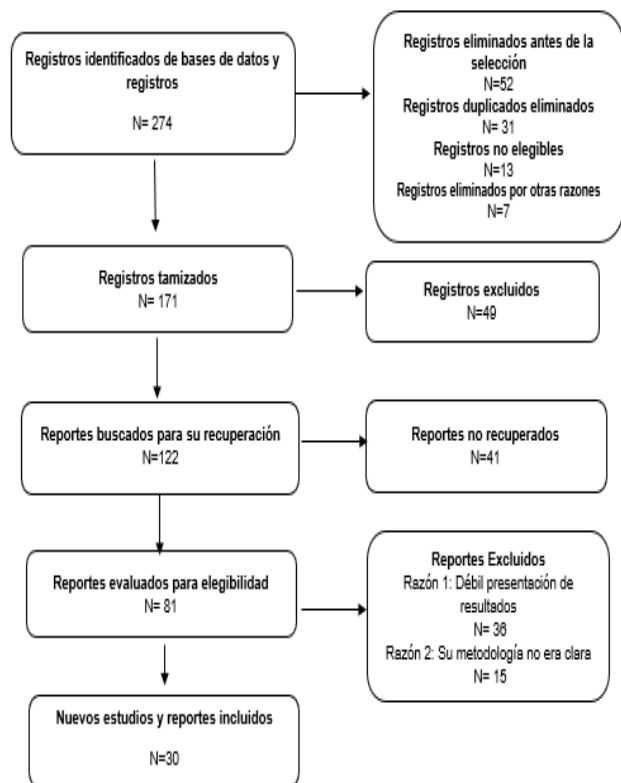


Fig. 1 Flujograma PRISMA

IV. RESULTADOS

En la figura 2, se presenta la frecuencia de publicación para efectos de este estudio, se inicia en el 2019, siendo el 2020 el año que mayor cantidad de publicaciones aportó con un 27%, (8) sosteniéndose el proceso con un 20% en el 2021 y 2022, el año que menor razón de publicaciones se encontró fue 2019 (10), y para el 2023 ocurrió una ligera baja al contar solo con 17% si se compara con los años anteriores, sin embargo, ya en el año 2024 se evidenció el interés por publicar ya inicialmente con (7%), por tanto, es evidente la importancia que han alcanzado la incorporación de la simulación y los laboratorios virtuales al enseñar matemáticas.

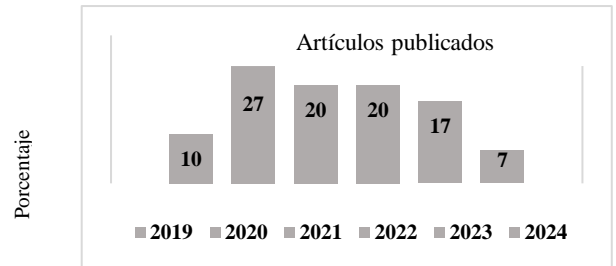


Fig. 2 Número de artículos seleccionados para el análisis publicado de 2019- enero 2024

Al realizar esta revisión de los 274 artículos encontrados se seleccionaron 30, los cuales se muestran en la figura 3 y se indica las bases donde se encuentran disponibles los documentos. Al realizar una revisión detallada de los escritos, se encontró los mismos en diferentes bases de datos, siendo ERIC (Educational Resources Information Center) con mayor cantidad (40%), Google académico (37%), Scopus (13%), Redalyc (7%) y Dialnet (3%)

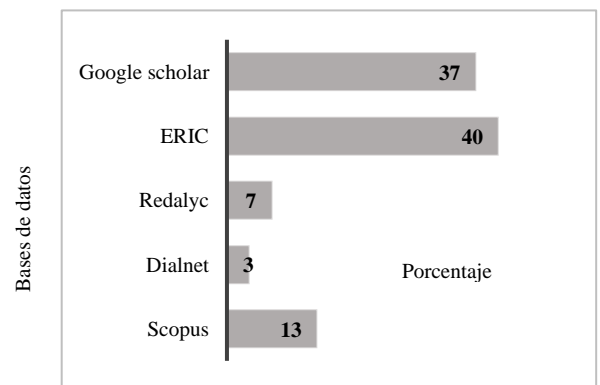


Fig. 3 Bases de datos de los estudios

La figura 4 muestra los instrumentos utilizados en los estudios, de forma particular se reflejó que el instrumento más utilizado fue el cuestionario con un 33%, en un segundo escaño se ubicó la prueba escrita con un 30%, en una tercera posición se situó la encuesta con 13% y el cuarto peldaño fue compartido por la guía de observación en laboratorio y la entrevista con un 10%, y finalmente el instrumento con menor participación fue la rúbrica con un 3%.

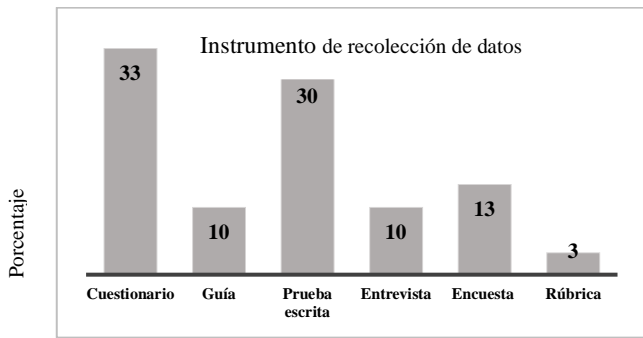


Fig. 4 Instrumentos utilizados en los estudios

En cuanto a los tipos de diseños utilizados existe una relación importante con los instrumentos, puesto que el cuasi experimental se presentó con un 60%, seguido por el descriptivo con un 37% y el experimental alcanzó un modesto 3%. Lo cual se presenta en la figura 5.

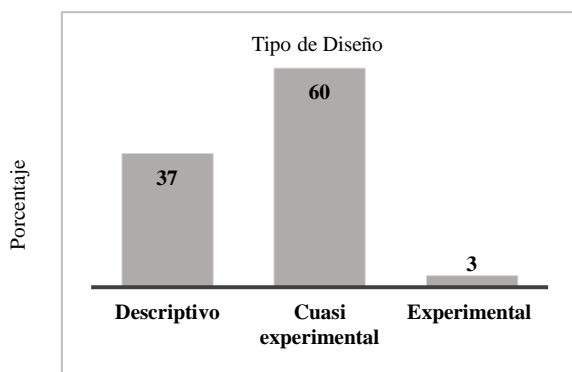


Fig. 5 Tipo de diseño utilizado

En cuanto, al tipo de metodología que se utilizó para llevar a cabo los estudios, estas se muestran en la figura 6. En este sentido se reflejó que 77% (23) se desarrollaron bajo el enfoque cuantitativo, un 13% (4) de forma cualitativa y un 10% (3) de estos se trabajó bajo el método mixto.

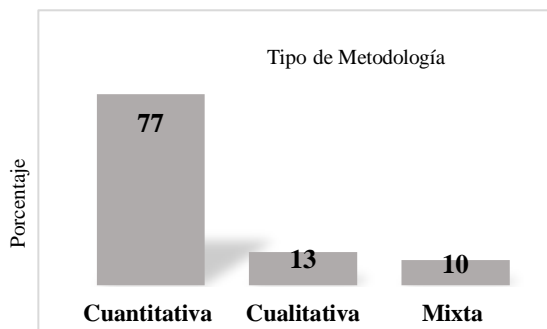


Fig. 6 Tipo de metodología de los artículos analizados

Con respecto al tamaño de la muestra y autores con la que se trabajó en cada uno de los estudios, esta se muestra en la figura 7, donde se expone que la mayor cantidad de participantes fue 4750 en un estudio realizado en Ghana, seguido del estudio desarrollado en México, dicha experiencia contó con 1144 estudiantes, sin embargo, se analizaron artículos donde la muestra fue pequeña y cuyos

hallazgos aportaron a validar el uso de los laboratorios virtuales y los simuladores.

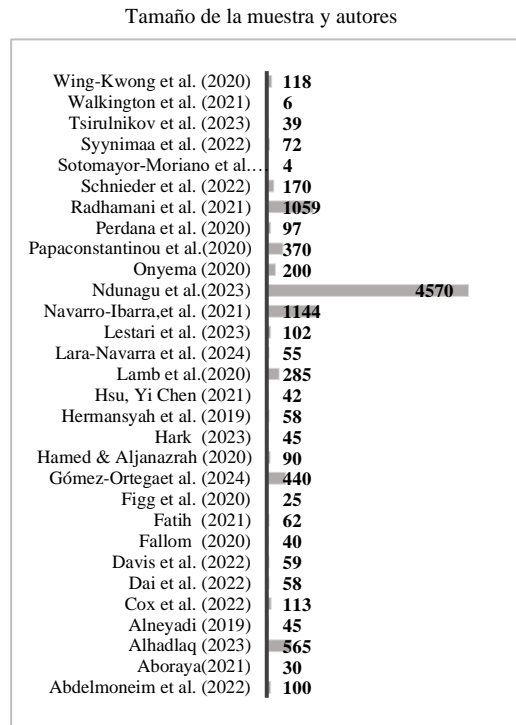


Fig. 7 Tamaño de la muestra por artículo

En la figura 8 se comparte lo relacionado a las categorías creadas a partir de los principales resultados emanados de los artículos consultados, entre estos se estimó que, un 47% (14), han referencia a que el uso de los laboratorios virtuales y la simulación como tal ha representado un incremento en los niveles de comprensión y mejora en el rendimiento académico de los estudiantes participantes, esto seguido por un 20% (6 autores) que mencionan que estas herramientas aportan al desarrollo de las habilidades innovadoras y en una tercera posición con un 17% (5) autores mencionaron que sus resultados se enmarcan en valorar los efectos positivos del uso tanto de las simulaciones y los laboratorios virtuales en la enseñanza de las matemáticas así como otras disciplinas y un 17% (5) autores más, mencionaron que las investigaciones realizadas demostraron una gama de aplicaciones para la enseñanza de las matemáticas.

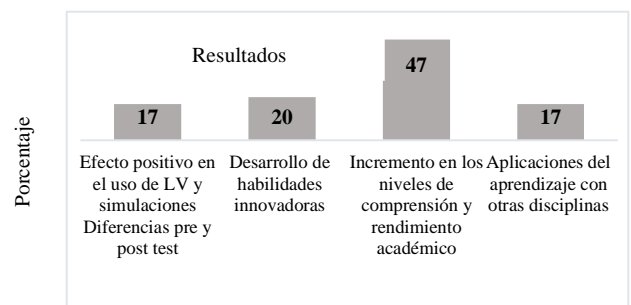


Fig. 8 Categorías de resultados

Con respecto a las conclusiones a las que se arribó en cada uno de los estudios, estas al igual que en el caso de los resultados se agruparon en categorías siendo las más destacadas las que se exponen en la figura 9, entre estas se encontró que un 33% (10 artículos) concluyó que cuando los estudiantes hacen uso de laboratorios virtuales y realizan simulaciones, esto mejora la creatividad y la innovación, modela la forma en cómo piensan y plantean las soluciones a los problemas, por otro lado, un 20% (6) mencionaron que es indudable la evolución en la calidad de los aprendizajes, dado que al hacer comparativas entre los resultados pre y post test ocurrió una variación importante, en un tercer peldaño se ubicó a un compartido 17% donde (5 artículos) mencionan en sus conclusiones que los laboratorios virtuales y simulaciones sin lugar a duda generan un cambio de actitud de los estudiantes frente al aprendizaje de las matemáticas, seguido de otro 17% (5) que expresó que existe una mayor vinculación entre las materias y en la última posición se ubicó a un 13% (4) de los artículos analizados, que reflejaron que con la puesta en práctica de estas herramientas, los estudiantes alcanzaron mayor seguridad al momento de resolver problemas de diferente naturaleza.

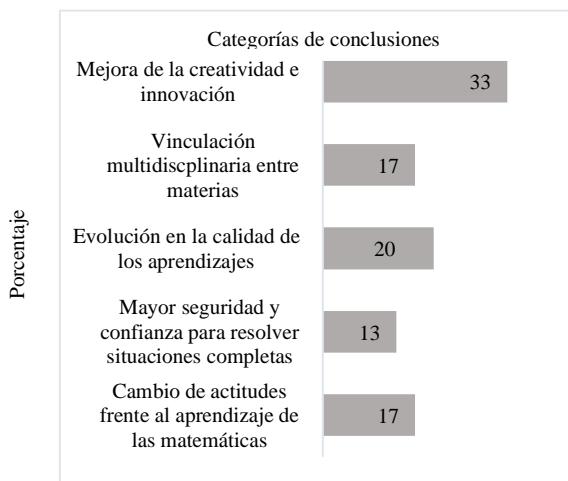


Fig. 9 Categorías de las conclusiones

En cuanto a lo expresado en la tabla 1, los autores encontraron en los estudios desarrollados que es la presencia de la tecnología, de forma concreta el uso de laboratorios y simuladores, el recurso que movilizó la enseñanza de la matemática, a la luz de dichas experiencias se encontró que esto mejora los conocimientos de los estudiantes, aporta a sus aprendizajes de forma autónoma, despierta la curiosidad de los estudiantes y estos asumen un rol de protagonismo mayor en el aula de clase, sin embargo, los autores encontraron limitantes durante la ejecución de dichas experiencias, entre las más comunes se ubicaron: problemas con la infraestructura para el desarrollo de las clases, la débil formación en tecnología por parte de docentes y estudiantes y la actitud de las autoridades e inclusive docentes que no consideraron la puesta en marcha

de estos recursos didácticos como una oportunidad, sino como una carga más de trabajo.

TABLA I.

APORTES Y LIMITANTES DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS

| No | Autores | Principales aportes | Límitantes |
|----|-------------------------------|--|---|
| 1 | Abdelmoneim et al. (2022) | Mejora conocimiento | Ninguna |
| 2 | Aboraya (2021) | Atracción a los simuladores | Desconfianza de participar |
| 3 | Alhadlaq (2023) | Mayor interés de los estudiantes | Demanda mayor acompañamiento |
| 4 | Alneyadi (2019) | Mejora en las actitudes | Tiempo de uso reducido |
| 5 | Cox et al. (2022) | Mejora de los aprendizajes | Débil uso de tecnología por parte de los estudiantes |
| 6 | Dai et al. (2022) | Interés por experimentar | Brechas digitales |
| 7 | Davis et al. (2022) | Optimización del espacio | Actitud poco compromiso |
| 8 | Fallom (2020) | Mejora de la reflexión y análisis | Carencia de antecedentes |
| 9 | Fatih (2021) | Mayor concreción sobre temas abstractos | Formación adicional a docentes |
| 10 | Figg et al. (2020) | Desarrollo de creatividad en matemáticas | Ninguna |
| 11 | Gómez-Ortega et al. (2024) | Rol y protagonismo del estudiante | Débil formación en TIC |
| 12 | Hamed & Aljanazrah (2020) | Se reconoció la necesidad de trabajar con Laboratorios virtuales | Poca disposición de docentes |
| 13 | Hark (2023) | Mayor interés de los estudiantes | Problemas técnicos con internet |
| 14 | Hermansyah et al. (2019) | Mejora de la aplicación de conceptos | Altos costos de los equipos |
| 15 | Hsu, Yi Chen (2021) | Experimentación y mejora de la capacidad de análisis | Tiempo para el desarrollo |
| 16 | Lamb et al. (2020) | Mayor comprensión para hacer uso de simuladores | Grupos muy numerosos |
| 17 | Lara-Navarra et al. (2024) | Identificación de necesidades futuras | Temor al cambio |
| 18 | Lestari et al. (2023) | Mejoró la capacidad de alfabetización digital | Tiempo para el desarrollo |
| 19 | Navarro-Ibarra, et al. (2021) | Mejora en el rendimiento académico | Proceso de normalización de competencias de los participantes |
| 20 | Ndunagu et al.(2023) | Interactuar de manera colaborativa | Mala calidad de las conexiones |
| 21 | Onyema (2020) | Creatividad, innovación al momento de enseñar matemáticas | Débil infraestructura TIC |

| | | | |
|----|---------------------------------|--|--|
| 22 | Papaconstantinou et al. (2020) | Familiarización de los estudiantes con la tecnología | Carencia de recursos digitales |
| 23 | Perdana et al. (2020) | Mejora de las habilidades de alfabetización digital de los estudiantes | Dificultades técnicas |
| 24 | Radhamani et al. (2021) | Fortalecimiento del trabajo sin instructor | Poco conocimiento de la tecnología |
| 25 | Schnieder et al. (2022) | Reforzamiento de contenidos | Necesidad de mayor compromiso y disciplina |
| 26 | Sotomayor-Moriano et al. (2019) | Realización de prácticas controladas | Tiempo para el desarrollo |
| 27 | Syynimaa et al. (2022) | Indagación y curiosidad permanente | Avance lento por falta de competencias |
| 28 | Tsirulnikov et al. (2023) | Mejores resultados académicos | Fatiga visual por el uso de simuladores |
| 29 | Walkington et al. (2021) | Aprovechamiento óptimo de los recursos digitales | Instalaciones para grupos más numerosos |
| 30 | Wing-Kwong et al. (2020) | Actitud positiva por aprender | Acceso limitado a buena conexión de red |

V. DISCUSIÓN

En cuanto al abordaje de como la simulación y el uso de laboratorios virtuales aporta a la enseñanza de las matemáticas universitarias, el análisis realizado producto de esta revisión sistemática evidencia el creciente interés de los expertos por el uso de los laboratorios virtuales y los procesos de simulación en distintas áreas de las ciencias, entre estas las matemática, en este sentido se encontró a [31] quien expresó que al estar el estudiante en contacto con los laboratorios virtuales y hacer simulaciones, genera un efecto positivo, puesto que le permite experimentar en un espacio educativo controlado, esto se encontró en correspondencia con [32]; así como con [33], esto se logró contrastar con estudios realizados por otros expertos tales como [15] y [12].

En cuanto a al desarrollo de habilidades innovadoras, el surgimiento de la creatividad y el crecimiento de la motivación por aprender matemáticas y poder vincularlas en la práctica para dar solución a problemas que aparentemente no eran importantes o cuya aplicación no era valiosa en los entornos laborales, el uso de laboratorios virtuales y la simulación implica que los estudiantes mejoren y fortalezcan estas habilidades, lo cual fueron los resultados de [34]; [35]; [36]; [37]; [38] y de [39], esto se logró comparar con los hallazgos generados en los estudios de [25] quien expresó que la simulación y el poder manipular los experimentos aplicando los conceptos matemáticos y de otras disciplinas asociadas implica un resurgimiento de la creatividad y habilidades de los

estudiantes, esta misma posición fue expuesta por [29]. Sin embargo, es aconsejable que estas herramientas se integren en actividades evaluativas en lugar de utilizarlas únicamente como material extra. Lo cual implica que los docentes preparen guías prácticas de laboratorio que permitan mayor enriquecimiento en el desarrollo de estas experiencias en el aula.

Otra de las categorías que surgieron producto del análisis en este estudio, fue el Incremento en los niveles de comprensión y rendimiento académico, esto fue develado en los estudios de [40], [41]; [42] y [43], entre otros, quienes expresaron que el hacer uso de laboratorios virtuales en diferentes disciplinas, entre ellas la matemática, y el poder manipular software y hacer simulaciones, permitió una mejora en el rendimiento académico, pero sobre todo los estudiantes mejoraron los niveles de comprensión y aplicación de los conceptos teóricos estudiados, con lo cual los estudiantes lograron visualizar la utilidad de los mismos y la vinculación que tienen con otras áreas, situación que no era posible con una clase tradicional, esto a su vez se encuentra en armonía con los resultados encontrados por; [17]; [4]; [6] y [9]. Sobre este apartado las experiencias desplegadas en diversos contextos indican una mejora, sin embargo, es importante considerar que, si en estos se hace uso de instrumentos de autopercepción, puede obtenerse resultados en cierta forma menos objetivos, con lo que se debe de tener cuidado sobre todo si se expresa una mejora significativa en los procesos de aprendizaje.

En cuanto a la puesta en práctica de los contenidos desarrollados durante las clases de matemáticas, los estudiantes expresaron que al hacer uso de las simulaciones y trabajar en los laboratorios virtuales, se genera una sinergia importante entre compañeros, situación que promueve la creatividad y la búsqueda de soluciones nuevas, más allá de competir por una calificación, lo valioso es la organización del trabajo colaborativo y como pueden ser mucho más ingeniosos para resolver los problemas complejos en este campo, esto fue parte de lo validado en los estudios de [44], [45], [46], [47]; así como con lo expresado por [48] y [49], estos resultados se comparan con los encontrados por otros expertos como, [11], [27] y [21]. Aun cuando los estudios desarrollados aportan elementos positivos, no se encontró investigaciones que hayan desarrollado su experiencia de forma longitudinal, lo cual podría validar de forma mucho más robusta los hallazgos planteados anteriormente, a esto se suma el que los resultados expuestos en las publicaciones revisadas no exponen de forma expresa la aplicación de instrumentos validados.

En la opinión [50] el uso de laboratorios virtuales y los procesos de simulación ha implicado un reto para los docentes, puesto que no siempre estos recursos se consideraron herramientas valiosas en la enseñanza de las

matemáticas, sin embargo, en la práctica validada por [51] y [52] el que estos se encuentren presentes en el aula se convierte en la semilla que hace crecer el interés de los estudiantes por transformar su propio aprendizaje, articulando las matemáticas con otras disciplinas y sobre todo encontrándole un sentido altamente práctico, esto se encuentra alineado con los descubrimientos de [53], [54] y [55] y se comparó con los aportes de [14] y [13] quienes, pese a referir la importancia tanto de la simulación como los laboratorios virtuales, expresaron que se debe de vigilar no caer en el abuso de estos. Dicho planteamiento orienta que la integración de la tecnología implica potenciar habilidades en los futuros profesionales, en temas como el pensamiento de modelado y aplicaciones computacionales en el aprendizaje de las matemáticas con supervisión constante.

En cuanto a las aplicaciones del aprendizaje con otras disciplinas, esto fue posible precisamente porque en la experiencia de [56]; [57]; [58]; [59] y [60] la simulación motiva a los estudiantes a participar, disipa el temor a equivocarse, y el uso de los laboratorios virtuales, implica nuevas oportunidades que establecer vínculos entre la teoría y la práctica, entre materias e incluso profesiones, se validó la trascendencia de disciplinas como la matemática y como esta es una de las bases más significativas en el mundo actual, esto a su vez se alinea con la experiencia desarrollada en los estudios de [23]; [10] y [18].

VI. CONCLUSIONES

Se encontró que las simulaciones y el uso de los laboratorios virtuales son recursos que contribuyen a la interacción entre estudiantes y docentes, de tal manera que estos participan en el desarrollo de actividades utilizando dichos recursos didácticos, puesto que esto potencia la capacidad de toma de decisiones, al mismo tiempo que cambia la actitud de los educandos frente a las matemáticas, motivándolos a experimentar, a crear nuevas formas de aplicar los contenidos desarrollados en el aula de clase. Esto se asocia al incremento de la curiosidad científica que genera sobre todo la manipulación de software y el develar nuevas formas de aprendizaje utilizando las simulaciones. Sin embargo y de acuerdo con los estudios revisados, es necesario que estos se desarrollen por períodos de tiempo prolongados de forma que permitan realizar mediciones más precisas de los beneficios que estas generan.

Entre los beneficios que trajo consigo en las experiencias académicas desarrolladas, hacer uso de simulaciones y laboratorios virtuales se ubica el aprendizaje significativo que ocurre producto del trabajo en equipo, el que los estudiantes se sientan más seguros de descubrir novedosas soluciones a problemas que inicialmente podrían ser considerados complejos y que haciendo uso de este tipo de recursos les permite aprender utilizando el ensayo error

como una forma controlada, a esto se une el que se amplía la base de conocimientos de los educandos en el ámbito de las matemáticas, puesto que se construye de forma colaborativa, esto genera un efecto positivo, dado que al hacerse uso de este tipo de recursos, el estudiante se convierten en protagonista y gestor de su aprendizaje, el rol del docente cambia, este se convierte en un acompañante y modelador, quien retroalimenta y motiva a seguir mejorando. Es en la medida que los docentes incorporen este tipo de prácticas en su labor docente, que podría llegar a evaluarse el impacto y cambios ocurridos en este gremio y respaldar de esta forma la relación positiva que genera la tecnología en las matemáticas.

Una de las variables que ha incidido a que ocurra un mayor aprovechamiento es la combinación del uso de laboratorios virtuales con las clases presenciales, puesto que esto permitió el desarrollo de las clases universitarias sobre todo en tiempos de pandemia. A esto se suma que la presencia de estos recursos amplía la base de los conocimientos, los estudiantes desarrollan habilidades de pensamiento crítico y abordaje de situaciones cambiantes, y se logra el establecimiento de vínculos entre diferentes disciplinas, dado de forma particular como la matemática se relaciona con física, estadística, química, biología, geología entre otras materias. Dado el crecimiento que experimenta el uso de laboratorios y simulaciones, se sugiere la creación de programas de formación docente que permita no solo la mejora continua de quienes ya iniciaron su proceso de incorporación de dichos recursos en el aula, sino, llevar la modelación a otro nivel, favoreciendo de esta forma el desarrollo académico de los estudiantes. En esta misma línea es fundamental la promoción de redes y comunidades de docentes que desarrollen experiencias utilizando la tecnología en este campo disciplinar y la incorporación de procesos de evaluación institucional en las universidades, situación que permitirá hacer mediciones sobre el impacto que genera la simulación y el uso de laboratorios virtuales en los procesos de enseñanza de las matemáticas.

VII. REFERENCIAS

- [1] Cleland, J., McKimm, J., Fuller, R., Taylor, D., Janczukowicz, J., & Gibbs, T. (2020). Adapting to the impact of COVID-19: Sharing stories, sharing practice Medical Teacher. *Medical Teacher*, 42(7), 772-775. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1757635>
- [2] Chugh, R., Macht, S., & Harreveld, B. (2022). Supervisory feedback to postgraduate research students: a literature review. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 47(5), 683-697. <https://doi.org/doi.org/10.1080/0142159X.2020.1757635>
- [3] Winstone, N., Boud, D., Dawson, P., & Heron, M. (2022). From feedback-as-information to feedback-as-process a linguistic analysis of the feedback literature. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 47(2), 213-230. <https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1902467>
- [4] López-Sánchez, A. Y., & González-Lara, A. L. (2021). Evaluación de un juego serio que contribuye a fortalecer el razonamiento lógico-matemático en estudiantes de nivel medio superior. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 221-243. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27450>

- [5] Vidal, I. M., Cebreiro-López, B., & Casal-Otero, L. (2021). Nuevas competencias digitales en estudiantes potenciadas con el uso de realidad aumentada. Estudio piloto. RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 24(1), 137-157. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27501>
- [6] Mosquera-Gende, I. (2021). El desarrollo de la competencia digital de futuros docentes en una Universidad en Línea. Bordón, Revista de Pedagogía, 73(4), 121-143. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.89823>
- [7] Mercado, A. E., Sánchez, E., & Rodríguez, A. V. (2019). Estrategias de motivación en ambientes Virtuales para el auto aprendizaje en matemáticas. Revista Espacios, 40(12), 1-9. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a19v40n12/a19v40n12p14.pdf>
- [8] Gil-Galván, R., & Gil-Galván, F. J. (2021). Percepciones de los estudiantes universitarios sobre las. Educación XX1., 24(1), 271-295. <https://doi.org/10.5944/educxx1.26800>
- [9] Rodríguez, M., Huerta, P., Valencia, C., Montano, E., & Ortega, Y. (2023). Innovación educativa con redes sociales aplicada a la asignatura de Salud Pública. Educación Médica, 24(3). <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2023.100798>
- [10] Baig, M., & González-Ceballos, I. E.-G. (2023). Universidades 360. La vinculación de tiempos, espacios y agentes sociales, educativos y comunitarios. Revista de Educación a Distancia (RED), 23(74), 1-21. <https://doi.org/10.6018/red.540591>
- [11] Patterson, E., Pugalía, S., & Agarwal, R. (. (2022). Innovation Management as a Dynamic Capability for a Volatile, Uncertain, Complex and Ambiguous World. (Routledge, Ed.) <https://doi.org/10.4324/9780429346033-23>
- [12] Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research technologies and instructional design. Computers and Education Open, 2(10), 1-18. <http://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>
- [13] Udin, W., Ramli, M., & Muzzazinah. (2020). Virtual laboratory for enhancing students' understanding on abstract biology concepts and laboratory skills: A systematic review. Journal of Physics Conference Series, 1521(4), 1-5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042025>
- [14] Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. Journal of Computer Assisted Learning, 35(6), 691-707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- [15] Zaldívar Colado, A. (2019). Laboratorios reales versus laboratorios virtuales en las carreras de ciencias de la computación. Revista Educativa de la Rediech, 10(18), 9-22. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v10i18.454
- [16] Mar-Cornelio, O., Santana-Ching, I., & González-Gulín, J. (2019). Sistema de Laboratorios Remotos para la práctica de Ingeniería de Control. Revista Científica, 3(36), 356-366. <https://doi.org/10.14483/23448350.14893>
- [17] Triana, K., Herrera, D., & Mesa, W. (2020). Importancia de los laboratorios remotos. Documentos De Trabajo ECBTI, 1(1), 1-14. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/wpecbti/article/view/3976/4086>
- [18] Cayo-Rojas, C. F., & Agramonte-Rosell, R. d. (2020). Desafíos de la educación virtual en Odontología en tiempos de pandemia COVID-19. Revista cubana de estomatología, 57(3), 1-5. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75072020000300017&lng=es&nrm=iso&tting=es
- [19] Peña, A. G., & Medina-Chicaiza, P. (2022). Simuladores virtuales para la transferencia de conocimientos sobre números enteros. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS, 4(6), 236-246. Obtenido de <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/349>
- [20] Dziabenko, O., & Budnyk, O. (2019). Go-Lab Ecosystem: Using Online Labs in an Elementary School. EDULEARN Minutes, 19(1), 9276-9285. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.2304>
- [21] Elmoazen, R., Saqr, M., Tedre, M., & Hirsto, L. (2022). A systematic review of the literature on empirical research on epistemic network analysis in education. IEEE Access (10), 17330-17348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3149812>
- [22] Tulha, C., Carvalho, M., & De Castro, L. (2022). a learning analytics-based framework for analyzing remote laboratory interaction. In Proceedings of the 9th ACM Conference on Learning at Scale (L@S '22), (págs. 379-383). <https://doi.org/10.1145/3491140.3528324>
- [23] Reilly, J., & Dede, C. (2019b). Differences in student trajectories through filtered time series analysis in an immersive virtual world. In Proceedings of the 9th International Conference on Knowledge and Learning Analytics (LAK 2019b), (págs. 130-134). <https://doi.org/10.1145/3303772.3303832>
- [24] Schwandt, A., Winzker, M., & Rohde, M. (2021). Using user activity and system response for learning analytics in a remote lab. Cross-reality and data science in engineering: Proceedings of the 17th international conference on remote engineering and virtual instrumentation, (págs. 63-74). https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_5
- [25] Luliyarti, D. S., & Prasetyo, Z. K. (2020). Development of inquiry-based multimedia learning module with PhET simulation in Newton's law of motion. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, 528, 485-491. <https://doi.org/10.2991/ASSEHR.K.210305.071>
- [26] Liu, C., Bano, M., Zowghi, D., & Kearney, M. (2021). Analysing user reviews of inquiry-based learning apps in science education. Computers & Education, 164, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104119>
- [27] Ünal, I., & Seker, R. (2020). The examination of the effect of virtual laboratory applications on student academic achievement: Electricity unit. Ahi Evran University Journal of Kİrs_ehir Education Faculty, 21(1), 504-543. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kefad/issue/57218/808092>
- [28] Durkaya, F. (2023). Virtual laboratory use in science education with digitalization. Hungarian Educational Research Journal, 13(2), 189-211. <https://doi.org/10.1556/063.2022.00141>
- [29] Yawo Asare, A. H., Annan, J. N., & Ngman-Wara, E. I. (2022). The effect of virtual laboratory on student teachers' achievement in integrated science in Bagabaga college of education, Tamale, Ghana. European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences, 10(1), 26-39. Obtenido de <http://www.idpublications.org/>
- [30] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, E. A. Akl, S. E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. M. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. M. Lahu, T. Li, E. W. Loder y M. -Wils, «The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews.» Revista española de Cardiología, vol. 74, nº 9, pp. 790-799, 2021
- [31] Abdelmoneim, R., Hassounah, Esmail, & Radwan, E. (2022). Effectiveness of virtual laboratories on developing expert thinking and decision-making skills among female school students in Palestine. MODESTUM. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 18(12), 1-16. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12708>
- [32] Figg, C., Khirwadkar, A., & Welbourn, S. (2020). Making "Math Making" Virtual. A Journal of educational research and practice, 29(2), 30-36. Obtenido de <https://journals.library.brocku.ca/brocked>
- [33] Hermansyah, H., Gunawan, G., Harjono, A., & Adawiyah, R. (2019). Guided inquiry model with virtual labs to improve students' understanding on heat concept. Journal of Physics: Conf. Series, 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012116>
- [34] Yildirim, F. S. (2021). The Effect of Virtual Laboratory Applications on 8th Grade Students' Achievement in Science Lesson. Journal of

- Education in Science, Environment and Health (JESEH), 7(2), 171-181. <https://doi.org/10.21891/jeseh.837243>
- [35] Lestari, D. P., Supahar, P., & Suwarjo, H. (2023). Effect of science virtual laboratory Combination with demonstration methods on lower secondary school students' scientific literacy ability in a science course. *Education and Information Technologies*, 28, 16153–16175. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11857-8>
- [36] Perdana, R., Jumadi, J., Rosana, D., & Riwayani, R. (2020). The online laboratory simulation with concept mapping and problem based learning (ols-cmpbl): is it effective in improving students' digital literacy skills? *Cakrawala Pendidikan*, 39(2), 382-394. <https://doi.org/10.21831/cp.v39i2.31491>
- [37] Schnieder, M., Williams, S., & Ghosh, S. (2022). Comparison of In-Person and Virtual Labs/Tutorials for Engineering Students Using Blended Learning Principles. *Educ. Sci.*, 12(153), 1-18. <https://doi.org/10.3390/educsci12030153>
- [38] Sotomayor-Moriano, J., Pérez Zuñiga, G., & Soto, M. (2019). A Virtual Laboratory Environment for Control Design of a Multivariable Process. *Science Direct*, 52(9), 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.116>
- [39] Walkington, C., Gravell, J., & Huang, W. (2021). Using Virtual Reality During Remote Learning to Change the Way Teachers Think About Geometry, Collaboration, and Technology. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 21(4), 1-38. Obtenido de <https://eric.ed.gov/?id=ED618148>
- [40] Cox, F. T., & Orcos, L. (2022). Educación STEM: tecnologías emergentes para el aprendizaje científico. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74), 103-126. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94121>
- [41] Dai, C.-P., Ke, F., Pan, Yanjun, & Liu, Y. (2022). Exploring students' learning support use in digital game-based math learning: A mixed methods approach using machine learning and multi-cases study. *Science Direct*, 194, 1-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104698>
- [42] Davis, T., Merchant, Z., & Kwok, O.-M. (2022). An Examination of Practice-Based Virtual Simulations and Pre-Service Mathematics Teaching Efficacy and Outcome Expectancy. *Educ. Sci.*, 12(262), 1-20. <https://doi.org/10.3390/educsci12040262>
- [43] Radhamani, R., Kumar, Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., & Diwakar, S. (2021). What virtual laboratory use tells us about laboratory skills education before and after COVID-19: Focus on use, behavior, intention and adoption. *Educ Inf Technol (Dordr)*, 26(6), 7477-7495. doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10583-3>
- [44] Onyema, E. M. (2020). Integration of Emerging Technologies in Teaching. *Central Asian Journal of Mathematical theory and computer Sciences*, 1(1), 35-39. Obtenido de www.centralasianstudies.org
- [45] Lamb, R., Lin, J., & Firestone, J. B. (2020). Virtual Reality Laboratories: ¿A Way Forward for Schools? *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(6), 1-13. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8206>
- [46] Aboraya, W. (2021). Assessing students' learning of abstract mathematical concepts in a blended learning environment enhanced with a web-based virtual laboratory. *Journal of e-learning and knowledge society*, 17(3), 50-58. <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135520>
- [47] Tsrulnikov, D., Suar, C., Abdullah, R., Vulcu, F., & Mullarkey, C. (2023). Game on: immersive virtual laboratory simulation improves student learning outcomes & motivation. *FEBSPress*, 13(3), 396-407. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13567>
- [48] Alneyadi, S. S. (2019). Virtual Lab Implementation in Science Literacy: Emirati Science Teachers' Perspectives. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(12), 1-10. <https://doi.org/10.29333/ejmste/109285>
- [49] Hamed, G., & Aljanazrah, A. (2020). The effectiveness of using virtual experiments on students' learning in the general physics lab. *Journal of Information Technology Education: Research* (19), 976-995. <https://doi.org/10.28945/4668>
- [50] Wong, W.-K., Chen, K.-P., & Chang, H.-M. (2020). A comparison of a virtual lab and a microcomputerbased lab for scientific modelling by college students. *Journal of Baltic Science Education*, 19(1), 157-173. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.157>
- [51] Papaconstantinou, M., Kilkenny, D., Garside, C., Ju, W., Najafi, H., & Harrison, L. (2020). Virtual Lab Integration in Undergraduate Courses: Insights from Course Design and Implementation. *CJLT/RCAT*, 46(3), 1-8. doi: <https://doi.org/10.21432/cjlt27853>
- [52] Hark Söylemez, N. (2023). Virtual classrooms in distance education: an examination of virtual classroom experiences. *Acta Didáctica Napocencia*, 16(1), 123-139. <https://doi.org/10.24193/adn.16.1.9>
- [53] Alhadlaq, A. (2023). Computer-Based Simulated Learning Activities: Exploring Saudi Students' Attitude and Experience of Using Simulations to Facilitate Unsupervised Learning of Science Concepts. *Appl. Sci.*(13), 1-14. <https://doi.org/10.3390/app13074583>
- [54] Gómez-Ortega, A., Macías-Guillén, A., Sánchez-de Lara, M. Á., & Delgado-Jalón, M. L. (2024). Una propuesta efectiva de aprendizaje basado en videos: solución para asignaturas universitarias complejas. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 1-27. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37569>
- [55] Fallom, G. (2020). From simulation to reality: investigating young students' learning and transfer of simulations to real tasks. *British technology magazine*, 51(3), 778-797. <https://doi.org/doi:10.1111/bjet.12885>
- [56] Hsu, Y. C. (2021). Exploring the Effectiveness of Two Types of Virtual Reality Headsets for Teaching High School Mathematics. *MODESTUM. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(8), 1-12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10996>
- [57] Lara-Navarra, P., Sánchez-Navarro, J., Fitó-Bertran, À., López-Ruiz, J., & Girona, C. (2024). Explorando la singularidad en la educación superior: innovar para adaptarse a un futuro incierto. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 1-25. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37675>
- [58] Nduagu, J. N., Ukhurebor, K. E., & Adesina, A. (2023). Virtual Laboratories for STEM in Nigerian Higher Education: The National Open University of Nigeria Learners' Perspective. *CEUR-WS.org*, 3393, 1-11. Obtenido de https://ceur-ws.org/Vol-3393/TELL23_paper_3900_4.pdf
- [59] Navarro-Ibarra, L., & Cuevas-Salazar, O. (2021). The Impact of a Didactic Strategy using Technology to Strengthen the Learning of Mathematics. *Journal of Education and e-Learning Research*, 8(1), 90-96. <https://doi.org/10.20448/journal.509.2021.81.90>
- [60] Syynimaa, K., Lainema, K., & Lainema, T. (2022). Identifying challenges in virtual teams: a case study of teamwork in a game-based learning environment. *International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, 1-8. Obtenido de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED626890.pdf>