



Revista de Estilos de Aprendizaje / Journal of Learning Styles

ISSN: 1988-8996 / ISSN: 2332-8533

Integración de un laboratorio virtual en un ciclo de aprendizaje 4MAT evaluado con el modelo Kirkpatrick

Víctor Edrei Robles-Chávez

Universidad Tecmilenio (México)

E-mail: edreirobles@tecmilenio.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5243-3241>

Mario Humberto Ramírez-Díaz

Instituto Politécnico Nacional (México)

E-mail: mramirezd@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3459-2927>

Jesús Alberto Flores-Cruz

Instituto Politécnico Nacional (México)

E-mail: jafloresc@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7816-4134>

Recibido: 21 de agosto de 2022 / Aceptado: 25 de octubre de 2022

Resumen

El Movimiento Armónico Simple (MAS) es uno de los temas que conforman el currículo universitario de la licenciatura en Física. Su estudio forma parte del curso introductorio de Física y del laboratorio correspondiente. El MAS supone confrontar una serie de obstáculos conceptuales debido a las abstracciones físicas requeridas y a las herramientas matemáticas necesarias para trabajarlas. En este trabajo se propone una solución a esta problemática bajo la forma de una secuencia didáctica basada en el ciclo de aprendizaje 4MAT, modificado para la integración de un laboratorio virtual como línea de acción principal durante todo el ciclo. Gracias a la utilización del ciclo 4MAT, es posible adaptar el tema a las necesidades de aprendizaje de cada estudiante. Además, el laboratorio virtual le otorga una nueva dimensión a la secuencia didáctica, ya que ha sido comprobado que el uso de simulaciones incrementa el aprendizaje del MAS en estudiantes universitarios. Utilizando el modelo de evaluación Kirkpatrick, se demuestra que existe una relación proporcional entre el aprendizaje percibido por los estudiantes y los resultados que presentaron al finalizar la secuencia didáctica. Contrariamente, se reporta que no existe ninguna relación entre la satisfacción y el desempeño de los estudiantes durante la secuencia didáctica.

Palabras clave: 4MAT; laboratorio virtual; Kirkpatrick; MAS; educación superior

[en] Integration of a virtual laboratory in a 4MAT learning cycle evaluated with the Kirkpatrick model

Abstract

Simple Harmonic Motion (SHM) is one of the topics that set up the university curriculum for the Physics degree, its study is part of the introductory Physics course and the corresponding laboratory. The MAS supposes confronting a series of conceptual obstacles due to the physical abstractions required and the mathematical tools necessary to work them. In this work, a solution to this problem is proposed in the form of a didactic sequence based on the 4MAT learning cycle, modified for the integration of a virtual laboratory, as the main line of action throughout the cycle. Thanks to the use of the 4MAT cycle, it is possible to adapt the topic to the learning needs of each student. In addition, the virtual laboratory gives a new dimension to the didactic sequence, since it has been proven that the use of simulations increases the learning of the MAS in university students. Using the Kirkpatrick evaluation model, it is shown that there is a proportional relationship between the learning perceived by the students and the results they presented at the end of the didactic sequence. On the contrary, there is no relationship between satisfaction and student performance during the didactic sequence.

Keywords: 4MAT; virtual laboratory; Kirkpatrick; SHM; higher education

Sumario: 1. Introducción, 2. Estudios de interés, 3. Desarrollo de una secuencia didáctica mediante el ciclo 4MAT, 4. Ciclo de aprendizaje 4MAT+LV, 5. Modelo de evaluación Kirkpatrick, 6. Secuencia didáctica, 7. Metodología, 8. Resultados y discusión, 9. Conclusiones, Referencias.

1. Introducción

Entre los alumnos del nivel superior, existe una dificultad identificada (Parnafes, 2010; Tural, 2017) para pasar de situaciones abstractas a situaciones concretas al relacionar la ecuación del Movimiento Armónico Simple (MAS) con el movimiento real de los cuerpos que se rigen por dicha ecuación.

La representación matemática del movimiento, la simbología de las ecuaciones, el uso de objetos matemáticos como funciones trigonométricas, y la física del movimiento armónico simple (MAS), se vuelven elementos clave para que el estudiante adquiera el conocimiento deseado (Chong y Wei, 2022; Somroob y Wattanakasiwich, 2017). En el salón de clases tradicionalmente, los ejemplos más utilizados para el estudio del MAS son el de una masa atada a un muelle, y el del péndulo simple. Debido al hecho de que las ecuaciones del péndulo simple deben “linealizarse” para ser estudiadas en el nivel medio superior, los ejemplos se limitan al tratamiento del MAS por medio del sistema masa-muelle, y algunas variantes de este para simplificar el estudio. Por un lado, Parnafes (2010) demostró en su trabajo la complejidad de la epistemología del Movimiento Armónico Simple relacionada con el estudio de los fenómenos explicados por este. También, Somroob y Wattanakasiwich (2017) reportaron en un estudio experimental que la mayoría de los alumnos que estudian el MAS entran con preconcepciones erróneas respecto a las fuerzas y con confusiones lógicas en cuanto a la conexión del modelo matemático con el movimiento real. Además, el trabajo de Tural (2017) confirma la dificultad de los estudiantes para establecer una relación entre el Movimiento Armónico Simple de los cuerpos y la teoría matemática.

Lo anterior deja en evidencia que enseñar esta clase de movimiento con una secuencia didáctica basada en la metodología de transmisión/recepción resulta particularmente complicado, ya que la representación del MAS en un pizarrón, no siempre logra transmitir la idea del docente; sin mencionar que la construcción de un sistema físico determinado puede ser útil para ejemplificar el movimiento, pero no como herramienta de trabajo debido a que se necesitarían diversos muelles con constantes elásticas variadas y masas con distintos valores para ello.

Esta investigación tiene el objetivo de comprobar si existe alguna relación entre las variables de satisfacción de los estudiantes en cuanto a la secuencia didáctica recibida con su desempeño en ésta, y la variable del aprendizaje percibido por los estudiantes en relación con sus resultados. Para este

propósito, en este trabajo de investigación se propone el uso de un laboratorio virtual para enseñar las ecuaciones del MAS, utilizando un laboratorio virtual, a través de una secuencia didáctica dentro del marco de la metodología 4MAT dirigido a estudiantes del nivel universitario. La secuencia didáctica diseñada a partir del sistema 4MAT será evaluada con el modelo Kirkpatrick (Nicoll-Senft, 2012) para determinar si existe, o no, alguna de las relaciones de variables expuestas anteriormente. La finalidad es conocer de qué manera la propia secuencia didáctica afecta en el aprendizaje de los estudiantes universitarios respecto a este tema.

En esta investigación se propone el uso de un laboratorio virtual para enseñar el MAS como una solución potencial al problema de pasar los conceptos abstractos a concretos, así como a la falta de recursos técnicos, didácticos y computacionales en los laboratorios de física. La propuesta de solución consiste en desarrollar y evaluar una secuencia didáctica basada en la metodología educativa 4MAT+LV, modificada para adaptar la herramienta del laboratorio virtual (LV) como eje conductor de todo el ciclo de aprendizaje. En este trabajo, se presenta primero el marco teórico que fundamenta la secuencia didáctica; enseguida, se expone detalladamente el diseño de la secuencia para finalizar con el análisis de su aplicación en un grupo de estudiantes universitarios de física a través del modelo Kirkpatrick.

2. Estudios de interés

En la educación de las ciencias, el uso de recursos tecnológicos de aprendizaje ha ido en aumento. Actualmente, las herramientas para el proceso de enseñanza aprendizaje van desde resúmenes y videos, hasta simulaciones con realidad aumentada (Sukmak y Musik, 2022; Hill, Sharma, Johnston, 2015).

Está claro que los recursos digitales son útiles para mejorar el aprendizaje, pero es también necesario desarrollar estrategias didácticas que les den sentido (Muller, 2008). Por otra parte, mediante pruebas realizadas, se ha demostrado que los recursos apoyados por actividades de diálogo entre profesores y alumnos tienen un mejor rendimiento que aquellos que sólo contienen recursos multimedia (Muller, 2008). Además, se ha reportado que la introducción de los recursos tecnológicos en una clase de ciencias no reemplaza la propia clase, ni representa una metodología; sino que sirve únicamente como punto de partida para el inicio del estudio de un tema (Banda y Nzabhimana, 2021; Chen, Stelzer, Gladding, 2010). Dentro de los resultados de este estudio, se encontró una mejora significativa en el rendimiento de los estudiantes, independientemente de sus conocimientos previos o nivel de habilidad. La implementación actual de las técnicas multimedia utilizadas por diversos autores es más efectiva para enseñar algunos conceptos de física que otros, y podría ser mejorada con el uso de animaciones. Además, éstas ayudan a liberar la carga cognitiva que se incurre en la memoria visual a corto plazo de los estudiantes (Chen, 2010), situación que se da cuando intentan visualizar algún concepto complejo o abstracto.

En este sentido, debemos tomar en cuenta los Laboratorios Virtuales (LV). A diferencia de la poca disponibilidad de los laboratorios físicos o tradicionales (LT), los LV no tienen esta restricción ya que pueden ser utilizados a través de tecnologías basadas en la web y otros entornos virtuales de aprendizaje o EVA (del Carmen, 2016). Además, la experimentación en los LV es una actividad didáctica que fomenta el aprendizaje activo en los estudiantes ya que los involucra directamente en el desarrollo de la lección, así como en la resolución de problemas (Nantsou, Kapotis y Tombras, 2021; Meltzer, 2011). Por otra parte, los EVA también dan la oportunidad de completar un aprendizaje significativo en los alumnos debido a que permite la interconexión de los conceptos aprendidos a través de una experiencia que puede poner en evidencia conceptos previamente adquiridos, y contrastarlos con los nuevos conceptos (Moltó, 2003).

La mayor aportación de este trabajo consiste en demostrar el aumento de la ganancia conceptual y la actitud positiva hacia el nuevo aprendizaje por parte de los alumnos (Carnevali y Buttazz, 2003; Robinson, 2002; Tüysüz, 2010; Iradat, Alatas, 2017), utilizando para ello un LV como elemento clave para la enseñanza del fenómeno físico y las ecuaciones del MAS. Una de las ventajas añadidas al uso de un LV estriba en su funcionalidad para viabilizar procesos formativos en alumnos que, de otra forma, tendrían que enfrentar barreras técnicas y otras limitaciones asociadas a la escasez que caracteriza a las instituciones públicas del país, como la falta de material o la carencia de personal auxiliar suficiente para

asistir a todos los alumnos (del Carmen, 2016). Por último, y no por ello menos importante, en una situación como la emergencia sanitaria provocada por el COVID-19, el uso de los LV se posiciona como una opción viable para mantener el progreso académico y responder a las necesidades de los estudiantes (Čavić, Stanisavljević, Bogdanović, Skuban, y Pavkov-Hrvojević, 2022; Vasiliadou, 2020).

Para desplantar el trabajo de investigación, fueron definidas las siguientes preguntas:

- ¿Qué relación existe entre la satisfacción y el desempeño de un estudiante universitario de física que ha completado una secuencia didáctica del movimiento armónico simple basada en el ciclo de aprendizaje 4MAT+LV?
- ¿Qué relación existe entre el aprendizaje percibido y la evidencia de aprendizaje de un estudiante universitario de física que ha completado una secuencia didáctica del movimiento armónico simple basada en el ciclo de aprendizaje 4MAT+LV?

Como respuesta a las preguntas de investigación, fueron enunciadas las hipótesis siguientes:

- El nivel en los índices de satisfacción del modelo Kirkpatrick está proporcionalmente relacionado con el desempeño de los estudiantes universitarios de física después de completar la secuencia didáctica 4MAT+LV con el tema del movimiento armónico simple.
- El nivel en los índices de aprendizaje percibido del modelo Kirkpatrick está proporcionalmente relacionado con los resultados obtenidos por los estudiantes universitarios de física después de completar la secuencia didáctica 4MAT+LV con el tema del movimiento armónico simple.

El objetivo general de este estudio es evaluar a estudiantes universitarios de la licenciatura en física con el modelo Kirkpatrick, después de completar una secuencia didáctica del MAS basada en el ciclo de aprendizaje del sistema 4MAT con un LV integrado, como eje conductor, para verificar e identificar la relación que existe entre los indicadores de satisfacción, aprendizaje percibido, desempeño¹ y resultados² de los estudiantes. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseñar una secuencia didáctica a partir del ciclo de aprendizaje del sistema 4MAT para enseñar el Movimiento Armónico Simple.
- Integrar la herramienta del laboratorio virtual como eje conductor de la secuencia didáctica.
- Aplicar y evaluar la secuencia didáctica en estudiantes de segundo semestre de la licenciatura en física.
- Elaborar un análisis estadístico con los datos obtenidos para medir el impacto de la secuencia didáctica en el aprendizaje de los estudiantes y determinar la relación que existe entre las variables de satisfacción y desempeño de los estudiantes, así como de las variables de aprendizaje percibido y resultados generados por los estudiantes.

3. Desarrollo de una secuencia didáctica mediante el ciclo 4MAT

Para desarrollar la secuencia didáctica se tomó como base la metodología del sistema 4MAT propuesto por Bernice McCarthy en 1987. Para McCarthy (1987) existen dos diferencias en la forma de aprender: la percepción y el procesamiento. Ambas pueden ser explicadas a partir del funcionamiento de la mente y el cerebro, e indican el principio de los estilos de aprendizaje. Por otra parte, la teoría conocida como aprendizaje experiencial, propuesta por Kolb (1981), se basa en la capacidad intelectual de poner a prueba ideas a través de experiencias. Para Kolb (1981), el aprendizaje y desarrollo personal dependen de la integración de estos sistemas cognitivos: Experiencia Concreta (EC), Observación Reflexiva (OR), Conceptualización Abstracta (CA) y Experimentación Activa (EA). Utilizando sus sistemas, Kolb (1981) propone cuatro estilos de aprendizaje:

- Divergentes (EC+OR) procesan las experiencias concretas con reflexión.
- Asimiladores (CA+OR) conceptualizan de forma abstracta y procesan reflexivamente.
- Convergentes (CA+EA) tienen conceptualizaciones abstractas y las procesan activamente.
- Acomodadores (EC+EA) prefieren experiencias concretas y procesan activamente.

La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb (1981), junto con el ciclo de interacciones entre los sistemas EC, OR, CA y EA conforman la base teórica para el sistema 4MAT de McCarthy (1987). Bernice McCarthy (1987) se basó esos sistemas para extender su idea original de que los individuos expanden sus procesos de aprendizaje cuando los ejercitan. McCarthy (1987) enfatiza la naturaleza independiente, aunque interrelacionada, de los cuatro aspectos del estilo de Kolb (1981). De manera general, McCarthy (citado por Ramírez- Díaz, 2009) resume las características de los cuatro estilos de la forma en que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1
Estilos de aprendizaje de McCarthy

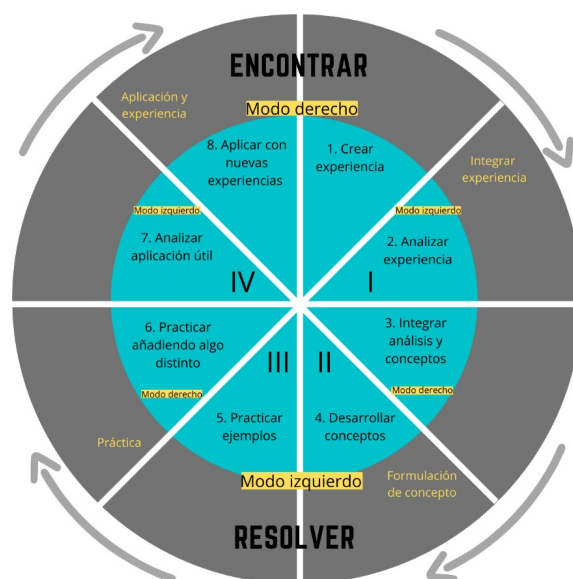
Estilo 1	Estilo 2	Estilo 3	Estilo 4
Perciben la información de manera concreta y la procesan reflexivamente.	Perciben la información de manera abstracta y la procesan reflexivamente.	Perciben la información de manera abstracta y la procesan activamente.	Perciben la información de manera concreta y la procesan activamente.

Tal como se señaló en la sección anterior, el ciclo de aprendizaje planteado por McCarthy en el sistema 4MAT (Figura 1) complementa las ideas de Kolb al incorporar las investigaciones sobre el cerebro. Existen diversos conceptos de hemisfericidad cerebral:

1. Los procesos del Modo Izquierdo y Derecho son diferentes.
2. Los individuos prefieren acercamientos diferentes al aprendizaje a lo largo de un continuo entre el hemisferio derecho e izquierdo.
3. Ambos tipos de hemisfericidad son igualmente valiosos.

Se ha elegido la metodología 4MAT para desarrollar la secuencia didáctica de este trabajo debido a la consideración que tiene por los estilos de aprendizaje y los modos de procesamiento de información. En ese sentido, se contempla que todos los estudiantes tendrán momentos dentro del ciclo durante los cuales se sentirán cómodos con su aprendizaje, y también habrá otros momentos donde serán desafiados y puestos a prueba.

Figura 1
Representación del ciclo completo de aprendizaje 4MAT



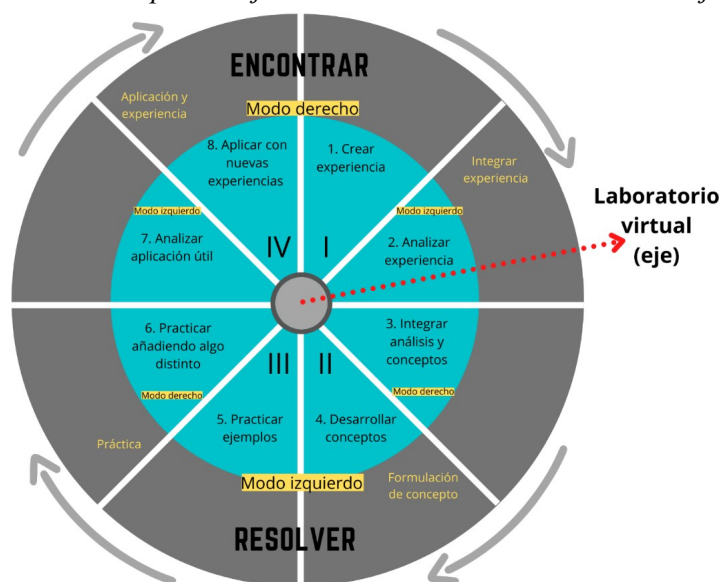
4. Ciclo de aprendizaje 4MAT+LV

A continuación, se propone una integración de esta herramienta tecnológica como eje del ciclo 4MAT, para obtener un ciclo de aprendizaje modificado al que denominaremos 4MAT+LV (Figura 2). En la figura 2 se observa en el centro el eje donde se encuentra el LV. Se trata de una abstracción que representa visualmente de la importancia didáctica que tiene el LV a lo largo de la secuencia de aprendizaje ya que está presente en cada etapa del ciclo 4MAT y es la conexión entre éstas.

Ardila y Arroyave (2012) exponen oportunamente que la enseñanza de la física se ha convertido en una actividad de búsqueda de la mejor fórmula para resolver problemas, y si a eso se suma el supuesto generalizado según el cual el estudiante que no posee el andamiaje matemático correcto, no puede hacer física. Así que todo indicar que el objetivo de los docentes es mostrar a sus estudiantes un método de solución de problemas y no enseñar a plantear problemas y métodos para encontrar diversas soluciones.

Figura 2

Representación del ciclo de aprendizaje 4MAT con un Laboratorio Virtual eje conductor



5. Modelo de evaluación Kirkpatrick

El modelo Kirkpatrick fue diseñado en 1950 por el Dr. Donald Kirkpatrick para evaluar capacitaciones y entrenamientos en distintas industrias, y así tomar decisiones ejecutivas en cuanto al talento humano (*The Kirkpatrick Model*, 2022). Este diseño de evaluación es flexible y adaptable para valorar cualquier experiencia de aprendizaje, particularmente aquellas metodologías de aprendizaje que compagin con la idea de adquirir o desarrollar nuevas habilidades, como es el caso del sistema 4MAT (Nicoll-Senft, 2012). En cuanto a las categorías de evaluación, se consideran las siguientes (*The Kirkpatrick Model*, 2022):

Nivel 1. Satisfacción: El grado en que los participantes encuentran la capacitación favorable, atractiva y relevante para sus trabajos.

Nivel 2. Aprendizaje percibido: El grado en que los participantes adquieren el conocimiento, las habilidades, la actitud, la confianza y el compromiso previstos en función de su participación en la capacitación.

Nivel 3. Desempeño: El grado en que los participantes aplican lo que aprendieron durante la capacitación cuando regresan al trabajo

Nivel 4. Resultados: El grado en que los resultados previstos se producen como resultado de la formación y el paquete de apoyo y rendición de cuentas

Para realizar la evaluación en cada una de las categorías, existen cuestionarios definidos por parte del modelo que deben ser adaptados a la experiencia de aprendizaje particular (Nicoll-Senft, 2012). Una vez respondidos los cuestionarios, es posible relacionar las variables de satisfacción con desempeño y de aprendizaje percibido con los resultados de los estudiantes para obtener un análisis relacional que nos permite indagar en la percepción que tiene el estudiante ante la experiencia de aprendizaje, en comparación con los datos que permiten conocer el desempeño real del estudiante.

6. Secuencia didáctica

La tabla que aparece bajo estas líneas detalla la propuesta que ha dado pie al presente trabajo. En ella es posible identificar los elementos que conforman la secuencia didáctica basada en el ciclo de aprendizaje del sistema 4MAT modificado para la integración de un laboratorio virtual (Tabla 2).

Tabla 2

Secuencia didáctica 4MAT Modificado

Paso	Descripción	Recursos	Duración
1. Crear experiencia	Se trata del simulador bidimensional de un oscilador armónico con el sistema muelle- masa. Es posible variar distintos parámetros como la posición inicial, la masa, coeficiente de elasticidad, coeficiente de amortiguamiento, etc. Para el primer paso del ciclo, se pide al alumno reiniciar la simulación con los parámetros preestablecidos y, si es necesario, poner en cero el coeficiente de amortiguamiento. Enseguida, cambiar la vista para observar la simulación y la gráfica posición-tiempo simultáneamente. Finalmente, lanzar la simulación y observar lo que sucede durante al menos 15 segundos. Si se desea, es posible repetir la experiencia una segunda ocasión.	Simulador (Neumann, 2021)	5 minutos
2. Analizar experiencia	Ya con la experiencia realizada en el simulador, los estudiantes trabajarán individualmente para responder las siguientes preguntas: + ¿Qué relación observas entre la evolución de la gráfica y el movimiento de la masa atada al resorte? + ¿Cómo se llama a esa clase de gráficas? + Cuando la gráfica cruza el eje X, ¿por cuál posición pasa la masa atada al resorte? Esa posición es llamada "posición de equilibrio".		5 minutos
3. Integrar análisis y conceptos	Observar la gráfica a detalle y responder las siguientes preguntas: + ¿Cuál es el máximo y el mínimo de la gráfica? + ¿Cuál es la elongación máxima y la compresión mínima del resorte? + ¿Qué relación existe entre la elongación/compresión del resorte y el máximo/mínimo de la gráfica		5 minutos
4. Desarrollar conceptos	Introducir conceptos clave del movimiento oarmónico. Se pedirá a cada grupo ver el video delrecurso del minuto 0 al minuto 8. También se pedirá a cada grupo revisar los enlaces de los recursos. Con esto, se profundizará en los conceptos necesarios para comprender el Movimiento Armónico Simple.	Video (Crespo, 2018) Enlaces (Neumann, 2021)	15 minutos
5. Practicar con ejemplos	Repetir el mismo experimento, pero ahoraobservando la evolución de las gráficas velocidad-tiempo y aceleración-tiempo. Después, responder a las siguientes preguntas: + ¿Cada cuántos segundos se repite un periodo (máximo a máximo o mínimo a mínimo) de la gráfica posición-tiempo?		25 minutos

	<p>+ En un segundo, ¿qué fracción del periodo de la gráfica se lleva a cabo? Esto es conocido como “frecuencia”.</p> <p>+ Si calculas la fracción inversa de la frecuencia, ¿a qué valor se parece?</p> <p>+ Determina la ecuación representativa de un Movimiento Armónico Simple sabiendo que la separación máxima a la posición de equilibrio es de 14 cm y se han contado 18 oscilaciones en 6 segundos partiendo del equilibrio.</p> <p>+ Haz una representación gráfica sencillade la función determinada con el enunciado anterior.</p> <p>+ Haz un esquema del sistema físico que tiene el movimiento descrito por la función anterior.</p>		
6. Practicar añadiendo algo distinto	<p>Lanzar la simulación aumentando la masa de 0.5 kg a 5 kg y observar lo que sucede tanto en el movimiento del sistema físico como en la gráfica posición-tiempo.</p> <p>+ Escribe todas las diferencias que encuentras entre las gráficas con masa 0.5 kg y con masa 5 kg.</p> <p>Lanzar simulación cambiando la rigidez (stiffness) de 3 a 1 y observar lo que sucede tanto en el movimiento del sistema físico como en la gráfica posición-tiempo.</p> <p>+ Escribe todas las diferencias que encuentras entre las gráficas con rigidez 3 y rigidez 1.</p> <p>¿Qué cantidad de la función que describe el Movimiento Armónico Simple provocaría cambios como el que se aprecia en los experimentos anteriores?</p> <p>¿Qué significa que la rigidez y la masa provoquen tal cambio en el movimiento del sistema físico?</p>		25 minutos
7. Analizar aplicación útil	<p>Establecer y caracterizar otros sistemas oscilatorios. A partir de los resultados obtenidos hasta el momento, cada grupo debe pensar qué otros sistemas físicos del mundo real tienen un movimiento que puede ser descrito gráficamente de manera similar al movimiento armónico. Si es posible, establecer: amplitud, frecuencia, elementos que oscilan.</p>		10 minutos
8. Aplicar con nuevas experiencias	<p>Aplicar un factor de amortiguamiento y establecer diferencias.</p> <p>Lanzar de nuevo la simulación con la evolución gráfica, aplicando un factor de amortiguamiento de 0.100 y establecer todas las diferencias respecto a la primera clase de movimiento en cuanto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evolución de la gráfica - Amplitud - Periodo y frecuencia <p>-Comportamiento del sistema físico Y explicar por qué existe una diferencia utilizando palabras, fórmulas y/o ejemplos.</p>		15 minutos

7. Metodología

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) es una institución educativa desconcentrada del Gobierno Federal de México, por lo cual el acceso a los programas académicos es gratuito, así como las inscripciones a los semestres y derechos para estudiantes. Los estudiantes que participaron en el estudio cursaron la materia de Física II, correspondiente al estudio de medios continuos y termodinámica (Instituto Politécnico Nacional, 1994).

La población considerada para este trabajo estuvo conformada por 53 estudiantes de entre 18 y 23 años. La población estaba conformada por 40 hombres y 13 mujeres, todos adscritos al programa de tronco común de la Licenciatura en Física y Matemáticas que consiste en 6 horas semanales durante un semestre. La metodología experimental con la población de estudio se llevó a cabo en una misma sesión con duración de 120 minutos, en condiciones generalizadas de acceso a internet a través de

computadoras y con recursos digitales gratuitos pertenecientes al compendio de aplicaciones ofrecidas por *Google for Education* (Google Meet, Google Drive y Google Forms).

En una entrevista directa con uno de los profesores titulares de la materia de Física II en la ESFM, se comentó la dificultad que tienen los estudiantes para comprender el tema del movimiento armónico simple y que es reflejado en el alto índice de reprobación de los periodos de exámenes que comprenden este tema. Aunado a esto, la llegada de la pandemia ocasionada por el COVID-19 no hizo más que empeorar la situación del rendimiento académico de los estudiantes.

Consultando la bibliografía relacionada con la problemática que se describe (Dimas, Suparmi, Sarwanto y Nugraha, 2018; Madu, 2012; Somroob y Wattanakasiwich, 2017; Tural, 2017; Iradat y Alatas, 2017; Parnafes, 2010), se comprueba con referentes sólidos que existe una dificultad para aprender el tema del MAS por parte de los estudiantes de Física del nivel superior en el marco metodológico de transmisión-recepción.

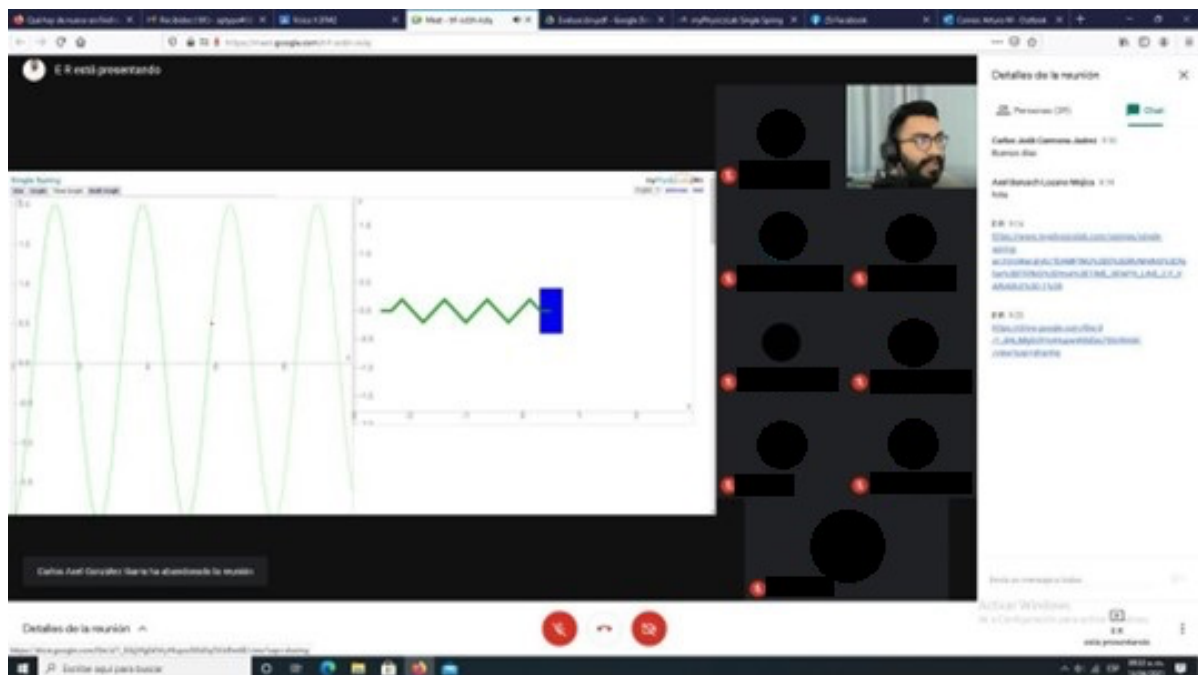
Con esta premisa como base, se propone la secuencia didáctica basada en el sistema 4MAT integrando un LV como modificación, con la finalidad de favorecer el aprendizaje del MAS en los estudiantes universitarios de la licenciatura en Física. La implementación de la secuencia didáctica diseñada para este experimento fue llevada a cabo el 14 de abril de 2021 entre las 9 y 13 horas, en el horario de la Ciudad de México. Se trabajó con dos grupos de estudiantes de la Licenciatura en Física que estaban cursando la asignatura de Física II, en dos sesiones virtuales de dos horas (Figura 3).

Para la recolección de datos relacionada con las primeras dos etapas del modelo de evaluación Kirkpatrick, se ha optado por utilizar una escala Likert debido a que este tipo de herramienta ayuda a obtener resultados cualitativos, pero con la ventaja de ser ordenados numéricamente para el análisis estadístico (Chimi y Russell, 2009).

Además, Nemoto y Beglar (2014) reportan que la realización de un cuestionario que incluye la medición de variables relacionadas con constructos psicológicos como las preferencias resulta una actividad desafiante que puede ser llevada a cabo a través de la construcción de ítems que permitan traducir las respuestas cualitativas a datos con interpretación numérica, como la escala de Likert.

Figura 3

Captura de pantalla de una sesión virtual con los grupos de Física II de la ESFM-IPN



8. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las cuatro etapas del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick (Nicoll-Senft, 2012; Tamkin, Yarnall y Kerrin, 2002).

8.1. Primera etapa el modelo Kirkpatrick: satisfacción

La primera etapa del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick consiste en evaluar un conjunto de once indicadores que miden la satisfacción del estudiante respecto a la secuencia didáctica que recibió. Para calificar cada indicador, se utiliza una escala de Likert. A continuación, se muestra en la Tabla 3 la distribución de la población de estudio por indicador y por valor de la escala:

Tabla 3

Satisfacción del estudiante respecto a la secuencia didáctica recibida

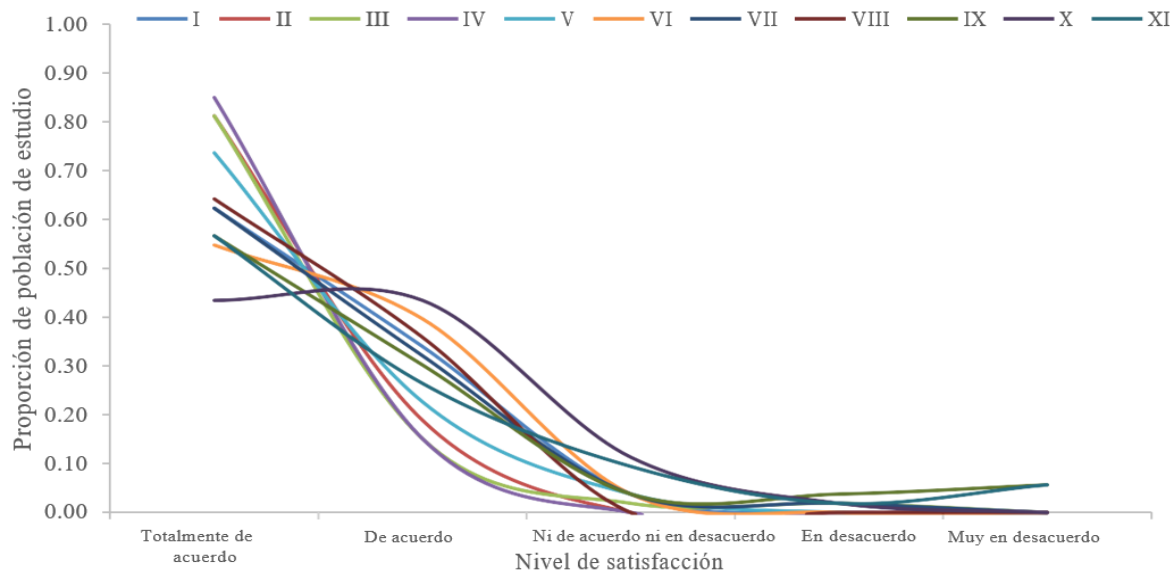
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Promedio
Totalmente de acuerdo	0.62	0.81	0.81	0.85	0.74	0.55	0.62	0.64	0.57	0.43	0.57	0.66
De acuerdo	0.34	0.19	0.15	0.15	0.23	0.40	0.32	0.36	0.30	0.43	0.26	0.28
Ni de acuerdo nien desacuerdo	0.04	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.11	0.09	0.04
En desacuerdo	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.02	0.02	0.01
Muy en desacuerdo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.01

La figura 4 representa visualmente los datos expuestos en la tabla anterior. Y la figura 5 representa el promedio obtenido en los once indicadores de satisfacción por valor de la escala. De acuerdo con la tabla 3, más del 80% de los estudiantes tuvo una reacción positiva hacia el conjunto de la secuencia didáctica.

Este resultado es confirmado por la figura 5 del promedio de los valores en los once indicadores. De modo que es posible afirmar que la población de estudio presentó una satisfacción alta en cuanto a la secuencia didáctica diseñada para este experimento.

Figura 4

Satisfacción del estudiante respecto a la secuencia didáctica recibida



8.2. Segunda etapa el modelo Kirkpatrick: aprendizaje percibido

La segunda etapa del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick consiste en evaluar un conjunto de ocho indicadores que miden el aprendizaje percibido del estudiante respecto a la secuencia didáctica que recibió. Para calificar cada indicador, se utiliza una escala de Likert. A continuación, se muestra en la tabla 4 la distribución de la población de estudio por indicador y por valor de la escala después la aplicación de la secuencia didáctica 4MAT+LV. Además, la segunda etapa de este modelo de evaluación tiene la particularidad de solicitar un post test y luego un pretest a los estudiantes.

Figura 5
Satisfacción promedio considerando los once indicadores

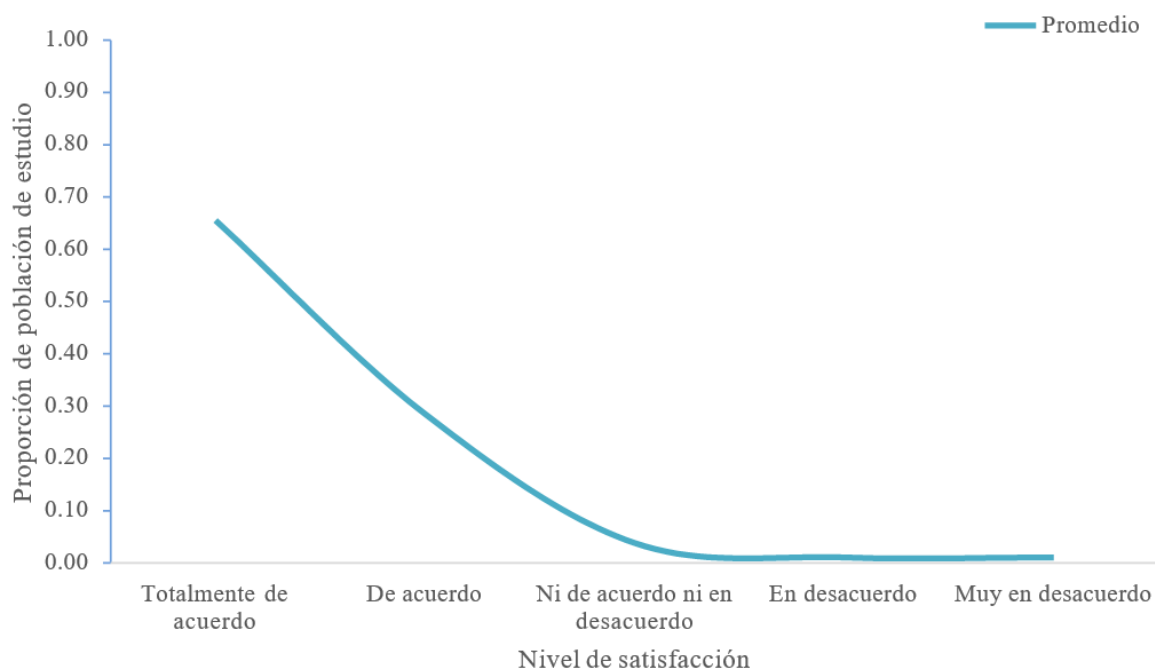


Tabla 4
Aprendizaje percibido por el estudiante antes (An.) y ahora (Ah.) del ciclo 4MAT+LV

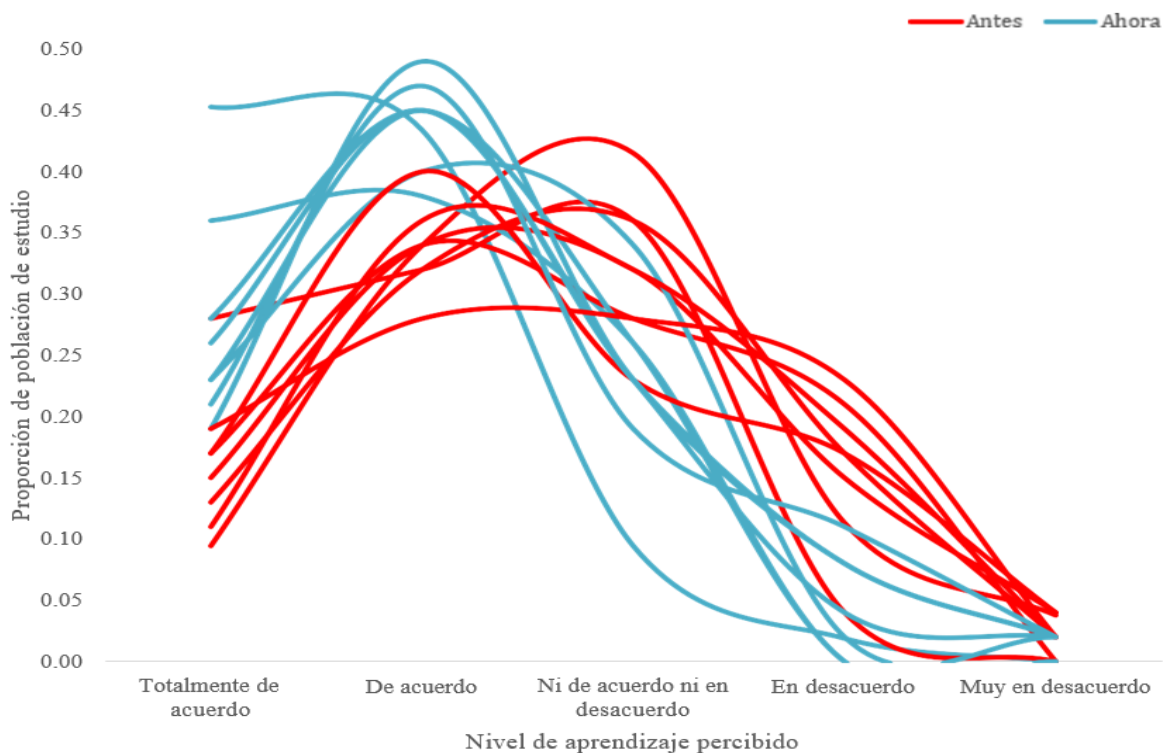
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		Promedio	
	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.	An.	Ah.
Totalmente de acuerdo	0.09	0.45	0.28	0.36	0.17	0.28	0.15	0.23	0.17	0.26	0.13	0.19	0.11	0.23	0.19	0.21	0.16	0.28
De acuerdo	0.34	0.43	0.32	0.38	0.34	0.45	0.34	0.40	0.40	0.45	0.32	0.49	0.36	0.45	0.28	0.47	0.34	0.44
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0.42	0.09	0.36	0.26	0.28	0.26	0.32	0.34	0.23	0.23	0.36	0.23	0.32	0.23	0.28	0.19	0.32	0.23
En desacuerdo	0.11	0.02	0.04	0.00	0.21	0.00	0.15	0.02	0.17	0.04	0.17	0.08	0.19	0.08	0.23	0.11	0.16	0.04
Muy en desacuerdo	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01

La figura 6 representa visualmente los datos expuestos en la tabla anterior. Y la figura 7 representa el promedio obtenido en los ocho indicadores de aprendizaje percibido por valor de la escala. De acuerdo con la tabla 4, la proporción de estudiantes con niveles cuatro y cinco de la escala Likert, correspondientes a los niveles “Totalmente de acuerdo” y “De acuerdo”, fue siempre mayor o igual a 0.63 en la sección “Ahora”. Y en promedio, el 72% de la población de estudio percibe un impacto

positivo en su aprendizaje de acuerdo con los indicadores del modelo Kirkpatrick. Además, la ganancia promedio entre el momento antes y ahora de los niveles cuatro y cinco (Totalmente de acuerdo y De acuerdo) es de 22% (Figura 7).

Figura 6

Aprendizaje percibido por el estudiante antes y después del ciclo 4MAT+LV



La tabla 5 nos indica la proporción de la población de estudio que tuvo un incremento o decremento en la calificación de cada indicador en el momento “Ahora”, respecto al momento “Antes”. A este parámetro se le denominó “Diferencia Ah-An” y puede ser positiva cuando hubo un incremento o negativa cuando hubo una reducción en la calificación del indicador.

Se puede observar que existe una diferencia Ah-An positiva mayor al 87% en todos los indicadores del modelo Kirkpatrick pertenecientes al aprendizaje percibido por cada estudiante (Figura 8). Por otra parte, el porcentaje promedio de estudiantes con una diferencia Ah-An positiva es de 94%. De modo que es posible afirmar que los estudiantes percibieron un impacto en su aprendizaje al finalizar la secuencia didáctica 4MAT+LV.

Tabla 5

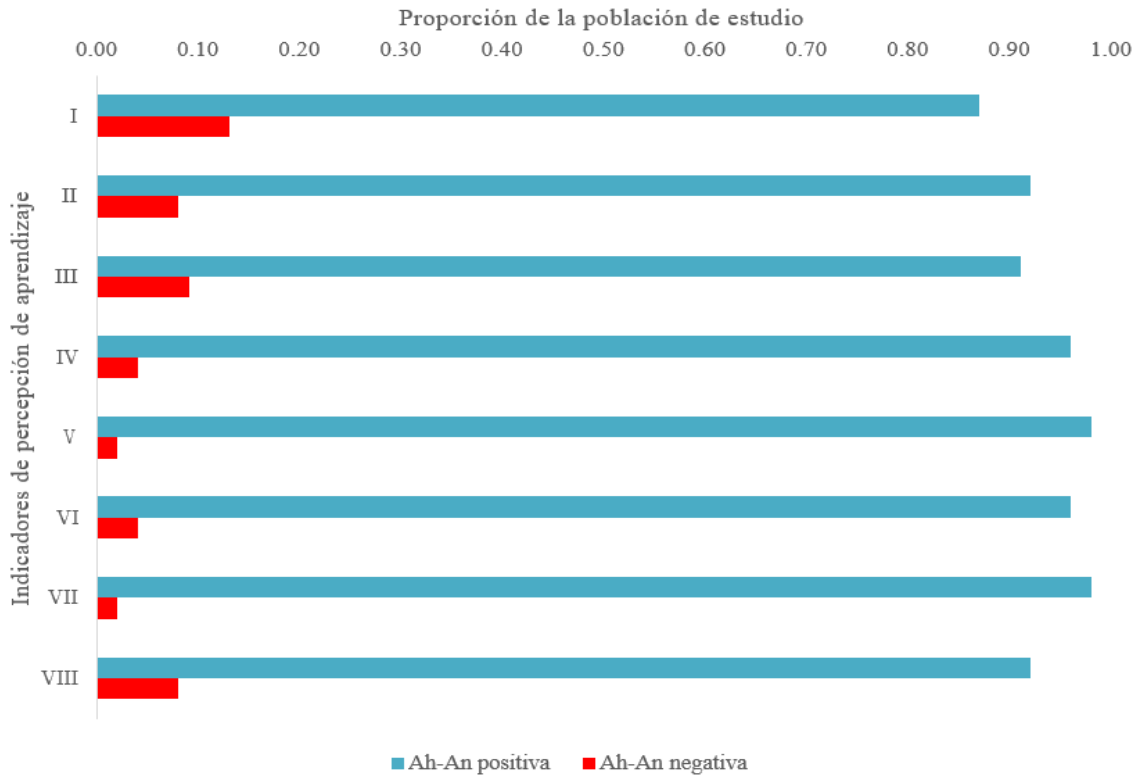
Diferencia entre la calificación de ahora (Ah) y antes (An) de la población de estudio

Diferencia Ah-An	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Promedio
Positiva	0.87	0.92	0.91	0.96	0.98	0.96	0.98	0.92	0.94

Negativa	0.13	0.08	0.09	0.04	0.02	0.04	0.02	0.08	0.06
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Figura 7

Diferencia entre la calificación de ahora (Ah) y antes (An) de la población de estudio



8.3. Tercera etapa el modelo Kirkpatrick: desempeño

La tercera etapa del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick consiste en evaluar el desempeño del estudiante respecto a la secuencia didáctica que recibió. Para este fin, el modelo no especifica ni la prueba ni el instrumento, sino que da libertad al docente para elegir estas herramientas. A continuación, se muestra en la tabla 6 y en la figura 8 la distribución de la población de estudio por nivel obtenido en la rúbrica de “Excelente” cuyo valor es 5 hasta “Deficiente” cuyo valor es 0.

Tabla 6

Desempeño del estudiante en el uso de conceptos clave, del modelo matemático y de la representación gráfica del MAS

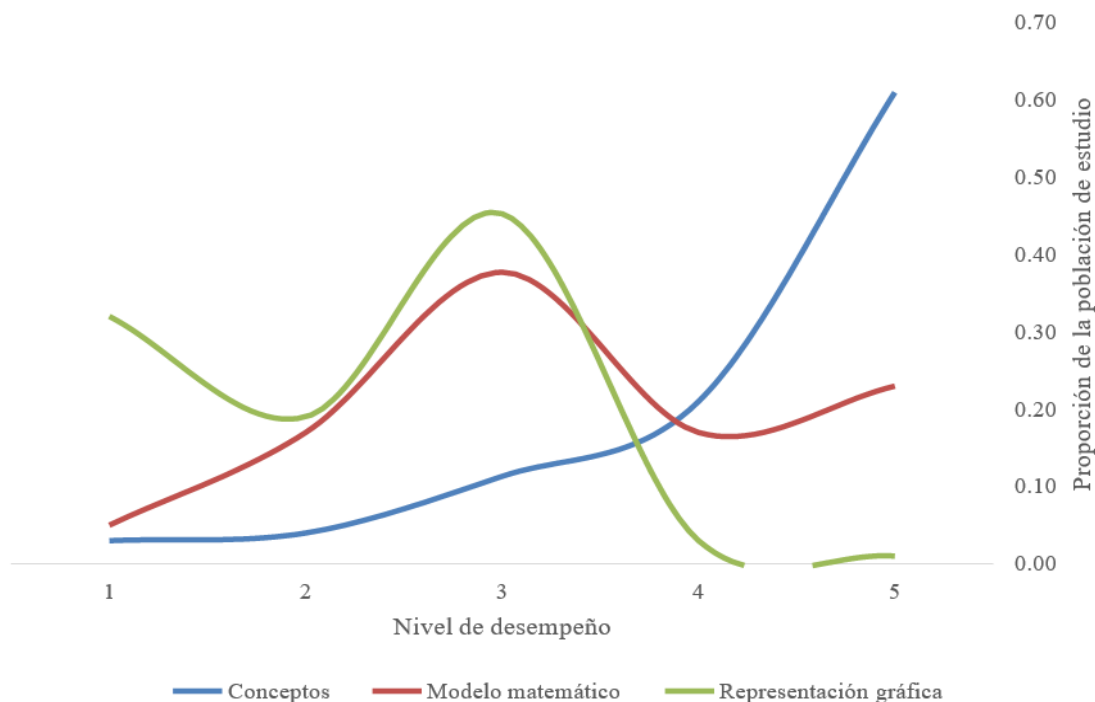
	5	4	3	2	1
Conceptos	0.61	0.21	0.11	0.04	0.03
Modelo matemático	0.23	0.17	0.38	0.17	0.05
Representación gráfica	0.01	0.03	0.45	0.19	0.32

De acuerdo con los valores que se observan en la tabla 6, el 82% de los estudiantes tuvieron un buen desempeño, o excelente, en la categoría de conceptos; y sólo el 7% presentó un desempeño deficiente o

insuficiente. En la categoría de modelo matemático, el 40% de los estudiantes obtuvo un desempeño bueno o excelente, mientras que el 22% tuvo un desempeño deficiente o ineficiente. Por último, en la categoría de representación gráfica, el 4% de la población de estudio reportó un desempeño bueno o excelente, y el 51% tuvo un desempeño deficiente o ineficiente.

Figura 8

Desempeño del estudiante en el quinto paso de la secuencia 4MAT+LV.



De manera que es muy claro que el desempeño de los estudiantes decrece conforme incrementa la dificultad de los procesos de abstracción en los temas del MAS. A pesar de que los estudiantes lograron identificar, en su mayoría, los conceptos de manera correcta, y un gran porcentaje pudo completar el modelo matemático, no fueron capaces de representarlos en una gráfica. Este hecho abre la posibilidad de cuestionarse si la dificultad que perciben los estudiantes en el tema del MAS y que ha sido reportado en la literatura de la investigación educativa pertenece a una falta de comprensión de elementos físicos o de elementos matemáticos.

8.4. Cuarta etapa el modelo Kirkpatrick: resultados

La cuarta etapa del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick consiste en evaluar los resultados del estudiante respecto a las etapas de la secuencia didáctica destinadas para este fin. Como en la etapa anterior, el modelo no especifica ni la prueba ni el instrumento de evaluación, sino que da libertad al docente para elegir herramientas. A continuación, se muestra en la tabla 7 y en la figura 9 la distribución de la población de estudio por nivel obtenido en la rúbrica de “Excelente” cuyo valor es 5 hasta “Deficiente” cuyo valor es 0.

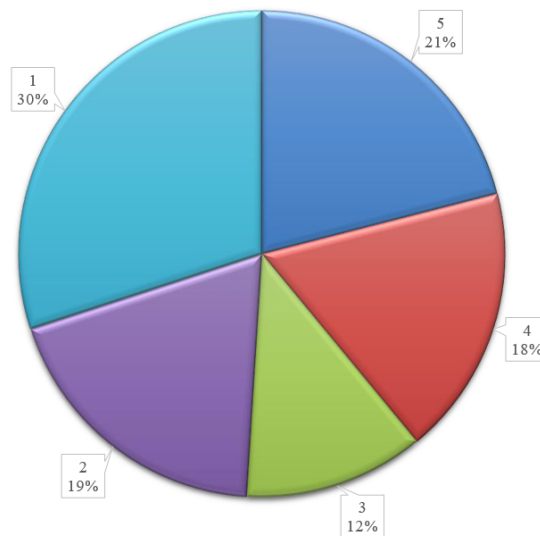
Tabla 7

Distribución de resultados en la cuarta etapa

	5	4	3	2	1
Resultados	0.21	0.18	0.12	0.19	0.30

Figura 9

Distribución general de resultados en la cuarta etapa



De acuerdo con los valores que se observan en la tabla 8, el 39% de los estudiantes tuvieron un buen resultado o excelente; y el 49% presentó un desempeño deficiente o insuficiente. El 12% de los estudiantes tuvo un resultado promedio. De manera que casi la mitad de la población de estudio arrojó un resultado insuficiente en la octava etapa del ciclo 4MAT que consiste en aplicar lo aprendido durante las etapas anteriores en una nueva experiencia de aprendizaje que serviría como entrada para repetir el ciclo de nuevo. Dentro del 49% de estudiantes con resultados deficientes o insuficientes, se detectaron principalmente dos errores conceptuales: el periodo y/o la frecuencia son inconstantes (varían con el tiempo), y el amortiguamiento es una propiedad material del resorte. La distribución de estos errores en la población de estudio se muestra a continuación en la tabla 8 y la figura 10.

Tabla 8

Distribución de resultados insuficientes

	Distribución de resultados insuficientes y deficientes
Periodo / frecuencia inconstante	0.92
Amortiguamiento como propiedad física	0.08

Figura 10

Distribución de resultados insuficientes y deficientes



Es evidente que el resultado de los estudiantes decrece conforme incrementa la dificultad de los procesos de transferencia en los temas del MAS. Cuando los estudiantes intentan explicar lo que encuentran diferente entre el MAS y el movimiento oscilatorio amortiguado, refieren que la frecuencia o periodo son distintos porque observan que la amplitud disminuye. Este hecho les hace percibir una ralentización del movimiento que interpretan como un cambio en la frecuencia o periodo. Por otra parte, el fenómeno de amortiguamiento en el sistema físico fue interpretado por los estudiantes como una propiedad añadida materialmente al resorte y no como una fuerza opuesta a la dirección del movimiento.

En términos generales, prácticamente la mitad de la población de estudio no tuvo un resultado adecuado al finalizar la secuenciadidáctica 4MAT+LV.

En cuanto a esta sección del modelo de evaluación Kirkpatrick, es claro que existe una diferencia entre aquellos estudiantes que tuvieron resultados insuficientes, pero el contraste contra quienes obtuvieron resultados dentro y por encima del promedio son numérica y marcadamente superiores.

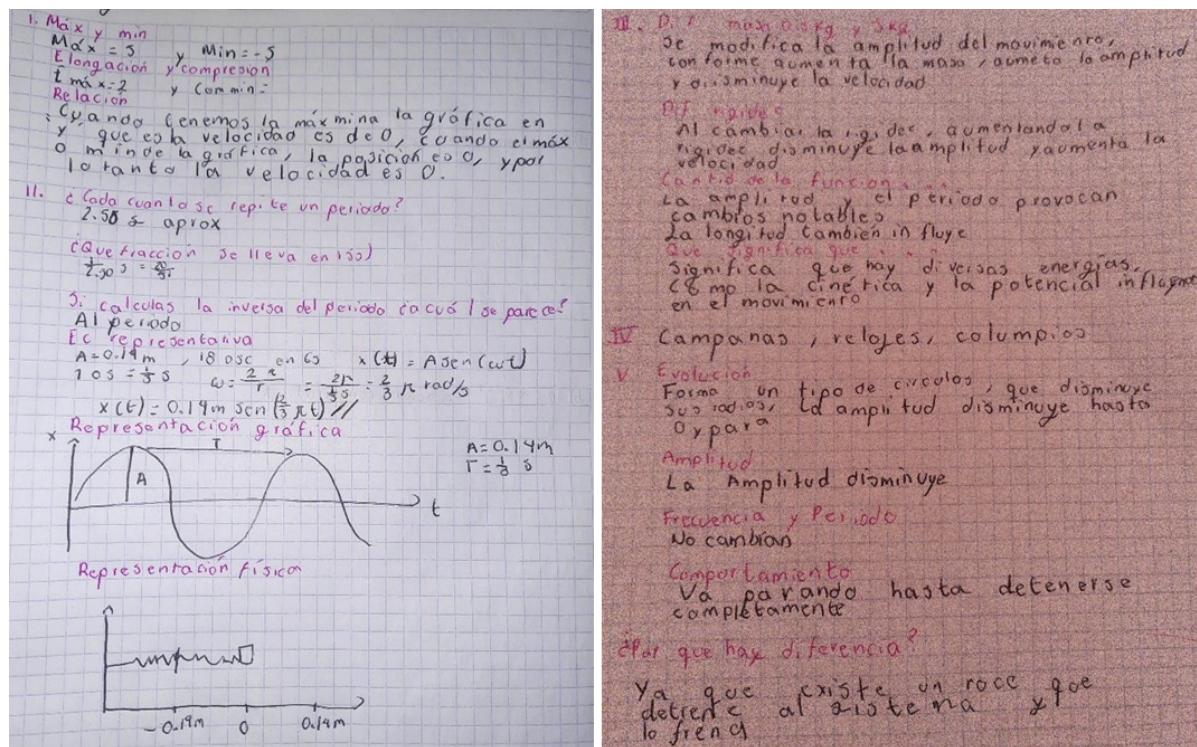
8.5. Relación de variables satisfacción-desempeño y aprendizaje percibido- resultados

Gracias al diseño de evaluación Kirkpatrick utilizado para valorar el aprendizaje de los estudiantes en la secuencia didáctica 4MAT+LV, es posible establecer una correlación entre el grado de satisfacción que presentan los estudiantes al finalizar la secuencia contra el nivel en su desempeño real. De igual manera, es posible hacer una correlación entre el aprendizaje que los estudiantes perciben que han adquirido contra los resultados reales que lo evidencian.

A través de estas relaciones de variables, podemos conocer la efectividad de la secuencia didáctica al mismo tiempo que determinamos qué clase de desempeño han tenido los estudiantes (Figura 11) a través de las evidencias de aprendizaje, las cuales están consideradas dentro del modelo de evaluación sumativa Kirkpatrick.

Figura 11

Ejemplo de resultados de los estudiantes durante el ciclo 4MAT+LV



Satisfacción-desempeño

A partir de las etapas del modelo de evaluación sumativa de Kirkpatrick, podemos establecer dos relaciones entre las cuatro variables medidas: satisfacción-desempeño y aprendizaje percibido-resultados. Comenzando por la relación satisfacción-desempeño, podemos realizar un análisis relacional entre ambas variables, como se observa en la figura 12.

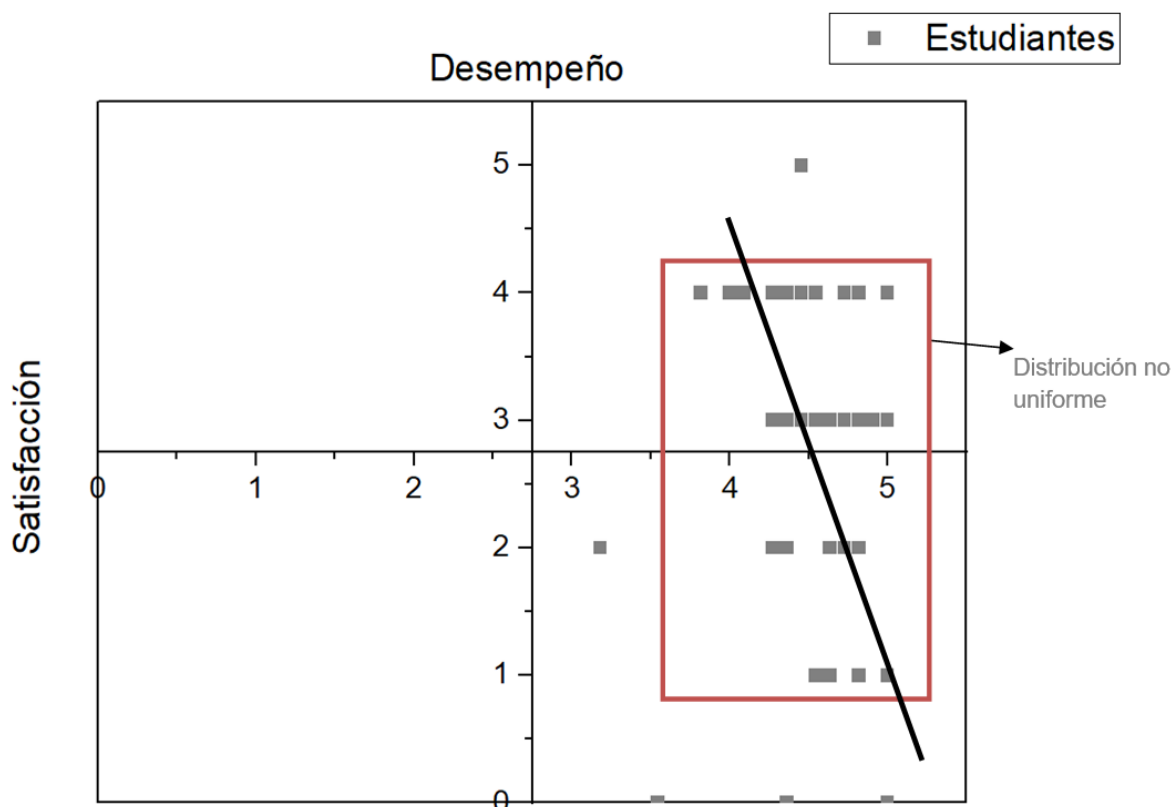
De acuerdo con esta gráfica, podemos observar que la distribución de estudiantes a lo largo del eje de Desempeño es similar a una campana gaussiana que tiene la mayor concentración de elementos en los valores 2, 3 y 4 mientras que la concentración decae en los valores extremos. Por otra parte, la distribución en el eje de Satisfacción se mantiene en los valores 4 y 5, cargada a la derecha. De manera que los cuadrantes más poblados son el I y IV. Esto indica que los estudiantes tuvieron una buena reacción ante de la secuencia didáctica 4MAT+LV, de acuerdo con los indicadores de la etapa 1 del modelo Kirkpatrick, pero su desempeño no muestra una tendencia clara que indique un nivel sobresaliente en la mayoría de los estudiantes. Así que no es posible determinar una correlación evidente entre ambas variables.

No se observa una relación proporcional entre el desempeño y la satisfacción el estudiante al completar la secuencia 4MAT+LV. Este resultado implica que, a pesar de que los estudiantes tienen un alto grado de aceptación hacia la dinámica de la secuencia y a la experiencia de aprendizaje que se les presenta (entre 4 y 5 de acuerdo con la escala), no tienen forzosamente un buen desempeño que coincida con el nivel de satisfacción.

De modo que, de acuerdo con el modelo de evaluación Kirkpatrick, no podemos establecer una relación de proporcionalidad entre la satisfacción y el desempeño para los estudiantes de este grupo de estudio después de haber completado la secuencia didáctica 4MAT+LV.

Figura 12

Relación entre las variables de satisfacción y desempeño



Aprendizaje percibido-resultados

Pasando ahora a la relación aprendizaje percibido-resultados, podemos realizar un análisis relacional entre ambas variables, como se observa en la figura 13.

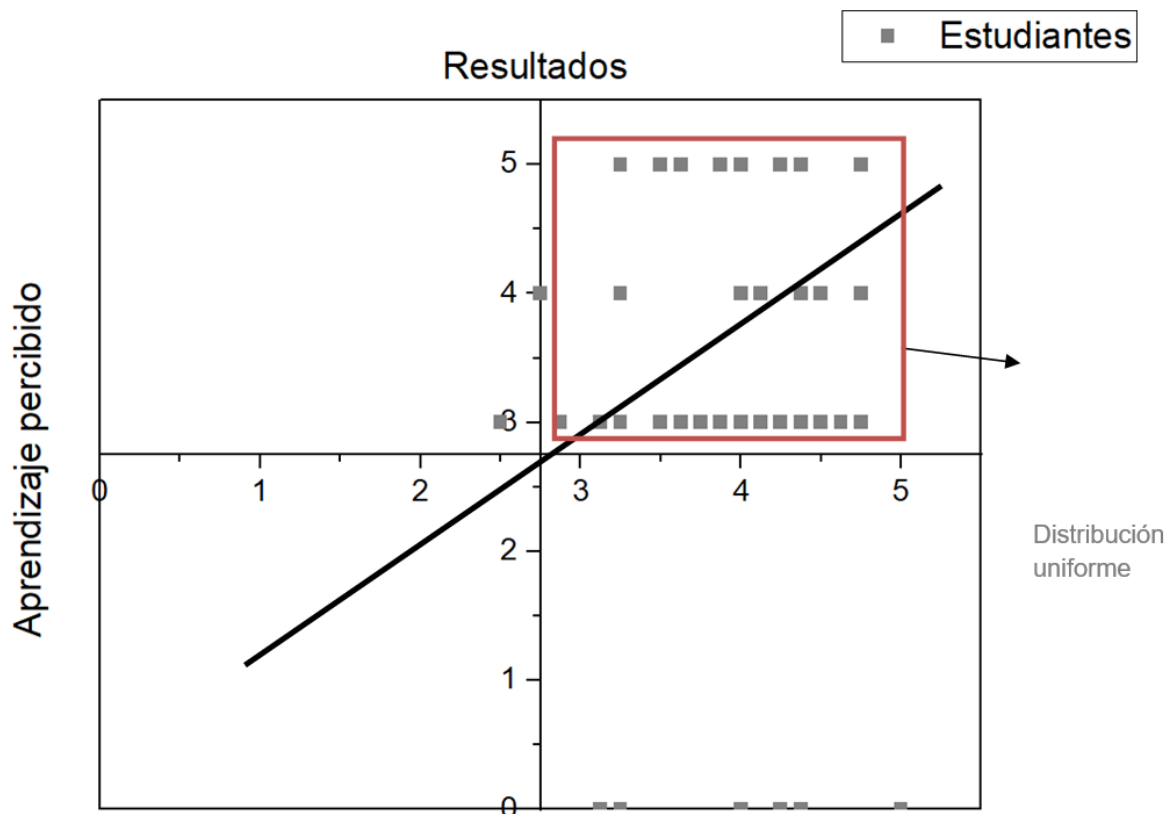
De acuerdo con esta gráfica, podemos observar que la distribución de estudiantes tanto en el eje de Resultados como en el de Aprendizaje percibido tiene una mayor concentración entre los valores 3 y 5, representando el extremo alto de la escala. Por otra parte, la concentración de estudiantes es prácticamente nula en los valores mínimos de la escala. De manera que el único cuadrante con densidad es el I, donde convergen los valores altos de aprendizaje percibido y resultados. De modo que sí es posible determinar una correlación evidente entre ambas variables.

Se observa claramente una relación proporcional entre el aprendizaje percibido y los resultados de los estudiantes al completar la secuencia 4MAT+LV. La distribución uniforme de los estudiantes en el intervalo de valores 3 a 5 de la escala utilizada para medir las variables de aprendizaje percibido y resultados reportan una relación congruente entre la percepción respecto al aprendizaje obtenido después de completar la secuencia didáctica con un desempeño por encima del promedio en cuanto a los resultados obtenidos en las evidencias de aprendizaje.

De modo que, de acuerdo con el modelo de evaluación Kirkpatrick, sí podemos establecer una relación de proporcionalidad entre el aprendizaje percibido y los resultados para los estudiantes de este grupo de estudio después de haber completado la secuencia didáctica 4MAT+LV.

Figura 13

Relación entre las variables de aprendizaje percibido y resultados



9. Conclusiones

En cuanto a la primera pregunta de investigación, la hipótesis de una relación proporcional entre el grado de satisfacción y el nivel de desempeño de los estudiantes es rechazada por el análisis de los resultados

de la investigación. Lo que se encontró, en cambio, fue un alto grado de satisfacción, pero un desempeño promedio de los estudiantes. De manera que los estudiantes pueden sentirse satisfechos con las secuencias didácticas sin tener forzosamente un buen desempeño en éstas. Respecto a la segunda pregunta de investigación, la hipótesis de una relación proporcional entre el grado de aprendizaje percibido y los resultados de las evidencias de aprendizaje de los estudiantes fue confirmada por el análisis de la información recabada durante investigación. Esto quiere decir que los estudiantes que perciben que han aprendido algo nuevo durante una secuencia didáctica lo demuestran en los resultados que surgen de dicha secuencia.

Este hallazgo tiene implicaciones interesantes: nos refiere a la metacognición o la consciencia del aprendizaje. Si un estudiante reflexiona respecto a su propio aprendizaje y reconoce haber aprendido algo en particular, lo reflejará en sus resultados. En otras palabras, la explotación de estrategias metacognitivas es de gran utilidad para que los estudiantes obtengan mejores resultados en temas complejos como el movimiento armónico simple. De manera que los estudiantes que presentan buenos resultados han percibido un incremento en su aprendizaje. La aportación de ambas relaciones tiene un enorme peso para el diseño didáctico de secuencias de aprendizaje: debemos contemplar el factor de satisfacción de los estudiantes sin sacrificar el desempeño que pueden tener en ésta; así como contemplar que, si un estudiante es consciente de su propio aprendizaje, puede ofrecer mejores resultados al finalizar la secuencia didáctica. Cabe destacar que un estudio de esta naturaleza siempre puede ser reforzado a través de la aplicación de la metodología con un mayor número de estudiantes. Finalmente, otro factor que pudo condicionar los resultados fue el hecho de que esta experiencia de aprendizaje fue adaptada para un contexto en línea, aunque, en un inicio, fue diseñada para implementarse de manera presencial.

Referencias

- Ardila, J. C. C. y Arroyave, V. E. (2012). Reflexiones sobre la didáctica en física desde los laboratorios y el uso de las TIC. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (35), 105-127.
- Banda, H. J. y Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108.
- Budhu, M. (2002). Virtual laboratories for engineering education. *International conference on engineering education*, 12-18.
- Čavić, M. R., Stanisavljević, J. D., Bogdanović, I. Z., Skuban, S. J. y Pavkov-Hrvojević, M. V. (2022). Project-Based Learning of Diffusion and Osmosis: Opinions of Students of Physics and Technology at University of Novi Sad. *SAGE Open*, 12(1), 21582440211069147.
- Carnevali, G. y ButtazzQ, G. (2003). A virtual laboratory environment for real-time experiments. *IFAC Proceedings Volumes*, 36(12), 31-36.
- Chen, Z.; Stelzer, T. y Gladding, G. (2010). Using multimedia modules to better prepare students for introductory physics lecture. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(1), 010108.
- Chimi, C. J. y Russell, D. L. (2009). The Likert scale: A proposal for improvement using quasi-continuous variables. *Information Systems Education Conference, Washington, DC*, 1-10.
- Chong, Z., & Wei, Y. (2022). Alternative Approaches to Solve Simple Harmonic Motion. *arXiv preprint arXiv:2202.05669*.
- Crespo, J. [Quantum F. (2018). *Lo que Necesitas Saber sobre Ondas (al menos para Selectividad)* [Video]. YouTube. Recuperado 19 de septiembre de 2022, de <https://www.youtube.com/watch?v=rKf92Vgx2ag&feature=youtu.be>
- del Carmen Maurel, M.; Marín, M. B. y Barrios, T. H. (2016). Física: un espacio virtual de experimentación. *Suplemento Signos EAD*.
- Delors, J. (2013). Los cuatro pilares de la educación. *Galileo*, (23).
- Dimas, A.; Suparmi, A.; Sarwanto, A. y Nugraha, D. A. (2018). Analysis multiple representation skills of high school students on simple harmonic motion. *AIP Conference Proceedings AIP Publishing LLC*, 2014 (1).

- Garritz, A. (2008). Aniversario del nacimiento de Max Planck: Hace 90 años recibió el Premio Nobel de Física. *Educación química*, 19(4), 338-340.
- Instituto Politécnico Nacional. (2011). Escuela Superior de Física y Matemáticas. Historia. 21 de octubre de 2021, de Instituto Politécnico Nacional Sitio web: <http://w3.esfm.ipn.mx/50ANIVERSARIOESFM/historia.html>
- Iradat, R. D. y Alatas, F. (2017). The implementation of problem-solving based laboratory activities to teach the concept of simple harmonic motion in senior high school. *Journal of Physics: Conference Series IOP Publishing*, 895(1), 12-14.
- Kolb, D. A. (1981). Experiential Learning Theory and the Learning Style Inventory: A reply to Freedman and Stumpf. *Academy of Management Review*, 6(2), 289-296.
- The Kirkpatrick Model*. (2022). Kirkpatrick Partners, LLC. Recuperado 19 de septiembre de 2022, de <https://www.kirkpatrickpartners.com/the-kirkpatrick-model/>
- Madu, B. C. (2012). Effect of the four-step learning cycle model on students' understanding of concepts related to simple harmonic motion. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 13(1), 1-22.
- McCarthy, B. (1987). The 4MAT System: Teaching to Learning Styles with Right. *Left Mode Techniques*.
 McMillan, J. H., Schumacher, S., & Baidess, J. S. (2005). Investigación educativa: una introducción conceptual. *Madrid: Pearson*.
- Medina, J. M. C. y Medina, I. I. S. (2016). Laboratorios virtuales de física mediante el uso de herramientas disponibles en la Web. *Memorias de Congresos UTP*, 49- 55.
- Meltzer, David E. y Thornton, Ronald K. (2011). Resource Letter ALIP-1: Active-Learning Instruction in Physics. *American Journal of Physics*, 80(6), 478-496.
- Moltó, E. (2003). Fundamentos Psicológicos de La enseñanza y el Aprendizaje, *Ministerio de Educación*.
- Muller, D. A. (2008). Designing effective multimedia for physics education. (Tesis inédita de doctorado). University of Sydney, Australia.
- Nantsou, T. P., Kapotis, E. C. y Tombras, G. S. (2021). A Physics and Engineering Lab for Primary Teachers at CERN. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (iJES)*, 9(3), 20-34.
- Nemoto, T. y Beglar, D. (2014). Likert-scale questionnaires. *JALT 2013 conference proceedings*, 1-8.
- Neumann, E. (2021). *My Physics Lab*. Obtenido de <https://www.myphysicslab.com>
- Nicoll-Senft, J. (2012). Assessing the impact of 4MAT for college. *Institute for Learning Styles Journal*, 1, 8-20.
- Parnafes, O. (2010). When simple harmonic motion is not that simple: Managing epistemological complexity by using computer-based representations. *Journal of Science Education and Technology*, 19(6), 565-579.
- Potkonjak, V.; Gardner, M.; Callaghan, V.; Mattila, P.; Guetl, C.; Petrović, V. M. y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327.
- Ramírez-Díaz, M. H. (2009). Aplicación del sistema 4MAT en la enseñanza de la física a nivel universitario (Tesis inédita de doctorado). CICATA - Instituto Politécnico Nacional, México, 18-28.
- Robinson, J. (2002). Virtual Laboratories as a teaching environment: A tangible solution or a passing novelty? *3rd Annual CM316 Conference on Multimedia Systems*.
- Somroob, S. y Wattanakasiwich, P. (2017). Investigating student understanding of simple harmonic motion. In *Journal of Physics: Conference Series*, 901(1), 023.
- Sukmak, W. y Musik, P. (2022). Real-Time Graphing of Simple Harmonic Motion of Mass on Springs with an Arduino Based on an Experiment Set for Teaching and Learning Physics. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 21(1).
- Sunkel, G.; Trucco, D. y Espejo, A. (2013). La integración de las tecnologías digitales en las escuelas de América Latina y el Caribe: una mirada multidimensional, Editorial CEPAL Naciones Unidas, 105-124.
- Tamkin, P.; Yarnall, J. y Kerrin, M. (2002). Kirkpatrick and Beyond: A review of models of training evaluation. *Institute for Employment Studies*.

- Tural, G. (2017). Investigation of Students and Teacher Candidates to Establish the Relationship Between Simple Harmonic Motion and Uniform Circular Motion, *Inonu University Journal of the Faculty of Education*, 18(3), 269-280. DOI: 10.17679/inuefd.296642
- Tüysüz, C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1).
- Vasiliadou, R. (2020). Virtual laboratories during coronavirus (COVID-19) pandemic. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(5), 482-483.
-

Contribución de autores

50% Víctor Edrei Robles-Chávez

40% Mario Humberto Ramírez-Díaz

10% Jesús Alberto Flores-Cruz



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons