

SIMULADOR PHET PARA DEMOSTRAR ECUACIÓN DE CONTINUIDAD CON ENFOQUE DIFERENCIAL E INTEGRAL INCLUYENDO VECTORES

PHET SIMULATOR TO DEMONSTRATE CONTINUITY EQUATION WITH DIFFERENTIAL AND INTEGRAL APPROACH INCLUDING VECTORS

Bilvania Johana Cornejo Casco, Hexar David García López y Cliffor Jerry Herrera Castrillo¹

Resumen

El presente artículo investiga el uso de simuladores en la enseñanza de la mecánica de fluidos, con un enfoque específico en la demostración de la ecuación de continuidad. Se utilizó el simulador PhET para aplicar conceptos de integrales, vectores y mecánica de fluidos, y así simular y demostrar de manera diferencial e integral cómo se aplica la ecuación de continuidad. El objetivo principal del proyecto fue diseñar un laboratorio virtual utilizando el simulador PhET como estrategia metodológica para mejorar el aprendizaje de Física en los estudiantes. Se empleó una metodología cualitativa, realizando un análisis interpretativo del fenómeno estudiado, lo que condujo a resultados positivos al demostrar la ecuación de continuidad. En conclusión, este estudio destaca que el simulador PhET es una herramienta eficaz para enseñar y comprender la ecuación de continuidad, resaltando la importancia de la tecnología en la educación científica al proporcionar una experiencia interactiva y visualmente atractiva para los estudiantes.

Palabras Claves: Ecuación de continuidad, integrales, mecánica de fluidos, Simulador PhET, vectores.

Abstract

This paper investigates the use of simulators in the teaching of fluid mechanics, with a specific focus on the demonstration of the continuity equation. The PhET simulator was used to apply concepts of integrals, vectors and fluid mechanics to simulate and demonstrate in a differential and integral manner how the continuity equation applies. The main objective of the project was to design a virtual laboratory using the PhET simulator as a methodological strategy to improve students' learning of Physics. A qualitative methodology was used, performing an interpretative analysis of the studied phenomenon, which led to positive results in demonstrating the continuity equation. In conclusion, this study highlights that the PhET simulator is an effective tool for teaching and understanding the continuity equation, highlighting the importance of technology in science education by providing an interactive and visually appealing experience for students.

Keywords: Continuity equation, integrals, fluid mechanics, PhET simulator, vectors.

¹ Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua).
palmajosdani@gmail.com; garciahexar@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2993-0204>;
cliffor.herrera@unan.edu.ni. <https://orcid.org/0000-0002-7663-2499>

Introducción

Los simuladores son herramientas poderosas en la enseñanza de diversos conceptos, ya que tienen la capacidad de simular fenómenos naturales que son difíciles de observar en la vida real. En este sentido, el software PhET ha sido especialmente diseñado para fomentar el desarrollo de la investigación y la ciencia a través de la exploración de escenarios educativos.

Una de las ventajas más destacadas de los simuladores en el ámbito educativo es la posibilidad de interactuar con conceptos de manera experimental y realista. Estos recursos permiten a los estudiantes llevar a cabo experimentos virtuales y manipular variables para comprender mejor los principios científicos subyacentes. A través de la interacción con los simuladores, los estudiantes pueden explorar y experimentar en un entorno seguro y controlado, lo que les brinda la oportunidad de cometer errores y aprender de ellos sin riesgos.

El motivo de llevar a cabo este estudio radica en la necesidad de diseñar y proponer un laboratorio virtual que aborde y explore diversos aspectos y elementos relacionados con la ecuación de continuidad en su forma general, así como en su forma diferencial e integral.

La creación de un laboratorio virtual se considera fundamental debido a su potencial para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y brindarles una experiencia práctica y interactiva en el estudio de la ecuación de continuidad. A través de este laboratorio, los estudiantes podrán experimentar y manipular distintos escenarios relacionados con la ecuación de continuidad, lo que les permitirá comprender de manera más profunda su funcionamiento y aplicaciones en la física, especialmente en el campo de la mecánica de fluidos.

Al proponer un laboratorio virtual, se busca superar las limitaciones de los métodos de enseñanza tradicionales y proporcionar una herramienta educativa innovadora y accesible, que pueda ser utilizada tanto de forma individual como en entornos de aprendizaje colaborativo. De esta manera, se espera fomentar un mayor interés y participación de los estudiantes, así como mejorar su comprensión y dominio de los conceptos relacionados con la ecuación de continuidad.

En la revisión de la literatura, la cual se encuentra en el siguiente apartado de este artículo, se ha constatado una escasez de investigaciones que se centren en el diseño de laboratorios virtuales específicos para la enseñanza de la mecánica de fluidos. Esta brecha identificada motiva el presente estudio, que tiene como objetivo principal colmar esa carencia y brindar una comprensión más profunda de la ecuación de continuidad y su aplicación en este campo.

La falta de enfoque en el diseño de laboratorios virtuales en mecánica de fluidos es un aspecto relevante, ya que estas herramientas educativas interactivas pueden ser de gran utilidad para el aprendizaje de los estudiantes. Al proporcionar un entorno virtual de experimentación y exploración, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes adquirir una comprensión más práctica y aplicada de los conceptos teóricos, como la ecuación de continuidad.

Por lo tanto, este estudio se propone abordar esta brecha al desarrollar un laboratorio virtual que se enfoque específicamente en la ecuación de continuidad y su aplicación en la mecánica de fluidos. Mediante esta herramienta, se busca proporcionar a los estudiantes una experiencia de aprendizaje interactiva y enriquecedora, donde puedan realizar experimentos virtuales, manipular variables y observar los efectos en el flujo de fluidos, con el objetivo de comprender en profundidad el funcionamiento y las implicaciones prácticas de la ecuación de continuidad.

Al realizar esta simulación, se busca proporcionar a los estudiantes una herramienta interactiva que les permita comprender de manera más efectiva los conceptos y principios relacionados con la ecuación de continuidad. De este modo, se pretende superar las dificultades de aprendizaje asociadas a este tema y promover un mayor nivel de comprensión y dominio de la materia. La simulación proporciona una experiencia práctica y visual que permite a los estudiantes explorar y experimentar con los conceptos de la ecuación de continuidad, lo que contribuye a un aprendizaje más significativo y duradero.

Según Muñoz Vallecillo et al. (2023), en su estudio, señalan que:

Demostrar un principio físico que a simple vista es de lo más difícil, poderlo percibir y captar desde la realidad misma, juega en gran medida un papel muy fundamental al momento de impartir un contenido, en este caso los docentes, se convierten en pilares de la innovación e interacción para el desenvolvimiento del proceso educativo, al mismo tiempo está el papel que ocupa el estudiante al ser el constructor de su propio conocimiento; no obstante debe entenderse que la tecnología es pieza fundamental en el proceso de enseñanza aprendizaje, pero para que sea efectiva el docente debe utilizar oportunamente los entornos educativos. (p. 49)

En este contexto, el simulador PhET se presenta como una herramienta que combina la tecnología y la educación, permitiendo a los estudiantes interactuar con conceptos abstractos de manera visual y práctica. El PhET ofrece simulaciones interactivas que pueden ser utilizadas para demostrar principios físicos y fenómenos complejos, brindando a los estudiantes la oportunidad de experimentar y explorar de forma virtual.

En este estudio sobre el uso del Simulador PhET en la demostración de la ecuación de continuidad en forma diferencial e integral, al tomarse en cuenta vectores, se utilizaron diversos métodos de análisis para deducir la aplicabilidad de esta propuesta y su impacto en la mejora de la calidad educativa en la temática seleccionada. Esta investigación es de tipo descriptiva pues se pretende describir el proceso metodológico de la realización de la simulación y la aplicación de los conceptos teóricos, así como el diseño de una rúbrica de evaluación.

Según Ponce Valdés et al. (2021), PhET es un recurso gratuito disponible que puede ser utilizado en la enseñanza de la Física, una ciencia que se basa fundamentalmente en la experimentación. Además, señalan que las nuevas generaciones muestran un marcado interés por las nuevas tecnologías.

Por su parte, Quijano Hernández y Almeida Sánchez (2021) plantean la importancia de fomentar ambientes de aprendizaje que aborden de manera integral contenidos, procesos, intereses y habilidades mentales. También destacan la necesidad de adaptar las actividades al entorno de los estudiantes y de implementar estrategias que permitan un seguimiento y retroalimentación efectivos de los aprendizajes, esto porque el uso de simuladores como el simulador PhET permite a los estudiantes tener una participación activa en su aprendizaje, lo que conduce a una mayor comprensión de los conceptos y a una mejor retención de los aprendizajes. La experiencia práctica

y visual que brinda el simulador les permite explorar, experimentar y realizar conexiones significativas entre la teoría y la práctica, lo cual facilita un aprendizaje más sólido y duradero.

En la actualidad, las nuevas generaciones muestran un notable interés por las nuevas tecnologías, lo cual brinda una oportunidad única para aprovechar herramientas como el simulador PhET en el entorno educativo. Este recurso interactivo y visualmente atractivo tiene la capacidad de captar la atención de los estudiantes y fomentar su participación activa en el proceso de aprendizaje. Como señala Arancibia et al. (2021), a través de los simuladores, los estudiantes pueden desempeñar un papel activo en su propio aprendizaje, avanzando a su propio ritmo y logrando una adquisición adecuada de los conocimientos. Esto les permite tener una mayor comprensión y retención de los aprendizajes.

El uso del simulador PhET en la enseñanza de la física permite superar las limitaciones de los enfoques tradicionales, proporcionando una experiencia inmersiva en la que los estudiantes pueden explorar y experimentar fenómenos físicos de manera virtual. Para Carrión-Paredes et al., (2020) “PhET está diseñado para el fortalecimiento del desarrollo investigativo y científico a través de la exploración de escenarios educativos” (p. 196), esto les brinda a los estudiantes la oportunidad de realizar observaciones, mediciones y análisis de datos, contribuyendo a su comprensión de los conceptos físicos, así como fomentando el pensamiento crítico y la resolución de problemas.

Como plantean Lino-Calle et al., (2023)

El desafío que enfrenta el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en el nivel de bachillerato radica principalmente en la falta de motivación por parte de los estudiantes, quienes tienden a perder interés en clases que se centran en la teoría y la resolución de ejercicios sin comprender su aplicación en situaciones reales. (p. 2298)

El problema abordado en este trabajo de investigación se origina debido a la necesidad de introducir laboratorios en el currículo de la asignatura de Física. Sin embargo, se enfrenta a desafíos relacionados con la disponibilidad limitada de equipos y otros recursos necesarios para llevar a cabo prácticas experimentales tradicionales. Además, se observa una brecha entre los conceptos aprendidos en el aula y su aplicación práctica en situaciones reales. Asimismo, existe una falta de actualización en las herramientas y materiales educativos utilizados por los docentes en el proceso de enseñanza.

En este contexto, se ha destacado que los simuladores en línea ofrecen a los estudiantes la oportunidad de experimentar fenómenos físicos de manera interactiva, como se menciona en la investigación de Rosales Guamán et al. (2023). Estos simuladores en línea representan una alternativa prometedora, ya que permiten a los estudiantes participar activamente y realizar experimentos virtuales que simulan situaciones reales. Esto compensa las limitaciones asociadas con los laboratorios físicos y proporciona una experiencia práctica y visual que facilita una comprensión más profunda de los fenómenos físicos.

La incorporación de laboratorios virtuales, a través de simuladores en línea, aborda los desafíos mencionados anteriormente, al brindar a los estudiantes la oportunidad de interactuar con conceptos y principios físicos de manera práctica e inmersiva. Además, estos recursos actualizados y accesibles contribuyen a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica, al tiempo que proporcionan una plataforma de aprendizaje moderna y adaptable a las necesidades de los estudiantes.

Los laboratorios virtuales y los simuladores en línea permiten a los estudiantes explorar y manipular parámetros como la velocidad del flujo, el área de la sección transversal y la densidad del fluido para comprender cómo influyen en la ecuación de continuidad. Los estudiantes pueden realizar simulaciones interactivas y observar cómo cambia el caudal en función de estas variables, lo que les ayuda a comprender mejor los principios subyacentes de la ecuación de continuidad.

A lo largo de este estudio, se exploran diferentes conceptos, ecuaciones y figuras aplicadas a la simulación llevada a cabo. Esto permite un análisis inicial de la ecuación en cuestión y facilita la comprensión de los aspectos matemáticos, como ecuaciones y gráficos, entre otros. Sin embargo, esta investigación se limita a la demostración diferencial e integral de la ecuación de continuidad, siendo este el alcance del estudio.

Para llevar a cabo este estudio, se hace referencia a fuentes confiables que fundamentan el proceso de demostración, lo cual es clave para respaldar científicamente este trabajo. Además, se utiliza la tecnología, en particular el simulador PhET, como una herramienta conveniente y eficaz para llevar a cabo la demostración requerida en este estudio.

Revisión de la literatura

El uso de PhET en temas de mecánica de fluidos ofrece numerosos beneficios y oportunidades de aprendizaje. A continuación, se destacan algunos trabajos relacionados con el tema:

A nivel internacional

García Garavito (2020) realizó un estudio titulado “Simulador PhET como Herramienta de Apoyo en la Enseñanza de la Física en la Educación Media”, En este proyecto, se aplicó la investigación cualitativa de tipo explicativo, utilizando como elementos principales los referentes teóricos de investigaciones previas en el mismo contexto y diversas herramientas tecnológicas, incluyendo el simulador PhET, en el proceso educativo. El objetivo fue mejorar la comprensión de los conceptos teóricos en la asignatura de física mediante la interactividad y la participación activa de los estudiantes. La implementación del simulador permitió a los estudiantes aprender de forma autónoma, mientras que el docente actuaba como facilitador y orientador del proceso. Durante el desarrollo del proyecto, los estudiantes mostraron una actitud positiva, participaron de manera activa y colaborativa, y se observó un desarrollo autónomo. Además, el uso del simulador PhET permitió al docente planificar, guiar y sistematizar el proceso de enseñanza.

Rivadeneira Flores (2020) llevó a cabo un estudio sobre uso de simuladores para el estudio de mecánica de sólidos en los estudiantes de primero de bachillerato del Colegio Universitario “UTN”, periodo académico 2019-2020, la educación ha experimentado cambios constantes y los docentes han buscado utilizar herramientas digitales para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. En el siglo XXI, el uso de simuladores como Modellus, Algodoo o PhET ha demostrado ser una propuesta novedosa que promueve un aprendizaje significativo en la enseñanza de la mecánica de sólidos. Estos simuladores no reemplazan la experimentación, sino que la complementan, especialmente en instituciones sin laboratorios de física. El enfoque educativo de cada simulador

varía, pero todos ayudan a representar situaciones cotidianas y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Lora Pino y González Blanquicett (2022) realizaron la investigación “Evaluación de guías de laboratorio basadas en simuladores PhET para el aprendizaje de la Física en estudiantes de media académica de la Institución Educativa Jean Piaget del municipio de Chinú Córdoba”. Esta investigación evaluó el uso de simuladores interactivos (PhET) como recurso didáctico en el aprendizaje de la física en estudiantes de la media académica del colegio Jean Piaget en Chinú, Córdoba. El estudio abordó la transformación hacia la educación virtual debido a la pandemia, así como la falta de materiales y laboratorios adecuados. Los resultados mostraron que el simulador PhET fue de alta calidad y propició un mejor desempeño de los estudiantes, aumentando su interés y motivación. Las guías basadas en simulaciones PhET resultaron ser valiosos recursos para los docentes al facilitar el aprendizaje de los estudiantes y fortalecer sus competencias científicas y tecnológicas.

A nivel nacional de Nicaragua

En la tesis doctoral de Herrera Castrillo (2023) titulada "Metodología para el Aprendizaje por Competencias de Ecuaciones de la Física Matemática al utilizarse Tecnología", se plantea una propuesta innovadora para la asignatura de electromagnetismo. El autor sugiere el uso del simulador PhET como una herramienta tecnológica que promueve el aprendizaje por competencias. Esta metodología busca mejorar la comprensión de las ecuaciones de la física matemática al ofrecer a los estudiantes la oportunidad de interactuar de manera práctica y visual con los conceptos del electromagnetismo. El enfoque se centra en el desarrollo de habilidades y competencias, permitiendo que los estudiantes adquieran un conocimiento más profundo y significativo de los fenómenos electromagnéticos. La propuesta de Herrera Castrillo destaca el potencial del uso de PhET como recurso didáctico en la enseñanza de esta asignatura, proporcionando una experiencia de aprendizaje enriquecedora y motivadora para los estudiantes.

Por su parte, Muñoz Vallecillo et al., (2023) realizó un trabajo titulado “Uso de simuladores y asistente matemático en la demostración del principio de Pascal al aplicarse integrales y vectores”. El objetivo de este trabajo fue presentar una propuesta para el uso de simuladores y asistente matemático en la demostración del principio de Pascal, aplicando Integrales y Vectores para reforzar los conceptos de Cálculo integral y Álgebra. Se utilizó el asistente matemático Wolfram Alpha para la demostración matemática y los simuladores PhET correspondientes al principio de Pascal y a la prensa hidráulica. Mediante métodos naturales y comunes, se logró analizar y comprender este principio, así como el funcionamiento de la prensa hidráulica y su relación con el principio de Pascal. La evaluación del trabajo se realizó mediante una rúbrica diseñada para valorar el desarrollo de la propuesta.

La revisión realizada reveló que existen numerosos trabajos en el campo de la educación que proponen estrategias didácticas utilizando simuladores virtuales. Estos simuladores se presentan como herramientas efectivas para promover el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias en diversas disciplinas. Sin embargo, se observó que hay pocos trabajos específicos relacionados con la enseñanza de la mecánica de fluidos utilizando simuladores virtuales. Esto indica una brecha en la aplicación de estas tecnologías en el campo de la mecánica de fluidos, lo cual representa una oportunidad para futuras investigaciones y propuestas didácticas. Es necesario fomentar el desarrollo de recursos y estrategias que utilicen simuladores virtuales para abordar de

manera efectiva los conceptos y principios de la mecánica de fluidos, enriqueciendo así la enseñanza de esta área de estudio.

El estudio llevado a cabo por Castillo-Castillo et al., (2023), donde se investigaron los trabajos de grado realizados en Nicaragua durante el período 2018-2022. Los resultados revelaron que temáticas como cuerpos celestes, física cuántica y mecánica de fluidos no se abordaron en profundidad. Esta situación motivó al grupo de investigadores a centrarse en el estudio de la viscosidad de los fluidos, utilizando herramientas de matemáticas aplicadas.

A continuación, se muestra el referente teórico sobre aspectos matemáticos (cálculo y álgebra), la ecuación de continuidad en forma diferencial e integral, su importancia en el aprendizaje, las dificultades que presentan los estudiantes y la evaluación de los aprendizajes.

Integral definida

Para Bravo, et al., (2022) “El concepto de integral y en general del cálculo integral tuvo su origen histórico en la necesidad de resolver problemas concretos, uno de cuyos ejemplos más característicos es el cálculo del área de una figura curvilínea” (p. 9)

Zill (1987) plantea que: “Sea f , una función definida en un intervalo $[a, b]$. Entonces la integral definida de f de a a b , denotada por $\int_a^b f(x) dx$, se define como:

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{\|p\| \rightarrow 0} \sum_{k=1}^n f(x_k^*) \Delta x_k \quad (\text{p. 274}). \quad (1)$$

Sin embargo, existe una segunda forma para plantear el teorema fundamental del cálculo. Zill (1987), lo escribe de la siguiente manera: “Sea f continua en $[a, b]$, y F cualquier función para la cual $F'(x) = f(x)$. Entonces

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (\text{p. 284}). \quad (2)$$

La integral definida desempeña un papel fundamental en la aplicación de la ecuación de continuidad, ya que permite calcular el caudal volumétrico a partir de la velocidad del flujo y el área de la sección transversal. Al definir adecuadamente la integral, se establece un marco teórico sólido para realizar los cálculos necesarios en el contexto de la ecuación de continuidad.

Además, la integral definida proporciona una interpretación física clara del caudal volumétrico en términos de la acumulación de flujo a lo largo de un conducto. Permite determinar la cantidad de fluido que atraviesa una sección transversal en un intervalo de tiempo específico y proporciona una medida cuantitativa precisa del caudal.

En el artículo, se resalta cómo el uso del simulador PhET, junto con la utilización de la integral definida, permite a los estudiantes explorar y comprender de manera visual y práctica cómo se relaciona el caudal volumétrico con la velocidad y el área en el contexto de la ecuación de continuidad. Esto facilita la comprensión de los conceptos teóricos y promueve una aplicación más precisa y rigurosa de la ecuación de continuidad en problemas prácticos.

Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos es una rama de la mecánica de los medios continuos, que estudia el comportamiento de los fluidos (gases y líquidos) así como los esfuerzos a que estos están sometidos, asume que los fluidos verifican las leyes de conservación de la masa, cantidad de movimiento, la primera y segunda ley de la termodinámica. Pero probablemente la hipótesis más importante es la de medio continuo. Esta es la hipótesis fundamental de la mecánica de fluidos y establece que el fluido es un material continuo a lo largo del espacio que ocupa, ignorando por tanto su estructura molecular y las discontinuidades asociadas a la misma. (Rojas, et al., 2023, p. 36)

Ecuación de continuidad

La mecánica de fluidos es una disciplina de la física que se dedica al estudio del comportamiento de los fluidos, como líquidos y gases, así como su interacción con fuerzas y superficies. En este campo, la ecuación de continuidad desempeña un papel fundamental, ya que es una de las ecuaciones fundamentales utilizadas para describir la conservación de masa en un flujo de fluido.

La ecuación de continuidad establece que, en un flujo estable y sin pérdidas, la masa total de un fluido que ingresa en una sección debe ser igual a la masa total que sale de esa sección. Esto implica que el caudal, que es la cantidad de fluido que pasa por unidad de tiempo, se mantiene constante a lo largo de una tubería o conducto.

Esta ecuación se expresa matemáticamente relacionando el área de la sección transversal del conducto y la velocidad del fluido en esa sección. A medida que el área de la sección disminuye, la velocidad del fluido aumenta para mantener constante el caudal. Por el contrario, en secciones más amplias, el fluido se desplaza a una velocidad menor debido al mayor espacio disponible.

En la forma diferencial, la ecuación de continuidad establece que la variación temporal de la densidad de masa en un punto está relacionada con la divergencia del flujo de masa en ese punto. Matemáticamente, se expresa como:

$$\partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (3)$$

Donde ρ es la densidad de masa del fluido, v es el vector de velocidad del fluido y $\nabla \cdot (\rho v)$ es la divergencia del flujo de masa.

La ecuación de continuidad en forma integral se utiliza para relacionar el flujo de masa a través de una superficie con la variación temporal de la masa dentro de un volumen. Esta ecuación se expresa matemáticamente como:

$$\int \rho dV + \int (\rho v) \cdot dA = 0 \quad (4)$$

Donde la primera integral representa la masa contenida dentro del volumen y la segunda integral representa el flujo de masa a través de la superficie cerrada que rodea el volumen.

Estas ecuaciones de continuidad son esenciales en la mecánica de fluidos, ya que permiten comprender cómo se conserva la masa en un flujo de fluido y cómo se relaciona el flujo de masa con la variación temporal de la masa en un volumen.

Simuladores

Para Herrera Castrillo, (2020) “el uso de software educativos, para realizar simulaciones de fenómenos experimentales, permite en los estudiantes la mejor comprensión de los contenidos, ya que se vincula la teoría con la práctica de forma virtual” (p. 22). Un simulador en física puede ser una representación computacional precisa de un fenómeno físico específico, como la simulación de un choque entre dos objetos o el movimiento de un proyectil en un campo gravitatorio. También puede ser un entorno interactivo donde se pueden ajustar variables y parámetros para explorar diferentes escenarios y observar los efectos resultantes.

La finalidad de un simulador en física es facilitar la comprensión y el estudio de los principios físicos, proporcionando una plataforma para experimentar y observar los efectos de las interacciones y condiciones variables de manera controlada y segura. Además, los simuladores en física pueden utilizarse para diseñar y optimizar sistemas físicos, predecir resultados experimentales y ayudar en la toma de decisiones en diversos campos, como la ingeniería, la investigación científica y la educación.

Simulador PhET

Como indica Vargas Guadir, (2020) PhET es un recurso educativo altamente valioso que ofrece simulaciones gratuitas, entretenidas e interactivas basadas en investigaciones realizadas por el proyecto PhET de la Universidad de Colorado. Estas simulaciones, que utilizan tanto Flash como Java, están disponibles para su descarga gratuita en todos los sistemas operativos.

Evaluación de los aprendizajes

La evaluación en el contexto del modelo curricular basado en competencias asume una connotación diferente, dada por la utilidad que los estudiantes le otorgan, así como también por la diversidad de tareas de evaluación y evidencias que deben levantar para dar cuenta del propio desempeño. (Páez-Herrera, et al., 2023, p. 3041)

Rúbrica

Las rúbricas son recursos que cuentan con un gran potencial educativo, no solo al servicio de la educación primaria y secundaria, sino también en los estudios universitarios. En este ámbito educativo, las rúbricas son especialmente útiles por su contribución al desarrollo y a la evaluación de competencias, pilar fundamental de la educación superior. (Alcón Latorre, 2016, p. 11)

Materiales y Métodos

Paradigma

Esta investigación se enmarca primeramente en el paradigma Interpretativo, pues, como lo señala Zavala Arnal y Salinas (2017), se pretende "comprender e interpretar la realidad, los significados y las intenciones de las personas" (p.295).

Este paradigma se fundamenta en el proceso de conocimiento, que implica una interacción entre el sujeto y el objeto. Durante esta interacción, la observación no solo afecta y modela al objeto que se está observando, sino que también el observador es influenciado y moldeado por dicho objeto. Esta dinámica no puede ser eliminada, incluso si el observador deseara hacerlo. En todo momento, la investigación se ve influenciada por los valores del investigador, y es responsabilidad de este último reflejarlos adecuadamente en sus informes.

Enfoque

El enfoque que se utilizó en la investigación es el cualitativo; como señala Barrantes (2014) el enfoque cualitativo de investigación se enmarca en el paradigma científico naturalista, el cual, también es denominado naturalista-humanista o interpretativo, y cuyo interés "se centra en el estudio de los significados de las acciones humanas y de la vida social" (p. 82).

El enfoque cualitativo fue utilizado porque parte de postulados propios del paradigma y determina características particulares en la investigación.

Tipo de investigación

Según su aplicabilidad.

Investigación básica

"La investigación básica o fundamental, proporciona una amplia visión de muchos campos científicos diferentes. El objetivo de esta modalidad de investigación es buscar respuestas a preguntas fundamentales" (Castillo, 2020, p.1).

Según el alcance o nivel de profundidad.

Investigación descriptiva

El objetivo de este tipo de investigación es únicamente establecer una descripción lo más completa posible de un fenómeno, situación o elemento concreto, sin buscar ni causas ni

consecuencias de éste. Mide las características y observa la configuración y los procesos que componen los fenómenos, sin pararse a valorarlos. (Salamanca, 2018, p.4)

En estas investigaciones se deben cumplir ciertos requisitos que se enumeran a continuación:

- La manipulación intencional de ciertas variables independientes.
- Medir el efecto que la variable independiente tiene sobre la variable dependiente.
- Control del experimento ante variables ajenas al experimento.

Recolección de la información

En este apartado se recopila toda la información necesaria para poder llevar a cabo este proceso investigativo, poniendo en práctica la aplicabilidad de los conceptos o definiciones científicas. Dada las características de esta investigación, la información se recolectó mediante fuentes primarias y Secundarias, ya que la obtención de los datos fue a través de las investigaciones de diferentes campos en estudio involucrados a espacios específicos y generales.

Fuentes de información

Primarias.

Según Morales (2021):

La fuente primaria contiene información original y, por tanto, nueva. Esta información es el resultado de un trabajo intelectual, por tanto, contiene información que no ha sido alterada, interpretada o analizada. En otras palabras, información que se mantiene intacta desde su elaboración. Este tipo de información es frecuente encontrarla en trabajos académicos como la tesis doctoral, la tesis de un máster, un libro, patentes, así como otros similares. Además, también es frecuente encontrar fuentes primarias en enciclopedias, diccionarios, guías, fuentes bibliográficas, entre otros. (p. 4)

Secundarias.

Las fuentes secundarias son aquellas que proporcionan información y análisis sobre un tema o evento basándose en fuentes primarias previamente existentes. Estas fuentes son creadas por investigadores, académicos, periodistas u otros autores que no tuvieron acceso directo a los eventos, personas o fenómenos que están estudiando.

Las fuentes secundarias pueden incluir libros, artículos de revistas académicas, informes de investigación, enciclopedias, reseñas de libros, comentarios y análisis de expertos, entre otros. Estas fuentes se basan en la recopilación, el análisis y la interpretación de información y datos ya existentes, que a menudo provienen de fuentes primarias como documentos históricos, entrevistas, datos estadísticos, registros gubernamentales, entre otros.

En esta investigación fueron utilizados Google Académico y Repositorio UNAN Managua.

Análisis de Resultados

En esta sección se exponen los resultados principales en relación con los objetivos planteados, los cuales consisten en el diseño y propuesta de un laboratorio virtual utilizando el simulador PhET como estrategia metodológica para mejorar el aprendizaje de Física en Mecánica de Fluidos. Es importante destacar que se han utilizado los métodos de análisis mencionados previamente para evaluar la información recopilada. A continuación, se presentan en detalle las principales conclusiones derivadas de este proceso.

Con el fin de respaldar la demostración de la ecuación de continuidad en su forma diferencial e integral, considerando vectores, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de cada uno de los conceptos que sustentan dicha demostración. Se utilizaron los métodos de análisis previamente descritos para examinar la información recopilada. Los resultados de este análisis se resumen en la siguiente tabla de análisis cualitativo.

No obstante, es importante mencionar que, a pesar de los esfuerzos realizados, algunos de los objetivos planteados no pudieron ser completamente alcanzados debido a limitaciones de recursos o a la complejidad inherente de los conceptos abordados. Estas limitaciones podrían haber repercutido en la profundidad y precisión de los resultados obtenidos.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para comprender y demostrar la ecuación de continuidad en su forma diferencial e integral, teniendo en cuenta los vectores. Estos hallazgos pueden ser de utilidad para investigaciones futuras en el campo de la mecánica de fluidos y contribuir al desarrollo de nuevos enfoques y aplicaciones de la ecuación de continuidad.

Tabla 1

Conceptos clave

Aspecto	Descripción
Integrales	Integración es una rama del cálculo y del análisis matemático. La integral es una operación inversa a la diferencial de una función, esta parte de cálculo ha sido retomada en este trabajo para integrar la ecuación de continuidad en forma diferencial y obtener la ecuación de forma integral.
Vectores	Los vectores son una magnitud física que poseen dirección y sentido, estos sirven para demostrar magnitudes vectoriales como; la fuerza, la aceleración, la velocidad y el desplazamiento. Existen muchos tipos de vectores entre ellos sobresale el vector unitario, ya que es utilizado en la demostración de la ecuación de continuidad en forma diferencial e integral representando el desplazamiento entrando y saliendo en un volumen de control siendo así perpendicular al área.
Mecánica de fluidos	La mecánica de fluidos es una rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos partiendo desde su estado hasta sus movimientos y de ella se deriva la ecuación de continuidad, esta ha sido retomada para su demostración mediante el simulador PhET (presión de fluido y flujo).

Tecnología educativa	La tecnología es una herramienta fundamental en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje, ya que brinda muchos métodos prácticos y analíticos como lo son los simuladores estos permiten la demostración de muchas ecuaciones físicas de una manera visible, fácil y creativa, tal es el caso del simulador PhET, el cual, ha sido utilizado para la demostración de la ecuación de la conservación de la masa (ecuación de continuidad).
Evaluación	Evaluación es un proceso de análisis de información destinado a describir la realidad. Existen muchos tipos de evaluación entre ellos se resaltan; Evaluación diagnóstica, evaluación formativa y evaluación sumativa que permiten la valoración del trabajo investigativo y demostración, así como, orden y estructura.

Nota. Elaboración propia

Se empleó un simulador, que se encuentra en PhET para demostrar la continuidad de la ecuación con respecto al caudal, la presión del fluido y el flujo, y así confirmar que se cumple la relación $A_1V_1 = A_2V_2$. Esta ecuación establece que, en un sistema fluido, la cantidad de fluido que atraviesa una sección es igual a la cantidad de fluido que atraviesa otra sección. En otras palabras, cuando un fluido circula, la cantidad de fluido que pasa por una sección determinada es igual a la cantidad que pasa por otra sección. Esta demostración utilizando el simulador PhET permite visualizar de manera interactiva cómo se mantiene la igualdad en diferentes condiciones de caudal, presión y flujo del fluido.

Al utilizar la simulación, se logró observar un escenario en el que se representa una tubería con un diámetro constante inicial. Además, se pudieron aprovechar varias opciones e instrumentos que el simulador proporciona, como el ajuste del caudal para modificar la cantidad de flujo volumétrico que circula a través de la tubería. Otros instrumentos utilizados incluyeron el velocímetro, que permitió determinar la velocidad del fluido, el manómetro de presión absoluta para medir las presiones absolutas, una regla graduada para medir el diámetro de la tubería y un medidor de flujo para representar visualmente el valor del caudal, entre otros. Además, cabe destacar que la simulación también permitió reducir el diámetro de la tubería, lo que brindó mayor flexibilidad en la exploración de diferentes escenarios.

Utilizando las diversas opciones e instrumentos proporcionados por el simulador, se logró una simulación efectiva que permitió observar la demostración de la ecuación de continuidad en su forma general, expresada mediante la fórmula $A_1V_1 = A_2V_2$. Esta fórmula representa la conservación de la masa y pudo ser visualizada en la simulación.

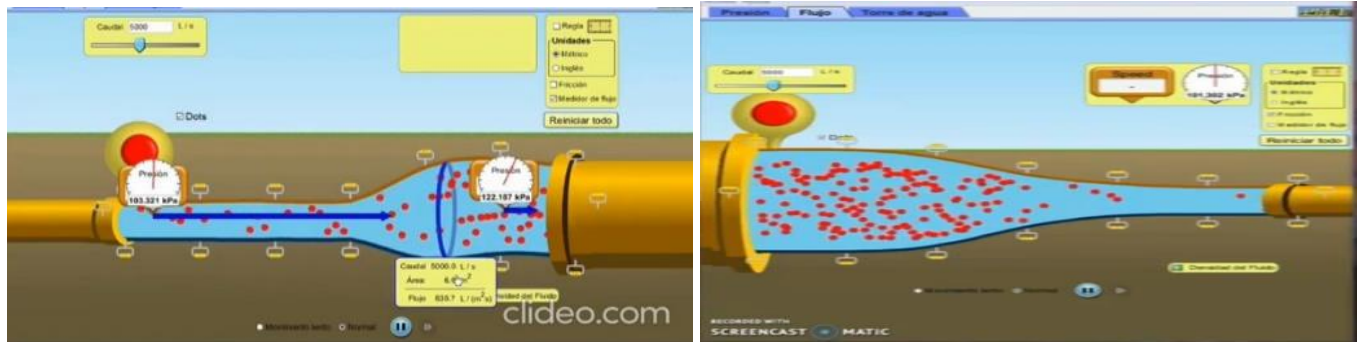


Figura 1 Simulación en PhET

Nota. Adaptado Simulador de Fluidos: Presión y velocidad [vídeo], por Física 2 UNCo, 2020, uso de PhET (<https://www.youtube.com/watch?v=GS-OLDYvTX4>). Demostración de la Ecuación de Continuidad

Una vez demostrada la ecuación de continuidad, se retomaron ciertos elementos de la simulación realizada, como la velocidad, el desplazamiento y las áreas transversales por donde circula el fluido. Estos elementos se incluyeron de forma gráfica para ilustrar la demostración de la ecuación de continuidad en su forma diferencial. Además, se graficó una forma geométrica obtenida a partir de un pequeño volumen de la tubería analizada en la simulación. Esta forma geométrica puede entenderse como un volumen de control en el espacio tridimensional, lo cual permitió el análisis de esta demostración utilizando el teorema de transporte de Reynolds. Esta aproximación también facilitó el análisis de los vectores, aspecto de gran importancia en este proceso.

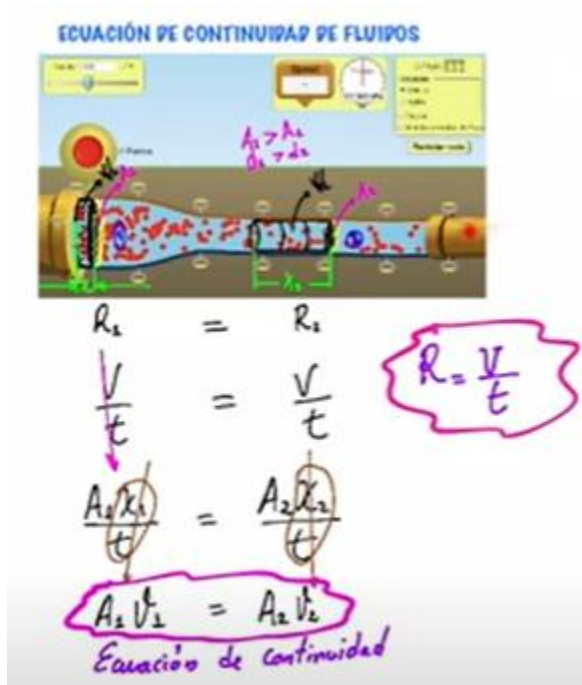


Figura 2 Análisis de la demostración de la Ecuación de Continuidad

Nota. Adaptado Principio de Continuidad Mecánica de Fluidos - Simulación + Demostración + Ejercicios Resueltos [vídeo], por profe JN el canal del ingeniero, 2021, uso de PhET (<https://www.youtube.com/watch?v=iOTKLXvMyJU>). Demostración de la Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad se refiere al flujo continuo de un fluido a lo largo de una tubería o conducto. El caudal, que es la cantidad de fluido que pasa por unidad de tiempo, se mantiene constante en diferentes secciones de la tubería. Esto significa que el caudal que ingresa en un punto debe ser igual al caudal que sale en otro punto.

Cuando el caudal aumenta, el fluido se acelera en secciones más estrechas de la tubería para mantener constante el caudal total. Por el contrario, en secciones más anchas, el fluido se desplaza a una velocidad más baja debido al mayor espacio disponible para el flujo.

La ecuación de continuidad se expresa matemáticamente como el producto del área de la sección transversal y la velocidad del fluido en una sección es igual al producto del área de la sección transversal y la velocidad del fluido en otra sección. En otras palabras, el área de la sección transversal y la velocidad del fluido son inversamente proporcionales: a mayor área, menor velocidad y viceversa. Esto asegura que el caudal se mantenga constante.

Es importante tener en cuenta que la presión del fluido no está directamente relacionada con la velocidad. A menudo, podemos confundir una mayor velocidad con una mayor presión, pero en realidad, la presión puede variar en diferentes secciones de la tubería. En secciones más estrechas, la velocidad puede ser mayor, pero la presión puede ser menor, y viceversa en secciones más anchas.

La ecuación de continuidad se basa en el principio de conservación de la masa, que establece que la masa total del fluido que ingresa en un punto debe ser igual a la masa total del fluido que sale en otro punto, siempre y cuando no haya fugas ni pérdidas en el sistema.

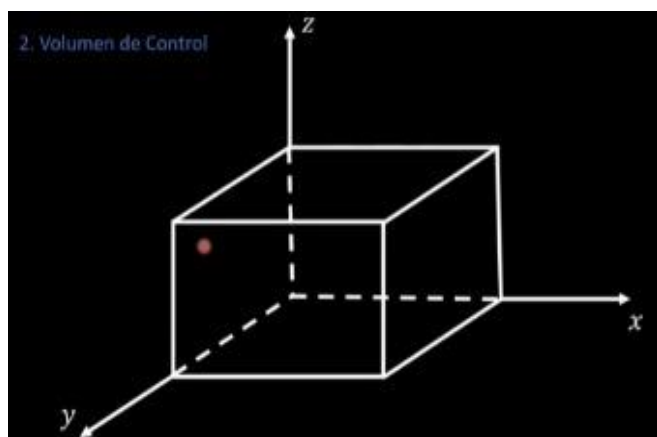


Figura 3 *Volumen de control*

Nota. Adaptado Demostración de la ecuación de continuidad [vídeo], por Fluidomanos, 2019, Cinemática de fluidos (<https://www.youtube.com/watch?v=0ken4yioHDM>). Balances de entradas y salidas de fluidos representados en el volumen de control

Luego de plantear el volumen de control se identifican áreas y volúmenes como se observa en la figura 7 y se realiza una manipulación matemática para la demostración que se pretende realizar en donde se obtiene lo siguiente:

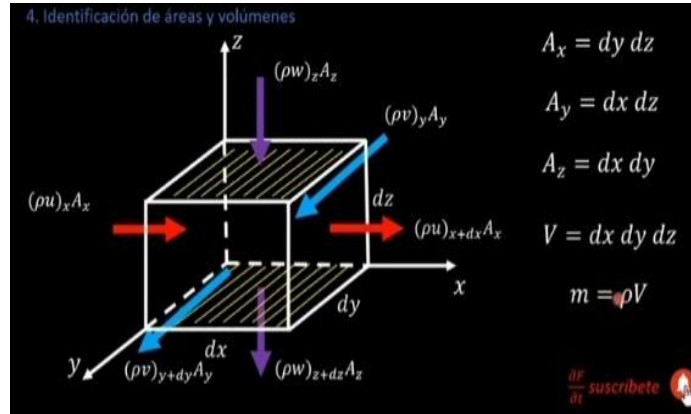


Figura 4 Identificación de áreas y volúmenes

Nota. Adaptado Demostración de la ecuación de continuidad [vídeo], por Fluidomanos, 2019, Cinemática de fluidos (<https://www.youtube.com/watch?v=0ken4yioHDM>). identificación de áreas y volúmenes en correspondencia de cada una de las coordenadas cartesianas

$$A_x = dy \cdot dz$$

$$A_y = dx \cdot dz$$

$$A_z = dx \cdot dy$$

$$V = dx \cdot dy \cdot dz$$

$$m = \rho V$$

La ecuación presentada a continuación corresponde al teorema del transporte de Reynolds, donde se han sustituido los términos correspondientes. En la primera expresión, los términos con signo positivo representan los flujos másicos de entrada, mientras que los términos con signo negativo representan los flujos másicos de salida. En el contexto de la simulación, estos términos pueden ser identificados como el flujo de un fluido entrando por una sección y saliendo por otra sección, como se muestra en los vectores unitarios presentados anteriormente

A partir de la primera expresión, se llevan a cabo operaciones algebraicas que permiten obtener una ecuación diferencial.

Manipulación Matemática

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = (\rho V)_x A_x + (\rho V)_y A_y + (\rho W)_z A_z - (\rho u)_{x+dx} A_x - (\rho V)_{y+dy} - (\rho W)_{z+dz} A_z$$

Se agrupa A_x A_y y A_z

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = [(\rho u)_x A_x - (\rho u)_{x+dx} A_x] + [(\rho V)_y A_y - (\rho V)_{y+dy} A_y] + [(\rho W)_z A_z - (\rho W)_{z+dz} A_z]$$

Se factoriza A_x A_y y A_z .

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = [(\rho u)_x - \rho u_{x+dx}] A_x + [(\rho V)_y - (\rho V)_{y+dy}] A_y + [(\rho W)_z - (\rho W)_{z+dz}] A_z$$

Se reemplaza A_x A_y A_z y m_{vc}

$$\frac{d\rho V}{dt} = [(\rho u)_x - (\rho u)_{x+dx}] dydz + [(\rho V)_y - \rho V_{y+dy}] dx dz + [(\rho W)_z - (\rho W)_{z+dz}] dx dy$$

Reemplazar $V = dx dy dz$, se divide cada termino por $(dx dy dz)$ y se cancelan variables

$$\begin{aligned} & \frac{1}{dx dy dz} \frac{d\rho(dx dy dz)}{dt} \\ &= \frac{[(\rho u)_x - (\rho u)_{x+dx}] dy dz}{dx dy dz} + \frac{[(\rho V)_y - (\rho V)_{y+dy}] dx dz}{dx dy dz} \\ &+ \frac{[(\rho W)_z - (\rho W)_{z+dz}] dx dy}{dx dy dz} \end{aligned}$$

Se saca $dx dy dz$ de la derivada temporal

$$\begin{aligned} \frac{(dx dy dz) d\rho}{(dx dy dz) dt} &= \frac{[(\rho u)_x - (\rho u)_{x+dx}]}{dx} + \frac{[(\rho V)_y - (\rho V)_{y+dy}]}{dy} + \frac{[(\rho W)_z - (\rho W)_{z+dz}]}{dz} \\ \frac{d\rho}{dt} &= \frac{[(\rho u)_x - (\rho u)_{x+dx}]}{dx} + \frac{[(\rho V)_y - (\rho V)_{y+dy}]}{dy} + \frac{[(\rho W)_z - (\rho W)_{z+dz}]}{dz} \end{aligned}$$

Manipulación de símbolos

$$\frac{d\rho}{dt} = - \frac{[-(\rho u)_x + (\rho u)_{x+dx}]}{dx} - \frac{[-(\rho V)_y + (\rho V)_{y+dy}]}{dy} - \frac{[-(\rho W)_z + (\rho W)_{z+dz}]}{dz}$$

Se ordenan los términos

$$\frac{d\rho}{dt} = - \frac{[(\rho u)_{x+dx} - (\rho u)_x]}{dx} - \frac{[(\rho V)_{y+dy} - (\rho V)_y]}{dy} - \frac{[(\rho W)_{z+dz} - (\rho W)_z]}{dz}$$

Se usa el concepto de derivada

$$\frac{d\rho}{dt} = - \frac{\partial \rho u}{\partial x} - \frac{\partial \rho V}{\partial y} - \frac{\partial \rho W}{\partial z}$$

Se define ∇ Se utiliza ∇

$$\begin{aligned}\nabla &= \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \frac{d\rho}{dt} = -\nabla \cdot (\rho \vec{u}) \\ &= \frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0\end{aligned}$$

Para flujos incompresibles se expande la derivada espacial.

Se expande la derivada espacial

$$\begin{aligned}\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) &= 0 \quad \frac{d\rho}{dt} + \vec{u} \nabla \cdot (\rho) + \rho \nabla \cdot (\vec{u}) = 0 \\ \rho \nabla \cdot (\vec{u}) &= 0 \\ \nabla \cdot (\vec{u}) &= 0\end{aligned}$$

Como se observa se demostró la ecuación de continuidad en forma diferencial incluyendo los conceptos definidos planteando figuras áreas y vectores y se realizó un análisis matemático para la demostración donde se obtuvo la ecuación $\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$ que es la ecuación de conservación de la masa.

Para la demostración de la ecuación de continuidad en forma integral se integra la ecuación diferencial obtenida a partir de la simulación realizada y distintos procesos que se realizaron para obtener esta ecuación $\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$

Integrando la ecuación. $\int \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right) + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$

$$= \int \frac{\partial \rho}{\partial t} dv = \frac{\partial}{\partial t} \int \rho dV$$

Y se obtiene la ecuación de continuidad en forma diferencial.

$$= \int \nabla \cdot \rho \vec{V} = \int \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA$$

En síntesis, para demostrar la ecuación en forma diferencial e integral luego de realizar la simulación se realizó la aplicación de conceptos teóricos mediante un análisis matemático; este proceso se llevó a cabo de la siguiente manera: en primer lugar, se graficó una forma geométrica de una porción de la tubería analizada en la simulación y así poder realizar el volumen de control del espacio tridimensional usando el teorema de Reynolds. Además, se analizó el balance de entradas y salidas de fluidos, se identificaron áreas y volúmenes y se realizó la manipulación matemática: factorización, sustitución, manipulación de símbolos, ordenación de términos; aplicación del concepto de derivada y se expandió la deriva espacial. Todo esto permitió obtener la ecuación de conservación de la masa; ahora bien, para la demostración de la ecuación de continuidad en forma integral se integró la ecuación diferencial, y se obtuvo así la ecuación de continuidad en forma diferencial $= \int \nabla \cdot \rho \vec{V} = \int \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA$.

El uso de PhET y la manipulación matemática son aspectos fundamentales para comprender y aplicar la ecuación de continuidad en física. La ecuación de continuidad es una herramienta esencial en la mecánica de fluidos, ya que establece la conservación de masa en un flujo fluido. Mediante el uso de PhET, que proporciona simulaciones interactivas, y la manipulación matemática, es posible explorar y comprender en mayor profundidad esta ecuación.

PhET ofrece simulaciones interactivas que permiten visualizar y experimentar con diversos flujos de fluidos. Al interactuar con estas simulaciones, es posible observar cómo cambian las variables, como la densidad y la velocidad, y cómo afectan el flujo del fluido. Esto ayuda a desarrollar una intuición visual sobre el comportamiento del fluido y cómo se conserva la masa en el flujo.

Por otro lado, la manipulación matemática juega un papel clave en la derivación y comprensión de la ecuación de continuidad en su forma diferencial. La ecuación de continuidad establece que la tasa de cambio de masa con respecto al tiempo en un volumen de control es igual a la divergencia del flujo de masa en ese volumen. A través de la manipulación matemática de las ecuaciones proporcionadas, es posible llegar a la forma diferencial de la ecuación de continuidad.

La manipulación matemática permite comprender cómo cada término en la ecuación de continuidad contribuye a la conservación de masa. Por ejemplo, el término que representa la tasa de cambio de densidad con respecto al tiempo indica los cambios en la densidad del fluido a lo largo del tiempo. El término que representa la divergencia del flujo de masa considera cómo se distribuye la masa en el flujo.

Además, se ha desarrollado una rúbrica de evaluación para valorar los distintos capítulos del trabajo realizado. Esta rúbrica establece criterios para una revisión exhaustiva de cada capítulo, verificando que se haya incluido toda la información relevante de acuerdo con la estructura establecida. La rúbrica permite una evaluación objetiva del proceso de investigación llevado a cabo y califica los aspectos del trabajo de acuerdo con una escala que va desde "excelente" hasta "no satisfactorio".

En resumen, el uso de PhET y la manipulación matemática son aspectos fundamentales para comprender y aplicar la ecuación de continuidad en física. PhET proporciona simulaciones interactivas que ayudan a visualizar y experimentar con los flujos de fluidos, mientras que la manipulación matemática permite derivar y comprender la ecuación en su forma diferencial. Además, se ha desarrollado una rúbrica de evaluación para valorar el trabajo realizado en cada capítulo, garantizando la precisión y completitud de la información presentada.

Conclusiones

En este apartado, se presentan los principales resultados obtenidos con relación a los objetivos formulados. Se ha utilizado la metodología de integración, que es una rama del cálculo y el análisis matemático, para abordar la ecuación de continuidad tanto en su forma diferencial como integral. La integración se considera como la operación inversa de la derivación de una función, y ha sido aplicada en este trabajo para obtener la ecuación en su forma integral.

Además, se ha trabajado con vectores, que son magnitudes físicas con dirección y sentido, y desempeñan un papel fundamental en la demostración de la ecuación de continuidad. En particular, se ha destacado el uso del vector unitario para representar el desplazamiento entrante y saliente en un volumen de control, siendo perpendicular al área. Esto ha contribuido a una mejor comprensión de la relación entre los vectores y la ecuación de continuidad.

La mecánica de fluidos, una rama de la física que se centra en el estudio del comportamiento de los fluidos, desde su estado hasta sus movimientos, ha sido abordada en este trabajo. La ecuación de continuidad se considera un concepto fundamental en esta disciplina, y ha sido explorada utilizando el simulador PhET. Este simulador permite visualizar y demostrar aspectos relacionados con la presión del fluido y el flujo, brindando una experiencia práctica y tangible.

Se ha reconocido el papel importante de la tecnología educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Los simuladores, como el simulador PhET, se han utilizado como herramientas prácticas y analíticas que facilitan la demostración de ecuaciones físicas de manera visual, accesible y creativa. En este caso, el simulador PhET ha sido utilizado para demostrar la ecuación de continuidad en el contexto de la conservación de la masa.

En cuanto a la evaluación, se ha realizado un proceso exhaustivo que incluye diferentes tipos, como la evaluación diagnóstica, formativa y sumativa. Estos tipos de evaluación han permitido valorar el trabajo investigativo y la demostración, así como proporcionar orden y estructura al proceso. Se ha utilizado una rúbrica de evaluación que establece criterios claros y objetivos para calificar cada aspecto del trabajo, garantizando la precisión y completitud de la información presentada.

En resumen, se han obtenido resultados significativos en este apartado mediante la aplicación de las metodologías mencionadas anteriormente. El uso de la integración, el trabajo con vectores, el enfoque en la mecánica de fluidos y la utilización del simulador PhET han contribuido al avance en la comprensión y aplicación de la ecuación de continuidad en el ámbito de la mecánica de fluidos. Además, la evaluación integral realizada ha permitido valorar de manera objetiva el trabajo realizado y garantizar la calidad del proceso de investigación.

Referencias

- Alcón Latorre, M. (2016). La rúbrica como instrumento de evaluación en los estudios universitarios. *Revista Electrónica De Didáctica De Las Artes*, 1-15. <https://www.observar.eu/ojs/index.php/Observar/article/view/70>
- Arancibia, G., Carvacho, M., Gaona, J., Urzúa, T., Espinoza, J., Dockendorff, M., Martínez, C., & Ramírez, P. (2021). Formación de Profesores de Matemáticas y Ciencias, Una Problemática Renovada. *Revista Chilena de Educación Científica (RChEC)*, 22(2), 24-42. <http://revistas.umce.cl/index.php/RChEC/article/view/2275>
- Barrantes Echavarría, R. (2014). *Investigación: Un camino al conocimiento un enfoque cualitativo y cuantitativo*. San José, Costa Rica: EUNED. Retrieved 12 de Diciembre de 2022, from https://sec6beb2e224aad69.jimcontent.com/download/version/1472044734/module/8423476870/name/Libro_Investigacion_camino_conocimiento_Barrantes.pdf
- Bravo Bolívar, J. E., Montes Ocampo, J. W., & Cadavid Arango, G. (2022). *Una introducción al cálculo integral con aplicaciones en GeoGebra*. Editorial UTP. <https://doi.org/https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/86e0c363-021f-4301-8ff0-06cadae5f551/content>
- Carrión-Paredes, F. A., García-Herrera, D. G., Erazo-Álvarez, C. A., & Erazo-Álvarez, J. C. (2020). Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de Química. *Revista CIENCIAMATRIA*, 6(3), 193-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.35381/cm.v6i3.396>
- Castillo, I. (2020). *Lifeder*. 9 ejemplos de investigación básica : <https://www.lifeder.com/ejemplos-investigacion-basica/>

- Castillo-Castillo, K. I., Hernández-Meza, G. A., & Herrera-Castrillo, C. J. (2023). Estado del arte de investigaciones referente a Física Clásica y Moderna en el Período 2016 – 2021. *Revista Educación Superior*, 35(1), 65–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.56918/es.2023.i35.pp65-83>
- Fluidomanos. (23 de Septiembre de 2019). *Demostración de la ecuación de continuidad*. Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0ken4yioHDM>
- García Garavito, J. B. (2020). Simulador PHET Como Herramienta de Apoyo en la Enseñanza de la Física en la Educación Media. *Trabajo de Maestría*. Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/a36b9a65-a6b6-4586-87e9-38ddb8cb6568>
- Herrera Castrillo, C. J. (2020). Aprendizaje en las asignaturas “Electricidad” y “Termodinámica y Física Estadística” en tiempos de pandemia. *Revista Multi-Ensayos*, 7(13), 14-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/multiensayos.v7i13.10748>
- Herrera Castrillo, C. J. (2023). Metodología para el Aprendizaje por Competencias de Ecuaciones de la Física Matemática al utilizarse Tecnología. *Tesis Doctoral*. UNAN - Managua / FAREM - Carazo, Jinotepe, Carazo. <https://n9.cl/tesisdoctoralcliff>
- Lino-Calle, V. A., Barberán-Delgado, J. A., López-Fernández, R., & Gómez-Rodríguez, V. G. (2023). Analítica del aprendizaje sustentada en el Phet Simulations como medio de enseñanza en la asignatura de Física. *Revista MQRInvestigar*, 7(3), 2297–2322. <https://doi.org/https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2297-2322>
- Lora Pino, J. M., & González Blanquicett, D. Y. (2022). Evaluación de guías de laboratorio basadas en simuladores PhET para el aprendizaje de la Física en estudiantes de media académica de la Institución Educativa Jean Piaget del municipio de Chinú Córdoba. *Tesis de Grado*. Universidad De Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/e41c9db0-5b6d-4563-bb88-f8fed0d1dd11>
- Morales, F. (22 de Febrero de 2021). *Economipedia.com*. Tipos de fuentes de información: <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-fuentes-de-informacion>.
- Muñoz Vallecillo, L. O., Martínez González, Y. Y., Medina Martínez, W. I., & Herrera Castrillo, C. J. (2023). Uso de simuladores y asistente matemático en la demostración del principio de Pascal al aplicarse integrales y vectores. *Revista Científica Tecnológica*, 2(6), 48-60. <https://revistarecientec.unan.edu.ni/index.php/recientec/article/view/214>
- Páez-Herrera, J., Hurtado-Almonacid, J., Reyes-Amigo, T., Rolle-Cáceres, G., & Yáñez-Sepúlveda, R. (2023). Evaluación de los aprendizajes en los modelos curriculares basados en competencias en educación superior. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 3041-3056. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6393
- Ponce Valdés, Y., Martínez Castro, Y., Rodríguez Rivero, L., & Garriga González, A. T. (2021). Uso de las simulaciones interactivas PhET en la disciplina Física para Ingeniería Forestal. *Temática: Impacto de la virtualización educativa en el desarrollo social IV Taller Internacional de Impacto de las TIC en la Sociedad*, 1(1), 1-19. https://repositorio.uci.cu/jspui/bitstream/123456789/9818/1/UCIENCIA_2021_paper_27_3.pdf
- Quijano Hernández, M. H., & Almeida Sánchez, H. V. (2021). Uso de Aplicaciones en la Enseñanza Y Articulación de la Física y las Matemáticas. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15063/9876>

- Rivadeneira Flores, J. O. (2020). Uso de simuladores para el estudio de mecánica de sólidos en los estudiantes de primero de bachillerato del Colegio Universitario "UTN", periodo académico 2019-2020. *Título de Licenciatura*. Universidad Técnica del Norte.
- Rojas, F., Anicama, V., De La Cruz, C., & Cataño, M. (2023). Análisis del uso de dinámica de fluidos computacional (CFD) para la implementación de un dispositivo con chorro de aire para la selección de papa amarilla Tumbay. *Revista Información tecnológica*, 34(2), 31-42. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642023000200031>
- Rosales Guamán, A. V., Cuenca Cumbicos, K. M., Morocho Palacios, H. F., & Tapia Peralta, S. R. (2023). El uso de simuladores en línea para la enseñanza de la física: una herramienta educativa efectiva. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1488-1496. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6291
- Salamanca, V. (5 de Febrero de 2018). *MAC.INVESTIGACION*. Metodología de la investigación: <https://sites.google.com/site/macinvestigacion/tipos-investigacion#:~:text=Descriptiva,causas%20ni%20consecuencias%20de%20%C3%A9st>e.
- Vargas Guadir, J. P. (2020). Utilización de simulador PhET para el aprendizaje de las leyes de Newton. *Trabajo de Titulación (modalidad Proyecto de Investigación) previo a la obtención del Título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención: Matemática y Física*. Universidad Central del Salvador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21810/1/T-UCE-0010-FIL-933.pdf>
- Zavala Arnal, C. M., & Salinas, J. R. (2017). La Interdisciplinariedad En El Aula De Educación Secundaria: Una Investigación A Través De La Opinión Del Profesorado De Las Áreas De Música, Lengua Castellana Y Literatura, Y Ciencias Sociales. *European Scientific Journal*, 13(19), 281-291. <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/9637>
- Zill, D. (1987). *Cálculo con geometría analítica*. Iberoamérica. https://www.academia.edu/15586127/C%C3%A1lculo_con_Geometr%C3%ADa_Anal%C3%ADtica_Dennis_G_Zill