

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL DE SEGUNDO ORDEN EN UN ESCENARIO INMERSIVO

BEHAVIORAL ANALYSIS OF THE SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION IN AN IMMERSIVE ENVIRONMENT

Karla Liliana Puga Nathal, Salvador Vázquez Cárdenas, María Eugenia Puga Nathal
Tecnológico Nacional de México campus Cd. Guzmán. (México)
karlalpn4@gmail.com, chava_945@hotmail.com, kenapn@hotmail.com

Resumen

Se presentan los avances de una investigación en donde se desarrolla e implementa un escenario virtual inmersivo con el objetivo de manipular y analizar los elementos que constituyen la ecuación diferencial de segundo orden y su relación con el comportamiento con un sistema masa-resorte. La inmersión al mundo virtual es mediante una aplicación que se instala en dispositivos móviles y se enlaza a un visor RV y un sensor que identifica el movimiento de las manos. La investigación se fundamenta desde la de teoría de Representaciones Semióticas y se desarrolló bajo el enfoque de diseño centrado en el usuario, metodología que propone diversas fases de desarrollo, desde la comprensión inicial del contexto, el diseño de prototipo hasta su implementación y evaluación. El trabajo de campo que hasta el momento se reporta es un estudio sobre la usabilidad del prototipo.

Palabras clave: realidad virtual inmersiva, sistema masa-resorte, ecuación diferencial.

Abstract

The advances of an investigation are presented where an immersive virtual environment is developed and implemented to manipulate and analyze the elements that constitute the second-order differential equation and its relationship with the behavior with a mass-spring system. Immersion into the virtual world is through an application that is installed on mobile devices and is linked to a VR viewer and a sensor that identifies the movement of the hands. The research is based on the theory of Semiotic Representations and was developed under the user-centered design approach, a methodology that proposes various phases of development, from the initial understanding of the context, the prototype design, to its implementation and evaluation. The field work reported up to now is a study on the usability of the prototype.

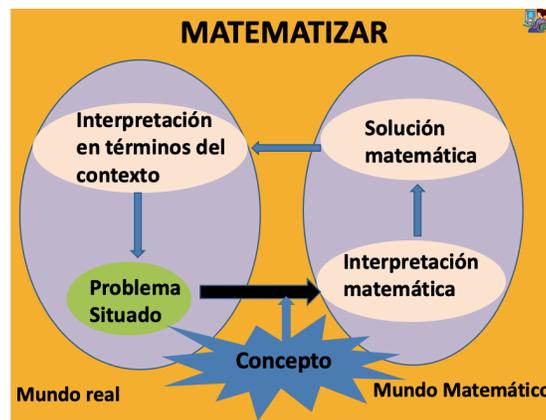
Key words: immersive virtual reality, mass-spring system, differential equation.

■ Introducción

En ingeniería, la construcción de conceptos matemáticos es una actividad que demanda el esfuerzo y la atención de los docentes y estudiantes, ya que no solo se trata de equipar este último con una serie de reglas y principios teóricos que se derivan en algoritmos de ejecución, sino que deben ser abordados con fines prácticos, deben trascender de las aulas hacia contextos donde se evidencie su aplicación (Camarena, 2013). Sin embargo, un problema que se presenta constantemente en el aula es que no se logra establecer, con resultados exitosos la relación entre los conceptos matemáticos y las situaciones del mundo real (Cordero y Suárez, 2005), no tiene lugar entonces la matematización de los conceptos tratados (Rico, 2009).

Matematizar, como se observa en la figura 1, en términos generales se refiere a la capacidad que tiene un sujeto de trasladar un problema del mundo real al de las matemáticas para que se analice, razone y una vez resuelto comunique las ideas matemáticas que darán respuestas desde la perspectiva del mundo real (Rico, 2009).

Figura 1. *Matematización de un concepto*



Elaboración propia.

En la última década, las tecnologías han tomado un papel preponderante en los diversos sectores sociales y científicos. El sistema educativo no puede ser una excepción, el uso de tecnología ha propiciado nuevos métodos y estrategias de aprendizaje para que los estudiantes sean capaces de comprender y relacionar un modelo matemático con un conjunto de datos que caractericen el comportamiento de un fenómeno específico. La modelación matemática ha sido uno de los pilares para la contextualización de conceptos matemáticos. Diversos estudios (Rodríguez y Córdoba, 2016, Ruiz y Rivero, 2019) han demostrado que las nuevas tecnologías, incorporadas al aula han impactado positivamente en esta actividad, el uso de software y simulaciones que abordan fenómenos cotidianos e ingenieriles, han favorecido en la contextualización de conceptos matemáticos.

Un concepto medular que se incorpora en la formación de los estudiantes de ingeniería es la ecuación diferencial de segundo orden, que por su estructura es aplicada en la modelación de fenómenos dinámicos que se presentan en ciencias sociales y en ingeniería (Rodríguez y Quiroz, 2016). Cuando el concepto es abordado en el aula, se ha observado que los estudiantes presentan dificultades para matematizar la ecuación, una razón es el tipo de actividades que se desarrollan en el aula, donde la parte algorítmica para solucionarlas tiene mayor valor que su vinculación en situaciones en contexto en donde sea necesaria para explicar el comportamiento de fenómenos (Córdoba, 2013).

Para profundizar y estudiar algunos aspectos relacionados con la modelación de la ecuación diferencial, en la investigación se realizó un estudio en el que participaron 51 estudiantes de diferentes carreras (ingeniería mecánica, electrónica, eléctrica y de posgrado que previamente acreditaron el curso de ecuaciones diferenciales). La intención

principal de la entrevista fue conocer contextos en donde han aplicado la ecuación diferencial de segundo orden dentro de su ambiente escolar. El 24% de los encuestados respondieron que en el curso no aplicaron la ecuación, solo los métodos para solucionarla, el 39% no recordaba haber tratado ese tema y no conocían su aplicación. Además, se preguntó si conocen la función que tiene los coeficientes de la ecuación en su solución. La mayoría de los encuestados presentaron dificultades en relacionar los términos y coeficientes que aparecen en la ecuación ($mx'' + cx' + kx = 0$) con el comportamiento de su función solución. El resultado de este estudio generó la necesidad de proponer alternativas didácticas locales que fortalezcan los contenidos áulicos y que permitan al estudiante profundizar en el análisis de los modelos matemáticos y la vinculación en diversos contextos de los conceptos matemáticos tratados.

Los escenarios de realidad virtual inmersiva ofrecen a las escuelas de ingeniería la posibilidad de implementar laboratorios en donde los estudiantes pueden simular situaciones en contexto. Sin embargo, en matemáticas universitarias, aun son escasos los trabajos que reporten el impacto que estos escenarios tienen en la construcción de conceptos matemáticos. La realidad virtual es una poderosa herramienta que puede ser incorporada en el aula, ya que provee un ambiente en el cual se simulan fenómenos en contexto para que posteriormente el usuario pueda interactuar, analizar y generar conclusiones sobre el comportamiento de ese fenómeno, lo cual representa ventajas en su formación a diferencia de solo tratar la parte teoría en un escenario estático en el que la libreta y el pizarrón son las herramientas principales (Bowman and McMahan, 2007).

La reducción de costos es uno de los beneficios más destacables de la implementación de sistemas de realidad virtual ya que, al no destinar recursos reales para la interacción o análisis de fenómenos simulados, las empresas pueden ahorrar dinero y tiempo (Al-Ahmari Abidi, Ahmad, and Darmoul, 2016; Caudell and Mizell, 1992; Bowman and McMahan, 2007). Además, las simulaciones en esta área, ofrece a sus usuarios la oportunidad de adquirir diversas habilidades, sin poner la vida en riesgo, un mecanismo o todo un sistema industrial o aeronáutico (Bowman and McMahan, 2007), “esta tecnología se emplea para el entrenamiento de habilidades complejas como endoscopia, laparoscopia o navegación endovascular...” (Mata, 2008, p30).

En la investigación se desarrolló e implementó un escenario virtual con el objetivo de analizar los elementos que constituyen la ecuación diferencial de segundo orden y su relación con el comportamiento con un sistema masa-resorte. La inmersión al mundo virtual es mediante una aplicación que se instala en dispositivos móviles se accede mediante un visor VR y un sensor que identifica el movimiento de las manos. El usuario interactúa con el sistema provocando una elongación al resorte y la masa comienza a oscilar, mostrando simultáneamente la gráfica de la respuesta del movimiento y el comportamiento de la ecuación diferencial, de sus coeficientes, promoviendo que el usuario encuentre una relación entre la estabilidad de la masa y los valores de los parámetros m , c , k del modelo $mx'' + cx' + kx = 0$. Además, en el escenario también se tiene la posibilidad de modificar los coeficientes del modelo matemático del sistema y estudiar su comportamiento físico.

■ Marco teórico

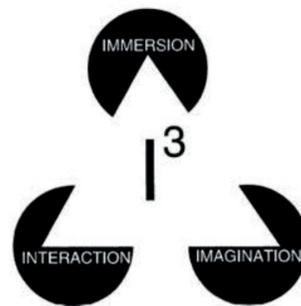
La investigación epistemológicamente se fundamenta desde la de teoría de Representaciones Semióticas (Duval, 2006), que establece que los conceptos matemáticos, a diferencia de otros conceptos son tratados desde diversos registros de representación, ya que las diversas representaciones son las que permiten el acceso y la aplicación de los objetos matemáticos. En el caso de la propuesta, se incluyen dos registros de representación, el geométrico y el algebraico. El usuario transitará desde un registro a otro, lo cual permitirá observar la manera en que establece conexiones entre estas representaciones.

Por otro lado, dado que la propuesta consiste en la creación de un escenario de realidad virtual, fue necesario entender su significado entendido como la “simulación producida por los gráficos de una computadora” (Burdea and Coiffet, 2003, p2), con el propósito de generar un mundo en el cual sus creadores pueden decidir qué existe o

que deja de existir dentro de él (Cardenas, 2018), dicho mundo responde al usuario que lo manipula instantáneamente a través del teclado, ratón, gestos, comandos verbales, entre otros (Burdea and Coiffet, 2003). Martínez (2011) menciona que “la realidad virtual comprende la interfaz hombre-máquina (human-machine), que permite al usuario sumergirse en una simulación gráfica R^3 generada por ordenador, y navegar e interactuar en ella en tiempo real, desde una perspectiva centrada en el usuario” (Martínez, 2011, p5).

Burdea and Coiffet (2003), también menciona que para crear realidad virtual es necesario cumplir con ciertas reglas las cuales son expresadas en un triángulo llamado “triángulo de realidad virtual”, en este esquema se utilizan las tres i’s de la realidad virtual (inmersión-interacción-imaginación), las cuales se tomaron en cuenta para todos aquellos productos futuros que hicieran alusión a la utilización de realidad virtual. A continuación, en la Figura 2 se muestra el triángulo de la realidad virtual propuesto por Burdea y Coiffet (2003).

Figura 2. *Triángulo de realidad virtual*



Elaboración propia.

La inmersión es el trabajo en conjunto de diferentes componentes de hardware como lo puede ser la proyección de imágenes en 3D, sonidos acordes a lo proyectado, sistemas de seguimiento 3D, visores con el propósito de remplazar la información sensorial del mundo real que el cuerpo humano recolecta para posteriormente ser procesada por el cerebro, obteniendo como resultado que el usuario se sienta dentro del mundo virtual (Bowman and McMahan, 2007). Existen tres niveles de inmersión: Sistemas completamente inmersivos, semi-inmersivos y no inmersivos. En la propuesta se incorporó el sistema totalmente inmersivo.

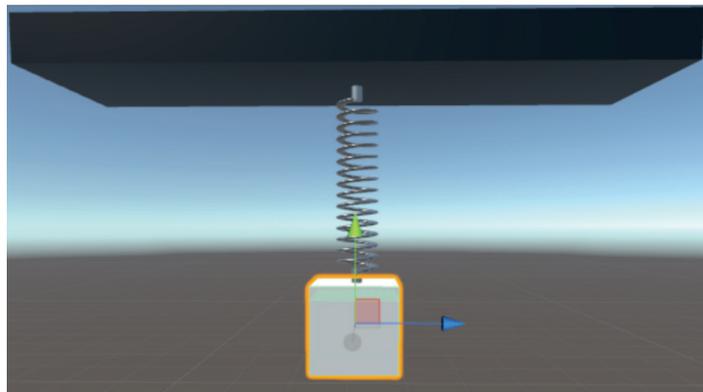
Para acceder al mundo virtual inmersivo es necesario incorporar dispositivos de reconocimiento gestual que se encargan de identificar movimientos específicos del ser humano a través de algoritmos matemáticos (Sancho, 2015). Además, no solo puede comunicarse por medio de la voz, también puede lograr una comunicación por medio de movimientos corporales. Las partes del cuerpo humano que producen dichos gestos son la cara y las manos, lo cual le “permite a los usuarios comunicarse con una máquina e interactuar con naturalidad sin dispositivos mecánicos” (Sancho, 2015, p13). Existen distintos dispositivos de control gestual, los cuales permiten al usuario comunicarse con una computadora a través de gestos, los cuales dan la libertad de movimiento en lugar de un ratón para controlar un equipo de cómputo. En la investigación se incorporó el sensor Leap Motion, este dispositivo de control gestual hace posible el reconocimiento de las manos con ayuda de sus sensores infrarrojos y sus dos cámaras frontales.

Otro dispositivo necesario para la inmersión virtual fue un visor (HMD) que utiliza un Smartphone. El usuario acceda a una aplicación de realidad virtual y proyectar una imagen estereoscópica, al igual que utilizan los sensores ya incorporados en el Smartphone como el giroscopio para la orientación.

■ Metodología

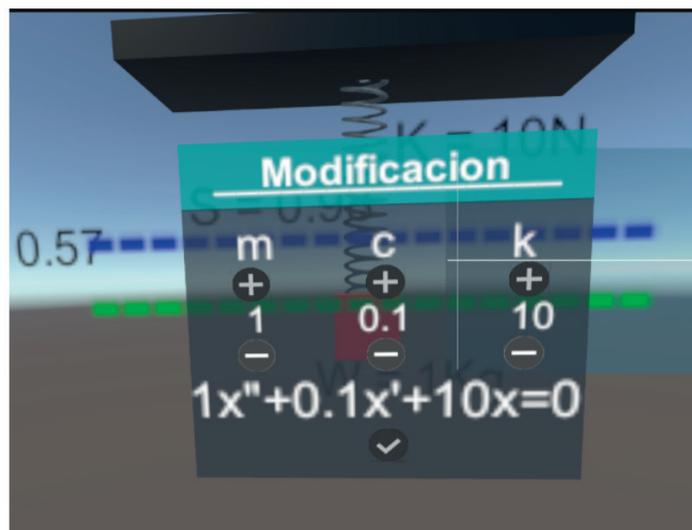
Como se mencionó en párrafos anteriores, propuesta que se implementó consiste en un escenario mediado por la realidad virtual inmersiva, en el que el estudiante, mediante un visor y un sensor gestual que identifica el movimiento de sus manos, se adentra a un mundo donde aparece un sistema masa resorte (figura 3) y la ecuación diferencial de segundo orden. Sus manos pueden generar movimiento en la masa colocada en el extremo de un resorte y puede subir o bajarlo. Además, puede modificar los valores de los coeficientes de la ecuación $mx'' + cx' + kx = 0$ (figura 4) y observar el comportamiento del sistema. También es posible estirar el resorte mediante la dinamización de la masa y observar los cambios que sufren los coeficientes. La idea principal es estudiar la estabilidad de la masa y establecer las condiciones de los coeficientes para caracterizar un sistema amortiguado. El usuario podrá caracterizar la estabilidad del sistema visualizando la gráfica de la función solución (figura 5) y lo deseable será que sea capaz de predecir el comportamiento del sistema con solo observar el valor de los coeficientes m , c , k y su relación con el modelo matemático que representa la solución de la ecuación diferencial.

Figura 3.- Sistema masa-resorte



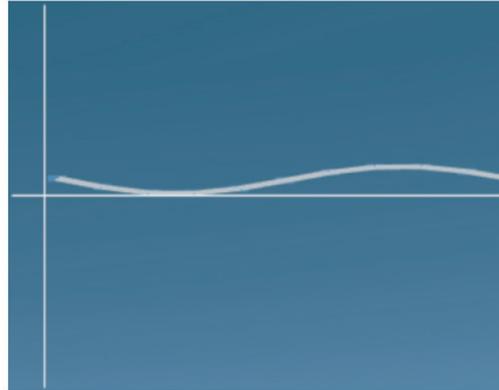
Elaboración propia.

Figura 4.- Controles



Elaboración propia.

Figura 5. Gráfica



Elaboración propia.

La propuesta se desarrolló bajo el enfoque de diseño centrado en el usuario (Pal, 2019). Esta metodología propone diversas fases de desarrollo desde la comprensión inicial del contexto, el diseño de prototipo hasta su implementación y evaluación. Esta basado en las “necesidades, requerimientos y limitaciones del usuario final” (Mor, Domingo, Galofré, 2007, p2), dicha filosofía de diseño involucra al usuario final en cada una de sus etapas, con la finalidad de que pueda evaluar y dar propuestas del diseño y así lograr un producto de calidad y a la medida del usuario (Trujillo, Aguilar y Neira, 2016) y consiguiendo una mejor experiencia de uso ya que el usuario, al estar involucrado en cada etapa de desarrollo, solo necesitara un esfuerzo mínimo para poder utilizarlo.

Las etapas de esta metodología son las siguientes:

Entender y especificar el contexto de uso: Como primer momento en la investigación se identifico el tipo de población al que se dirige la propuesta. Fue necesario estudiar y caracterizar el contexto para identificar las necesidades de los usuarios (estudiantes de ingeniería) y sobre todo, la aplicación de la ecuación diferencial de segundo orden, la utilidad que esta tiene para explicar el comportamiento de fenómenos en asignaturas propias de diversos campos del conocimiento, esto de acuerdo con los planes y programas de estudio de las carreras de ingeniería mecánica, electrónica, industrial, gestión empresarial e ingeniería en sistemas computacionales.

Especificar requisitos: Se realizaron una serie de encuestas a estudiantes y para identificar las características que el escenario debe cumplir. Esto consistió en indagar, por un lado, el nivel de dominio que tienen los estudiantes de esta ecuación, dónde y para qué la aplican. Por otro lado, para conocer el contexto académico de la ecuación, se entrevistaron seis profesores del área de matemáticas que imparten esta asignatura con la finalidad de conocer la situación didáctica de la ecuación diferencial, cuáles dificultades identifican para su análisis, solución y aplicación.

Se encontró que tres factores comunes en sus respuestas fueron: la falta de tiempo, la carencia de conocimientos previos de los alumnos que faciliten su solución y que los estudiantes no están motivados en el estudio de las matemáticas. La relevancia de esta información fue el pensar en una propuesta novedosa que motive a los estudiantes a dedicar tiempo extra, fuera del aula, al análisis del comportamiento de la ecuación diferencia, se decidió por la implementación de un escenario virtual inmersivo y se seleccionó el sistema masa-resorte porque la población que participa en el estudio son estudiantes de ingeniería mecánica.

Producir soluciones de diseño: Una vez entendido y caracterizado el contexto, se crea la propuesta. En esta fase se integró un equipo multidisciplinario cuyos miembros fueron profesores de matemáticas y programadores del área de sistemas computacionales. El área de matemáticas fue responsable de diseñar y justificar la epistemología y formalidad conla que fue abordado el concepto. El área de programación responsable del desarrollo e

implementación del escenario. Las diversas etapas de esta fase fueron: diseño conceptual, definir estilo, diseño visual, diseño de contenido, entre otras.

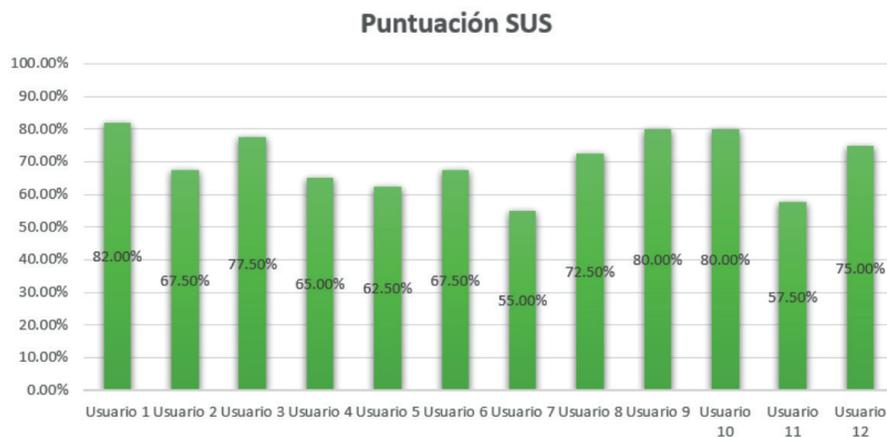
Evaluación: Esta fase fue permanente y por lo tanto, indispensable en el desarrollo de la propuesta. Cada etapa de diseño se llevó a campo para su evaluación. En estas participaban estudiantes, considerados como los usuarios finales, profesores de matemáticas externos al diseño de la propuesta, quienes se encargaban de evaluar su parte didáctica y los programadores, quienes valoraban y aseguraban el cumplimiento de los requisitos del diseño, así como la identificación de errores que se cometieron en la fase de diseño. No fue posible transitar a las siguientes etapas de desarrollo si la actual no era aprobada por los evaluadores. Esto fluyó de manera cíclica hasta que se logró una versión beta del software diseñado para el ambiente virtual.

■ Resultados

Hasta el momento se ha evaluado la usabilidad de la aplicación, entendida esta como una técnica cualitativa que establece qué tan fácil es utilizar un producto realizado siempre y cuando sea utilizado para lo que fue diseñado. (Trujillo et al., 2016). Para evaluar la usabilidad se aplicó la técnica think-aloud y la prueba SUS (system usability scale) la cual permite que se registren ciertas conductas del usuario durante el contacto con el software. Dicha técnica permitió identificar que los usuarios que utilizan lentes con graduación tuvieron problemas con la profundidad de los objetos en el mundo virtual. Un ejemplo de ello fue cuando se le solicitó modificara los parámetros de la ecuación diferencial de segundo grado, y debía que presionar algún botón, no lograban seleccionarlo con facilidad. Otro ejemplo del problema de la profundidad fue cuando los usuarios debían tomar (virtualmente) la masa y moverla hacia arriba o hacia abajo, cerraban la mano antes de poder tocarla y no lograban su movimiento.

La prueba SUS, consiste en diez preguntas, las cuales tienen cinco posibles respuestas enumeradas del 1 al 5. Se aplicó a 12 estudiantes, se sumaron cada uno de los promedios y se dividieron entre el número de usuarios a los que se les aplicó la prueba, dando como resultado un porcentaje “SUS” de 70.20%, lo cual significa que el software en cuestión de usabilidad está por encima del promedio. Un sistema que tiene la puntuación “SUS” del 68.00% puede ser considerada como promedio, sin embargo, una puntuación “SUS” que se encuentre por debajo del 51.00% es considerado como un software ineficiente en cuestiones de usabilidad (Sauro, 2011). Los resultados que se registraron, de acuerdo con los datos registrados en la tabla de la figura 6, fue que el software es eficiente en cuestiones de usabilidad.

Figura 6. Puntuación SUS



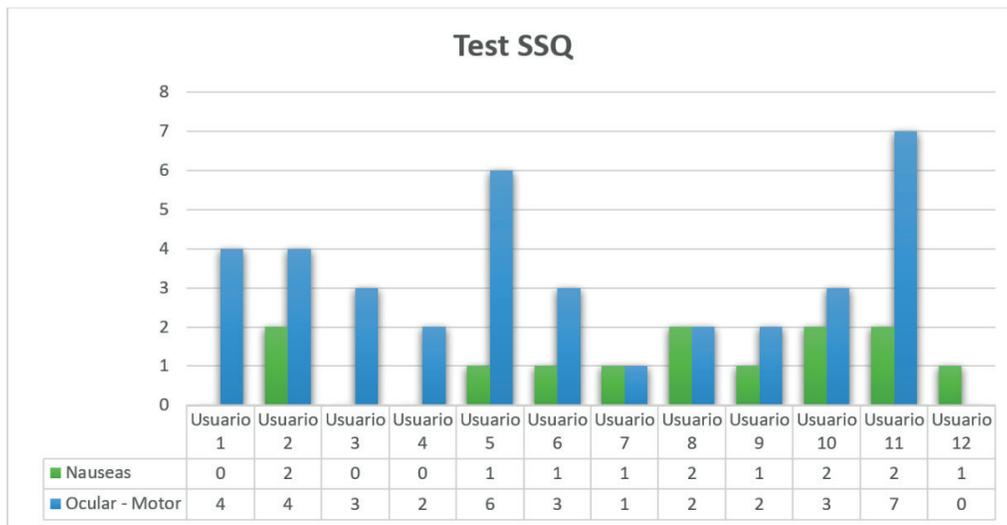
Elaboración propia.

Uno de los resultados que se obtuvieron y que se consideran importantes en la investigación son los efectos secundarios de la inmersión al mundo virtual. Se aplicó la prueba SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) para conocer tal efecto. Este cuestionario fue probado y validado en un estudio que se realizó a 1,119 militares de la marina lo cuales fueron sometidos a un simulador de entrenamiento. Los investigadores buscaban los efectos secundarios que sufrían los usuarios al interactuar con diferentes dispositivos de visualización como sistemas CAVE o cascos de realidad virtual (Quintana, Bouchard, Serrano y Cárdenas, 2014).

La prueba consiste en que el usuario conteste cada uno de los 16 ítems, los cuales se refieren a los síntomas que experimentó durante y después de estar en contacto con el software de realidad virtual, cada uno de estos ítems tiene 5 posibles respuestas. Las respuestas tienen un valor que va desde 0 al 4, que sería la severidad del síntoma que experimentó el usuario. Los cibermareos están compuestos de dos categorías: “Nauseas” y “problemas oculares” (Gómez, 2018), para llegar a este resultado es necesario sumar ciertos ítems, para diagnosticar nauseas se debe sumar los ítems 1, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15 y 16, mientras que para diagnosticar problemas oculares es necesario sumar los ítems 2, 3, 4, 5, 9, 10 y 11.

Los resultados que arrojó el estudio en la presente investigación fue que los usuarios participantes (9 de los 12 seleccionados) presentaron síntomas de náuseas leves al exponerse 10 minutos dentro del escenario, el factor común que se identificó es que estos usuarios no contaban con experiencia en utilizar un visor. En la figura 7 se muestran los resultados de la prueba.

Figura 7. Prueba SSQ.



Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 7 los usuarios 5 y 11 tuvieron un incremento en los problemas oculares. Posterior a la prueba SSQ, se les preguntó si usaban lentes y su graduación en caso afirmativo. El usuario 5 necesita lentes con una graduación en el ojo izquierdo de -1.5, mientras tanto el usuario 11 nunca se había realizado un examen de la vista por lo tanto no tenía conocimiento de la graduación que necesitaba. El software para la mayoría de los usuarios fue satisfactorio y presentaron leves síntomas de problemas oculares después y durante la utilización del software.

■ Conclusiones

En educación es contundente la incorporación de nuevas tecnologías que coadyuvan a potencializar los métodos convencionales y promover la construcción de conceptos matemáticos. La realidad virtual inmersiva es una

alternativa a las dinámicas de aprendizaje convencionales, ya que mediante esta se pueden generar escenarios y laboratorios virtuales en donde se profundicen los contenidos del aula. Con la realidad virtual inmersiva se pueden realizar la simulación del comportamiento de un fenómeno en donde el alumno podrá interactuar con conceptos matemáticos involucrados, modificar condiciones y observar las consecuencias de esas modificaciones, esto en combinación con alguna metodología para el aprendizaje de las matemáticas en el contexto de las ciencias.

Desarrollar propuestas que abonen a la construcción de conceptos matemáticos no es una tarea fácil. Son diversos los elementos que se deben tener en consideración cuando se implementan, tener clara la idea la población a la que van dirigida y sus necesidades, específicamente los escenarios virtuales deben ser valorados desde distintas ópticas, por ejemplo, su usabilidad, para no correr riesgos de que no sean utilizados porque no es accesible o atractivo para el estudiante. El escenario puede ser capaz de resolver distintos problemas didácticos, pero si incorporarlo a las actividades académicas resulta ser una tarea complicada, los estudiantes no lo utilizarán. Deben ser, hasta donde sea posible intuitivos, tener una clara intención didáctica y, sobre todo, que en su diseño participe un equipo multidisciplinario y el usuario como elemento central en todas las etapas de diseño.

Los estudiantes que participaron en la investigación manipularon el simulador de masa-resorte sin una experiencia previa en un escenario virtual. Sin embargo, en consecuencia, al diseño intuitivo del simulador y con una breve explicación del funcionamiento básico del programa, fue posible que los alumnos pudieran manipular dicho software con mayor facilidad, la realidad virtual inmersiva jugó un gran papel importante en el éxito de la propuesta, ya que, al tener la sensación de poder manipular objetos con sus manos y observar causa-efecto en las oscilaciones del sistema y el modelo matemático, despertó su interés en caracterizar el comportamiento del sistema masa-resorte.

La trascendencia de este trabajo radica en mostrar la posibilidad de incorporar tecnologías de punta en el aula de matemáticas. Una vez que se regularice el acceso a las aulas, debido a la pandemia que hoy en día vivimos, se tiene proyectado un estudio cuantitativo para valorar el impacto de la propuesta en la construcción del concepto matemático abordado.

■ Referencias bibliográficas

- Al-Ahmari, A., Abidi, M., Ahmad, A., & Darmoul, S. (2016). Development of a virtual manufacturing assembly simulation system. *Advances in Mechanical Engineering*, 8.
- Bowman, D. & McMahan, R. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7), 36–43.
- Bowman, D. & McMahan, R. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7), 36–43.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. New Jersey, Cal: J. Wiley-Interscience, Hoboken, 2nd edition.
- Camarena, P. (2013). A treinta años de la teoría educativa "Matemática en el Contexto de las Ciencias". *Innovación educativa* (México, DF), 13(62), 17-44. Recuperado en 30 de septiembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732013000200003&lng=es&tlng=es.
- Caudell, T. & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Proceedings of the twenty-fifth Hawaii international conference on system sciences*, volume 2, pages 659– 669. IEEE.
- Cárdenas, S. (2018). Escenario virtual KerDen Math para la manipulación de objetos tridimensionales. Tesis no publicada.
- Cordero, F. & Suárez, L. (2005). Modelación en matemática educativa. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 1(18), 639–644.
- Cordoba, F. (2013). La modelación en Matemática Educativa: una practica para el trabajo de aula en ingeniería. Thesis, Instituto Politécnico Nacional, México, Distrito Federal.
- Duval, R., (2006). A Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Education Studies in mathematics*, V61, Number 1-2, pp. 103-106

- Gómez, M. (2018). Test de usabilidad en entornos de realidad virtual. *No Solo Usabilidad*, (17).
- Martínez, F. (2011). Presente y futuro de la tecnología de la realidad virtual. *Creatividad y sociedad*, 1 (16), 23-45.
- Mata, G. (2008). Realidad virtual y simulación en el entrenamiento de los estudiantes de medicina. *Educación Médica*, 1(11), 29–31.
- Mor, E., Domingo, M. G., & Galofré, M. (2007). Diseño centrado en el usuario en entornos virtuales de aprendizaje, de la usabilidad a la experiencia del estudiante. In SPDECE.
- Pal, P. (2019), What is User Center Design (UCD) Approach? Recuperado el 20 de mayo de 2020 de: <https://think360studio.com/what-is-user-centered-design-approach/>
- Quintana, P., Bouchard, S., Serrano Zárate, B., & Cárdenas-López, G. (2014). Efectos secundarios negativos de la inmersión con realidad virtual en poblaciones clínicas que padecen ansiedad. *Revista de psicopatología y psicología clínica*, 19(3), 197–207.
- Rodríguez, R. & Quiroz, S. (2016). El rol de la experimentación en la modelación matemática. *Educación matemática*, 3(28), 91–110.
- Ruiz, L. and Rivero, S. (2019). Impacto de la matemática en el contexto de las ciencias con software matemático en ecuaciones diferenciales. *Científica*, 1(23), 13-21.
- Sancho, J. (2015). Desarrollo del simulador del instrumento Theremin empleando un Leap Motion. Recuperado el 10 de abril del 2017 de: <http://hdl.handle.net/10251/55862>.
- Sauro, J. (2011). Measuring usability with the system usability scale (sus).
- Trujillo, M., Aguilar, J. & Neira, C. (2016). Los métodos más característicos del diseño centrado en el usuario-dcu-, adaptados para el desarrollo de productos materiales. *Iconofacto*, 12(19), 215–236.