

# 11. La realidad aumentada como herramienta para la enseñanza del péndulo simple

GILBERTO CASTREJÓN\*

MIGUEL OLVERA ALDANA\*\*

NIELS H. NAVARRETE\*\*\*

ILIANA CRISTINA CARRILLO IBARRA\*\*\*\*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.219.11>

## Resumen

Este trabajo presenta una investigación en ciernes sobre el uso de la realidad aumentada (RA) para explicar conceptos físicos, como son: periodo, frecuencia, frecuencia angular, ángulos pequeños, etc., que se desprenden del estudio del péndulo simple. En este sentido, se busca generar el interés y aprendizaje en los estudiantes, y para ello se propuso crear una aplicación de RA que les permita una nueva manera de ver la realidad, y una mejor comprensión de los temas. De aquí se diseñó e implementó, en su primera fase (calibración), una estrategia didáctica con estudiantes de ingeniería de una escuela superior del IPN, con el objetivo de verificar si se tuvo un avance en la comprensión de los conceptos físicos mencionados. Algunos de los elementos de dicha estrategia fueron: 1) diagnóstico. Aplicación de un test (validado por expertos) para identificar el estilo de aprendizaje predomi-

---

\* Doctor en Filosofía de la Ciencia. Investigador en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4133-6163>

\*\* Doctor en Ciencias en Física Educativa. Investigador en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3508-5556>

\*\*\* Maestro en Ciencias de la Computación. Profesor en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7938-6342>

\*\*\*\* Doctora en Ciencias en Matemáticas. Profesora en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0301-9378>

nante en los estudiantes; 2) diseño de la aplicación de la RA; 3) se implementó en el aula una secuencia didáctica con el uso de los marcadores de RA, para explicar los conceptos físicos; 4) se identificaron deficiencias y áreas de mejora, entre otros. Del análisis previo de los resultados, observamos que podrá esperarse, en una segunda implementación, un incremento en la comprensión de conceptos, aplicando un pre/posttest RA para evaluar la ganancia conceptual, asimismo, se pudo verificar que el estilo de aprendizaje predominante en los estudiantes es el visual.

**Palabras clave:** *péndulo simple, enseñanza, realidad aumentada, estilo de aprendizaje, ganancia conceptual.*

## Introducción

Los métodos de aprendizaje han utilizado las tecnologías como herramienta y medio de enseñanza, lo cual mejora la comprensión de diversos temas por parte de los estudiantes, por lo que ha surgido un interés en buscar mecanismos de enseñanza, generando nuevas herramientas tecnológicas [1, 2]. Uno de los principales obstáculos en el aprendizaje es la falta de interés por parte de los estudiantes, así como el no uso de herramientas alternativas, lo que provoca un bajo rendimiento académico [3].

En la presente investigación se ha buscado generar el interés de los estudiantes, por lo que se tuvo como objetivo crear una aplicación de realidad aumentada (RA), que pueda permitirles nuevas experiencias para una mejor comprensión de los temas [4]. En este sentido, para el diseño de la aplicación de RA se tomó en cuenta el estilo de aprendizaje predominante en los estudiantes: el visual. Para ello se desarrolló una aplicación de realidad aumentada para la enseñanza del tema del péndulo simple. Asimismo, se implementó una secuencia didáctica en una escuela de ingeniería del IPN, usando como base tecnológica a la RA, para la enseñanza de conceptos físicos vinculados al péndulo simple.

La implementación previa permitió calibrar la secuencia didáctica y mejorar la aplicación de RA para, en una segunda oportunidad, poder implementar de nuevo la secuencia didáctica y medir la ganancia conceptual

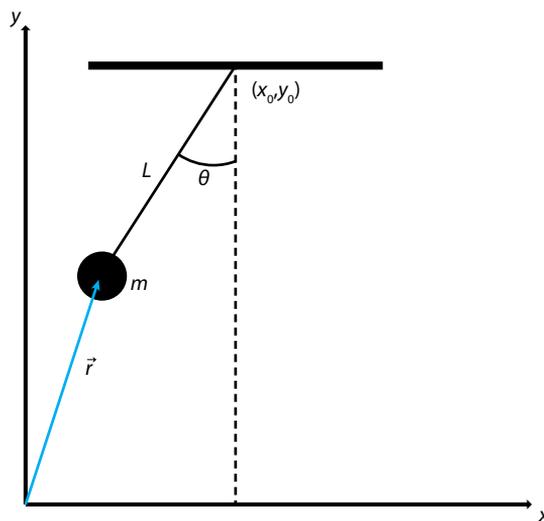
en los estudiantes. Cabe señalar que el péndulo simple es un fenómeno físico de suma importancia, considerando que es una clara explicación de cómo sabemos que la Tierra gira sobre su propio eje, y nos da pauta para entender la fuerza de gravedad de nuestro planeta o la medición del tiempo, entre otros. De los resultados preliminares, a partir de observación directa, se observa un mejor entendimiento de los conceptos, así como un interés por parte de los estudiantes.

## Marco teórico

### El péndulo simple y sus fundamentos teóricos

El péndulo simple es un sistema físico constituido por un objeto de masa  $m$  suspendido mediante una cuerda ideal de longitud  $L$ , la cual, al instante de tiempo  $t$ , forma un ángulo  $\theta$  con la vertical, como se muestra en la figura 11.1.

Figura 11.1. Péndulo simple



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura 11.1, las coordenadas de la posición del objeto están dadas de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$x = x_0 - L \sin \theta \quad (1)$$

$$y = y_0 - L \cos \theta \quad (2)$$

Respecto al ángulo  $\theta$ , puede establecerse la convención de considerarlo positivo cuando yace a la izquierda de la vertical, y será considerado negativo cuando yace a la derecha de la vertical.

Por otra parte, para obtener las componentes de la velocidad del objeto derivamos respecto al tiempo, al anterior sistema de ecuaciones, obteniéndose:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = -L \frac{d\theta}{dt} \cos \theta \quad (3)$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = L \frac{d\theta}{dt} \sin \theta \quad (4)$$

Y derivando una vez más respecto al tiempo, obtenemos las componentes de su aceleración:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = L \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \sin \theta - L \frac{d^2\theta}{dt^2} \cos \theta \quad (5)$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = L \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta + L \frac{d^2\theta}{dt^2} \sin \theta \quad (6)$$

Como se sabe, la aceleración y la fuerza están relacionadas por la segunda ley de Newton, la cual, al ser escrita para cada componente, adopta la siguiente forma:

$$F_x = ma_x \quad (7)$$

$$F_y = ma_y \quad (8)$$

Empleando ahora el diagrama de cuerpo libre, es posible identificar las componentes cartesianas de la fuerza total ejercida sobre el objeto:

$$F_x = T \sin \theta \quad (9)$$

$$F_y = T \cos \theta - mg \quad (10)$$

Sustituyendo ahora las ecuaciones (5), (6), (9) y (10) en las componentes cartesianas de la segunda ley de Newton —dadas por las ecuaciones (7) y (8)—, obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$mL \left[ \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \sin \theta - \frac{d^2\theta}{dt^2} \cos \theta \right] = T \sin \theta \quad (11)$$

$$mL \left[ \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta + \frac{d^2\theta}{dt^2} \sin \theta \right] = T \cos \theta - mg \quad (12)$$

Nótese que, en este sistema de ecuaciones diferenciales, las únicas cantidades desconocidas son el ángulo  $\theta$  y la tensión  $T$  de la cuerda, y resolverlo para estas variables constituye un ejercicio algebraico muy sencillo. Primeramente, se multiplica la ecuación (11) por  $\cos \theta$ , y la ecuación (12) por  $\sin \theta$ , para obtener:

$$mL \left[ \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \sin \theta \cos \theta - \frac{d^2\theta}{dt^2} (\cos \theta)^2 \right] = T \sin \theta \cos \theta \quad (13)$$

$$mL \left[ \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta \sin \theta + \frac{d^2\theta}{dt^2} (\sin \theta)^2 \right] = T \cos \theta \sin \theta - mg \sin \theta \quad (14)$$

A continuación, la ecuación (13) se resta de la ecuación (14), lo cual resulta en la expresión:

$$mL \frac{d^2\theta}{dt^2 [(\sin \theta)^2 + (\cos \theta)^2]} = -mg \sin \theta$$

Y a su vez, al ser simplificada, conduce a la ecuación:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \sin \theta \quad (15)$$

Esta resulta ser la ecuación diferencial que permite determinar el ángulo  $\theta$  para todo instante de tiempo  $t$ , y que usualmente se deduce, aunque de manera alternativa en todos los libros de texto de física a nivel licenciatura.

Si ahora sustituimos<sup>1</sup> la ecuación (15) en la ecuación (12), obtendremos la expresión:

<sup>1</sup> La sustitución también puede hacerse en la ecuación (11).

$$mL \left[ \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta - \frac{g}{L} (\sin \theta)^2 \right] = T \cos \theta - mg,$$

la cual puede describirse como:

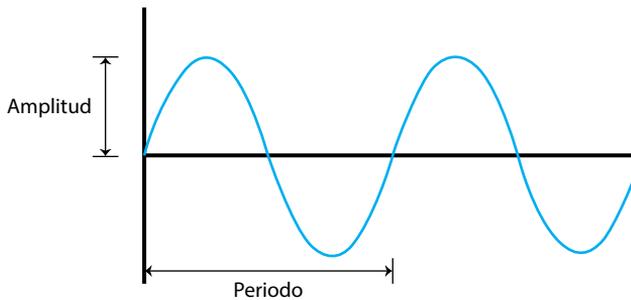
$$mL \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos \theta = T \cos \theta - mg[1 - (\sin \theta)^2],$$

y que, al ser simplificada y despejada, además para la tensión  $T$  nos conduce a la ecuación:

$$T = mL \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 + mg \cos \theta \quad (16)$$

Las ecuaciones (15) y (16) determinan completamente el movimiento del objeto de masa  $m$ , de manera que cuando a través de ellas se determine el ángulo  $\theta$ , será posible conocer su posición para todo instante de tiempo  $t$ . En este sentido, el tipo de movimiento que describe el péndulo simple es oscilatorio, también conocido como “movimiento armónico”, y su representación gráfica se ilustra en la figura 11.2.

Figura 11.2. Gráfica de la sinusoidal  $\theta(t)$



Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que si se coloca un péndulo sobre una superficie y se hace oscilar, la figura que se traza con su sombra es una línea recta. Este movimiento en función del tiempo dará una resultante en forma sinusoidal como el de la figura 11.2. Ahora bien, para la deducción de las ecuaciones del péndulo se aplicó la siguiente ley: “Un cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que una fuerza externa

actúe sobre él. Newton llamó inercia a la propiedad de una partícula que le permite mantenerse en un constante estado de movimiento o reposo” (5, p. 69). Esta ley también se le conoce como ley de la inercia. En el caso del péndulo simple, se aplica una ley similar: un objeto que rota sobre su eje tiende a mantenerse en rotación sobre ese eje, por lo que la resistencia de un objeto a cambiar su estado rotacional de movimiento es justamente esa inercia rotacional. Basta señalar que la inercia rotacional depende de la masa del objeto. Aunque, a su vez, la inercia rotacional depende además de la distribución de la masa. A mayor distancia entre el centro de masa de un objeto y el eje sobre el cual ocurre la rotación, existe mayor inercia rotacional [6]. Un péndulo largo tiene mayor inercia rotacional que un péndulo corto. Se podría decir que es “más flojo”, de manera que oscila más lentamente que un péndulo de cuerda corta [6].

Finalmente, aunque en apariencia las ecuaciones del péndulo simple son sencillas, no es posible dar soluciones analíticas en términos de funciones elementales,<sup>2</sup> por lo que para obtener sus soluciones es necesario usar métodos de integración numérica. En este sentido, puede resultar complejo para los estudiantes entender completamente el fenómeno y los conceptos implícitos, por lo que buscar formas alternativas de visualizar y entender este fenómeno físico llega a ser relevante [7]. Así, hemos propuesto usar la RA como apoyo para la enseñanza del péndulo simple.

## La realidad aumentada como herramienta para la enseñanza

La razón de haber elegido la herramienta de RA para la enseñanza del péndulo simple radica en que se realizó un diagnóstico inicial para identificar el tipo de estilo de aprendizaje predominante en los estudiantes [8] (*vid.* la sección de metodología). La teoría de estilos de aprendizaje permite relacionar el comportamiento de los estudiantes con la manera en que estos aprenden, lo cual ayuda a determinar cómo actuar en ciertos contextos educativos [9, 10]. El resultado del diagnóstico arrojó que el estilo pre-

<sup>2</sup> Para el caso de ángulos pequeños ( $\theta \leq 5^\circ$ ), las ecuaciones adquieren una forma que sí puede resolverse en términos de funciones elementales.

dominante era el visual (*vid.* la sección metodología). En este sentido, se optó por diseñar una aplicación de RA, dado que es una herramienta meramente visual.

La realidad aumentada es una tecnología emergente a la par de la realidad virtual y la realidad mixta, que en su caso nos permite combinar un ambiente real con elementos virtuales, tales como objetos 3D, texto, etc. Al ser la RA una tecnología que no reemplaza un entorno real, esta le permite al usuario observar cómo un entorno físico coexiste con objetos de un entorno virtual, como se muestra en la figura 11.3.

Figura 11.3. Guía de entretenimiento con realidad aumentada y geolocalización

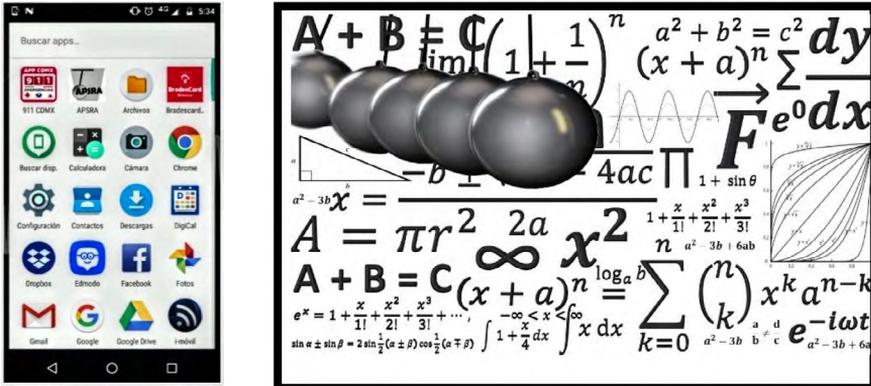


Fuente: *Guía de entretenimiento con realidad aumentada* [11].

En relación con lo anterior, existen diversas aplicaciones de RA con fines didácticos, como el Simple pendulum [12], la cual es una aplicación para el sistema operativo Android, que permite al usuario interactuar modificando el ángulo y la longitud de la cuerda. Otra aplicación es el Pendulum studio [13], la cual permite visualizar nueve tipos de péndulos en 2D y 3D, y a su vez, da la oportunidad al usuario de modificar la longitud de la cuerda, variar la velocidad y visualizar el trazo del movimiento. En el caso de la aplicación de RA que se diseñó, esta fue una combinación entre Vuforia (para los marcadores) [14] y Unity (para los gráficos) [15], con software libre. Esta aplicación se denominó APSRA.

La aplicación se subió a la nube, y pudo descargarse en la App Store del sistema Android para *smartphones*.

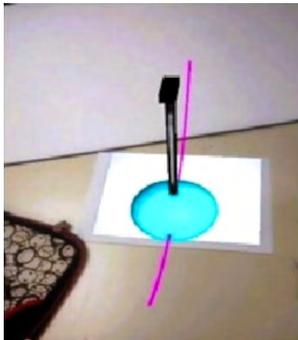
Figura 11.4. Menú en un dispositivo Android con la aplicación APSRA instalada y marcador



Fuente: elaboración propia.

La aplicación APSRA contiene una interfaz donde el usuario puede ingresar parámetros como masa ( $m$ ), longitud ( $L$ ) de la cuerda y ángulo ( $\theta$ ). Para observar la simulación del péndulo simple, se enfoca la cámara del Smartphone sobre el marcador y en la pantalla se puede observar al péndulo y su traza, como se muestra en la figura 11.5.

Figura 5. Simulación del péndulo simple dibujando la traza de su oscilación



Fuente: elaboración propia.

## Metodología

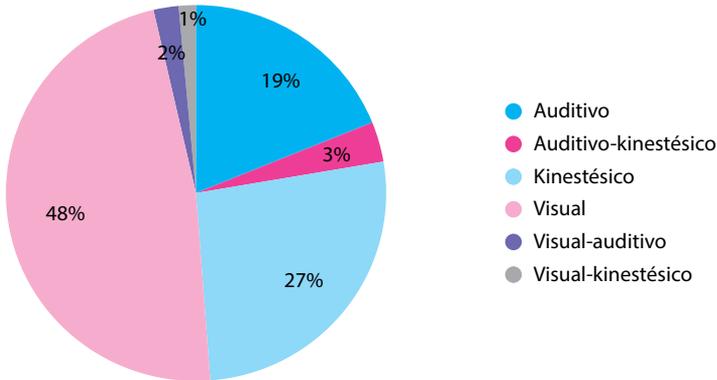
### Aplicación del test de estilos de aprendizaje

Para Keefe, mencionado por Cazau, los estilos de aprendizaje serían: “Los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos, que sirven como indicadores relativamente estables, de cómo los alumnos reciben interacciones y responden a sus ambientes de aprendizaje” [9]. El estilo de aprendizaje corresponde a cómo los individuos aprenden de acuerdo con sus características propias, tanto intelectuales como afectivas, y aplica formas específicas de retener, asimilar y aprender la información. Así, tomar en cuenta el estilo de aprendizaje de una persona permite establecer estrategias específicas más eficaces para que aprenda y pueda retener información.

En términos generales, se pueden considerar tres sistemas o canales para representar mentalmente la información: el visual, el auditivo y el kinestésico. Usamos el canal visual en la medida en que nos representamos o recordamos imágenes. El canal auditivo nos permite reproducir en nuestra mente voces o sonidos. Finalmente, cuando recordamos el sabor de la comida, o los sentimientos que nos evoca el escuchar una canción, estamos utilizando el canal kinestésico [16].

En la presente investigación se comenzó suponiendo que uno de los canales predominantes en los estudiantes es el visual, dados los nuevos contextos en los que estos se desenvuelven. A partir de lo anterior, para identificar el canal predominante de los estudiantes se desarrolló e implementó una herramienta con el test validado de Lynn O’Brien [17] (*vid.* anexo A), el cual se aplicó a un 5% de la población de la Escuela Superior de Cómputo (Escom) del IPN; cabe señalar que, de acuerdo con las estadísticas de la matrícula estudiantil, la población total es de aproximadamente 2510 alumnos inscritos en modalidad escolarizada [18]. Los estudiantes accedieron a este, vía online, desde la plataforma del Grupo de Investigación en la Enseñanza de la Física (*vid.* figura 7). Los resultados obtenidos muestran que aproximadamente la mitad de los estudiantes tiene como canal de aprendizaje predominante el visual, seguido del kinestésico. Asimismo, pocos de los estudiantes cuyo canal de aprendizaje predominante son dos se encuentran con el mismo porcentaje (*vid.* figura 11.6).

Figura 11.6. Porcentaje del estilo de aprendizaje predominante de los estudiantes de la Escom



Fuente: elaboración propia.

Como se observa, el estilo predominante es el visual [19].

Figura 11.7. Plataforma del Grupo de Investigación en la Enseñanza de la Física, donde los estudiantes accedieron para responder el test de estilos de aprendizaje



Fuente: <https://physics-education.tlamatiliztli.net/index.php>.

## Secuencia didáctica: péndulo simple y conceptos físicos

A continuación se presenta la primera propuesta de secuencia didáctica, la cual consta de tres sesiones de aproximadamente 90 minutos cada una. Dicha secuencia se implementó durante el semestre B23 con estudiantes de

la Escom-IPN, de los cursos de Matemáticas Avanzadas y Ecuaciones Diferenciales, con el objetivo de calibrar e identificar áreas de mejora. Cabe señalar que el tema del péndulo simple forma parte del programa de los cursos, como ejemplo de aplicación de métodos matemáticos, y los estudiantes ya han llevado, a su vez, el curso de Física General.

Objetivos de aprendizaje:

- Comprender el concepto de péndulo simple y su relación con el movimiento armónico simple.
- Identificar y calcular el periodo, frecuencia y frecuencia angular de un péndulo simple.
- Aplicar la realidad aumentada para visualizar y comprender mejor el comportamiento del péndulo simple.

Recursos:

- Dispositivos con aplicaciones de realidad aumentada.
- Modelo virtual de un péndulo simple en realidad aumentada.
- Pizarrón o pantalla para presentaciones.
- Materiales de apoyo: ejemplos, gráficos y fórmulas.

Cuadro 11.1. *Secuencia didáctica*

<i>Núm. de sesión</i>	<i>Tema</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Actividades / Tiempo / Espacio</i>
1	Introducción	Comprender el concepto de péndulo simple y su relación con el movimiento armónico simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Breve explicación del péndulo simple, sus componentes y comportamiento / 20 min / Aula</li> <li>• Presentación de los conceptos de movimiento armónico simple, frecuencia, periodo y frecuencia angular / 30 min / Aula</li> <li>• Aplicación del test para medir sus respuestas antes del uso de la realidad aumentada (pretest) / 40 min / Aula</li> </ul>
2	Uso de realidad aumentada	Aplicar la realidad aumentada para visualizar y comprender mejor el comportamiento del péndulo simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a la aplicación de realidad aumentada para visualizar un modelo virtual de un péndulo simple / 20 min / Aula-app APSRA</li> <li>• Demostración del movimiento del péndulo, mostrando cómo cambia la frecuencia al variar la longitud del péndulo o la gravedad / 20 min / Aula-app APSRA</li> <li>• Análisis visual de la relación entre el periodo, la frecuencia y la frecuencia angular a través de la experiencia en realidad aumentada / 50 min / Aula-app APSRA</li> </ul>

Núm. de sesión	Tema	Objetivo	Actividades / Tiempo / Espacio
3	Aplicación práctica	Identificar y calcular el periodo, frecuencia y frecuencia angular de un péndulo simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cada grupo utiliza la realidad aumentada para interactuar con el péndulo virtual, midiendo y calculando el periodo, la frecuencia y la frecuencia angular para diferentes longitudes o condiciones iniciales / 30 min / Aula-app APSRA</li> <li>Evaluación nuevamente de test (postest) / 40 min / Aula</li> <li>Retroalimentación sobre el uso de la realidad aumentada como herramienta de aprendizaje / 20 min / Aula-app APSRA</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

El pre/postest RA (*vid.* anexo B) consta de 10 reactivos de opción múltiple, y va enfocado a evaluar la evolución conceptual de los conceptos físicos involucrados en el péndulo simple, a partir de la implementación de la secuencia didáctica. Cabe señalar que dicho pre/postest RA será validado por jueces expertos: cuatro con formación en física, uno en física educativa y otro en filosofía de la ciencia. Los jueces expertos evaluarán: suficiencia, claridad, coherencia y relevancia para cada uno de los ítems, y la evaluación se hará mediante un instrumento implementado en un Google Forms.

Finalmente, para corroborar que ha habido ganancia conceptual, se utilizará la fórmula de la ganancia normalizada de Hake [22]:

$$\langle g \rangle = \frac{C_{pos}\% - C_{pre}\%}{100 - C_{pre}\%}$$

## Conclusiones (preliminares)

Se llevó a cabo un primer análisis de las respuestas de los estudiantes al pre/postest RA (*vid.* anexo B). Para ello se ha considerado el trabajo de Moreira Greca [20], en el cual proponen métodos para el aprendizaje significativo a partir de un cambio conceptual. De acuerdo con la teoría del cambio conceptual, la concepción inicial que tienen los estudiantes podrá modificarse, a partir de un conjunto de acciones, quedando la concepción más estable [21]. En este sentido, a partir de la observación directa de las respuestas al pre/postest RA, se ha observado que las respuestas cambian, a partir de la implementación de la secuencia didáctica con RA, lo cual ha permitido

tener elementos para reestructurar la secuencia, sobre todo en la planeación de las actividades.

Cabe señalar que la investigación está en ciernes, por lo que no puede considerarse un análisis de resultados suficientemente robusto y objetivo, sin embargo, sí puede afirmarse que la RA representa una herramienta útil y efectiva para el aprendizaje de los conceptos físicos involucrados en el fenómeno del péndulo simple, sobre todo porque pudo despertar el interés de los estudiantes, dadas sus características como herramienta visual, vinculado al estilo de aprendizaje predominante en los estudiantes: visual. En este sentido, se han presentado a los estudiantes los fenómenos físicos desde un contexto distinto, a la vez que les ha permitido experimentar el fenómeno desde una perspectiva diferente a la tradicional.

## Reconocimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por proporcionar los recursos para la realización del presente trabajo, el cual forma parte del Proyecto SIP-20231609: “La realidad aumentada como herramienta para la enseñanza del péndulo simple”.

## Referencias

- [1] Medina Velandia, L. (2012). Tecnologías emergentes al servicio de la educación. En *Aprender y educar con las tecnologías del siglo XXI* (pp. 33-45). Colombia Digital. <https://cmap.javeriana.edu.co/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1KRS0DP7S1YWQ573-3CX>.
- [2] Delacote, G. (1997, junio). La realidad aumentada. *Perspectivas*, 27(2), 289-298. <https://unesdoc.unesco.org/images/0010/001098/109832sb.pdf#nameddest=109826>.
- [3] Flores Payan, S., Camacho Ríos, A., y Ontiveros Martínez, R. (2013). Análisis estadístico de las causas de reprobación desde la perspectiva del alumno de ingeniería del Instituto Tecnológico de Chihuahua II, Instituto Tecnológico de Chihuahua II, pp. 4-7. <http://www.chi.itesm.mx/investigacion/wp-content/uploads/2013/11/EDU42.pdf>.

- [4] Madrid Trejo, C. (2014). *Desarrollo de un sistema de realidad aumentada para el aprendizaje utilizando dispositivos móviles* [Tesis de maestría]. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Computo, Instituto Politécnico Nacional, México.
- [5] Tippens, P. E. (2011). *Física: Conceptos y aplicaciones* (7ª ed.). McGraw-Hill. <http://jaymolino.com/wp-content/uploads/2016/08/Fisica-de-Tippens-ed7.pdf>.
- [6] Manuel, L. O. (2004, octubre). El péndulo maravilloso [Guía del maestro]. *Como ves?*, (71), 26. <https://www.comoves.unam.mx/números/guía/71>.
- [7] UNESCO. (s/f). Las TIC en la educación. UNESCO. <https://www.unesco.org/new/es/unesco/themes/icts/m4ed/>.
- [8] Duran, E. B. (2008). Experiencia de enseñanza adaptada al estilo de aprendizaje de los estudiantes en un curso de simulación. *Formación Universitaria*, 1(1), 19-28.
- [9] Cazau, P. (2001). *Estilos de aprendizaje: Generalidades*. <https://curso.ihmc.us/rid=1R440PDZR-13G3T80-2W50/4.%20Pautas-paraevaluarEstilos-de-Aprendizajes.pdf>.
- [10] Pérez, M. G., Sánchez, V., y González, G. (2010). *Los estudiantes y los estilos de aprendizaje*. V Foro de Investigación Educativa. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/3364>.
- [11] Smith, B. (2017, 25 de agosto). Augmented Reality: Where are We Now, and What does it Mean for Marketers? *Search Engine Land*. <https://searchengineland.com/augmented-reality-now-280884>.
- [12] Computational Lab. (2017). *Simple pendulum* [Aplicación]. University of Brawijaya, Malang, Indonesia. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.priantos.simplependulum&hl=es>.
- [13] Volodymyr Vovchenko (2016). *Pendulum studio* (versión 1.3.2) [Aplicación]. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vlvolad.pendulumstudio&hl=es>.
- [14] Vuforia. (s/f). <https://www.vuforia.com>.
- [15] Pérez Reyes, O. A. (2012). *Desarrollo de un simulador de tractocamiones utilizando un ambiente inmersivo 3D* [Tesis de maestría]. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, Instituto Politécnico Nacional, México. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21681/Desarrollo%20de%20un%20simulador%20de%20tractocamiones%20utilizando%20un%20ambiente%20inmersivo%203D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [16] Valadez Huizar, M. (2009). Estilos de aprendizaje y estilos de pensamiento: Precisiones conceptuales. *Revista de Educación y Desarrollo*, (11), 19-30. [https://www.cucs.udg.mx/revistas/edu\\_desarrollo/antiores/11/011\\_Huizar.pdf](https://www.cucs.udg.mx/revistas/edu_desarrollo/antiores/11/011_Huizar.pdf).
- [17] O'Brien, L. (1990). Test para determinar el canal de aprendizaje de preferencia. <http://www.iafi.com.ar/pnl/ejercicios-pnl/test-canalpreferencia.pdf>.
- [18] Instituto Politécnico Nacional (IPN) (s/f). *Estadísticas de matriculación de alumnos*. IPN. <https://www.ipn.mx/ofertaeducativa/Paginas/Estadisticas.aspx>.
- [19] *Test de estilos de aprendizaje*. tt2017a027.tlamatiliztli.net.
- [20] Moreira, M. A., y Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: Análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciencia & Educacao*, 9(2), 301-315.

- [21] Mora, C., y Benítez, Y. (2007). Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza. *Revista Cubana de Física*, 24(1), 41-45.
- [22] Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.

## Anexos

### Anexo A. Test para determinar el canal de aprendizaje de preferencia

*Lynn O'Brien (1990)*

Lea cuidadosamente cada oración y piense de qué manera se aplica a usted. En cada línea escriba el número que mejor describe su reacción a cada oración.

Casi siempre: 5 Frecuentemente: 4 A veces: 3 Rara vez: 2 Casi nunca: 1

1. Puedo recordar algo mejor si lo escribo.
2. Al leer, oigo las palabras en mi cabeza o leo en voz alta.
3. Necesito hablar las cosas para entenderlas mejor.
4. No me gusta leer o escuchar instrucciones, prefiero simplemente comenzar a hacer las cosas.
5. Puedo visualizar imágenes en mi cabeza.
6. Puedo estudiar mejor si escucho música.
7. Necesito recreos frecuentes cuando estudio.
8. Pienso mejor cuando tengo la libertad de moverme, estar sentado detrás de un escritorio no es para mí.
9. Tomo muchas notas de lo que leo y escucho.
10. Me ayuda MIRAR a la persona que está hablando. Me mantiene enfocado.
11. Se me hace difícil entender lo que una persona está diciendo si hay ruidos alrededor.
12. Prefiero que alguien me diga cómo tengo que hacer las cosas que leer las instrucciones.
13. Prefiero escuchar una conferencia o una grabación a leer un libro.

14. Cuando no puedo pensar en una palabra específica, uso mis manos y llamo al objeto “coso”.
15. Puedo seguir fácilmente a una persona que está hablando, aunque mi cabeza esté hacia abajo o me encuentre mirando por una ventana.
16. Es más fácil para mí hacer un trabajo en un lugar tranquilo.
17. Me resulta fácil entender mapas, tablas y gráficos.
18. Cuando comienzo un artículo o un libro, prefiero espiar la última página.
19. Recuerdo mejor lo que la gente dice que su aspecto.
20. Recuerdo mejor si estudio en voz alta con alguien.
21. Tomo notas, pero nunca vuelvo a releerlas.
22. Cuando estoy concentrado leyendo o escribiendo, la radio me molesta.
23. Me resulta difícil crear imágenes en mi cabeza.
24. Me resulta útil decir en voz alta las tareas que tengo para hacer.
25. Mi cuaderno y mi escritorio pueden verse un desastre, pero sé exactamente dónde está cada cosa.
26. Cuando estoy en un examen, puedo “ver” la página en el libro de textos y la respuesta.
27. No puedo recordar una broma lo suficiente para contarla luego.
28. Al aprender algo nuevo, prefiero escuchar la información, luego leer y luego hacerlo.
29. Me gusta completar una tarea antes de comenzar otra.
30. Uso mis dedos para contar y muevo los labios cuando leo.
31. No me gusta releer mi trabajo.
32. Cuando estoy tratando de recordar algo nuevo, por ejemplo, un número de teléfono me ayuda formarme una imagen mental para lograrlo.
33. Para obtener una nota extra, prefiero grabar un informe a escribirlo.
34. Fantaseo en clase.
35. Para obtener una calificación extra, prefiero crear un proyecto a escribir un informe.
36. Cuando tengo una gran idea, debo escribirla inmediatamente, o la olvido con facilidad.

### Resultado del test del canal de aprendizaje de preferencia

*Cuidadosamente transfiera los resultados en cada línea*

1._____	2._____	4._____
5._____	3._____	6._____
9._____	12._____	7._____
10._____	13._____	8._____
11._____	15._____	14._____
16._____	19._____	18._____
17._____	20._____	21._____
22._____	23._____	25._____
26._____	24._____	30._____
27._____	28._____	31._____
32._____	29._____	34._____
36._____	33._____	35._____
Total visual: _____	Total auditivo: _____	Total kinestésico: _____

Total visual: \_\_\_\_\_  
 Total auditivo: \_\_\_\_\_  
 Total kinestésico: \_\_\_\_\_  
 Total de las 3 categorías: \_\_\_\_\_

### Convierta cada categoría en un porcentaje

Visual =  $\frac{\text{puntaje visual}}{\text{Puntaje total}}$  = \_\_\_\_\_ %  
 Auditivo =  $\frac{\text{puntaje auditivo}}{\text{Puntaje total}}$  = \_\_\_\_\_ %  
 Kinestésico =  $\frac{\text{puntaje kinestésico}}{\text{Puntaje total}}$  = \_\_\_\_\_ %

## Anexo B. Pre/postest de péndulo simple y conceptos físicos

### Preguntas

1. *¿Qué es un péndulo simple?*
  - a) Un péndulo con múltiples hilos.
  - b) Un péndulo que oscila en dos dimensiones.
  - c) Un péndulo idealizado con una masa puntual suspendida de una cuerda inextensible y sin masa.
  - d) Un péndulo con movimiento caótico.
  
2. *¿Qué es el periodo de un péndulo simple?*
  - a) El tiempo que tarda en dar una oscilación completa.
  - b) La distancia máxima alcanzada por el péndulo.
  - c) La fuerza que actúa sobre el péndulo.
  - d) La velocidad angular del péndulo.
  
3. *La frecuencia de un péndulo simple se define como:*
  - a) El número de oscilaciones por unidad de tiempo.
  - b) La amplitud máxima alcanzada por el péndulo.
  - c) La longitud de la cuerda del péndulo.
  - d) La fuerza gravitacional que actúa sobre el péndulo.
  
4. *¿Cuál es la fórmula para calcular el periodo de un péndulo simple?*
  - a)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
  - b)  $T = 2\pi\frac{L}{g}$
  - c)  $T = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
  - d)  $T = 2\frac{L}{g}$

5. *La frecuencia angular de un péndulo simple se representa como:*

a)  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

b)  $\omega = \frac{T}{2\pi}$

c)  $\omega = 2\pi f$

d)  $\omega = \frac{f}{2\pi}$

6. *¿Cómo afecta la longitud del péndulo simple al periodo?*

a) No tiene ningún efecto en el periodo.

b) A mayor longitud, mayor periodo.

c) A mayor longitud, menor periodo.

d) La longitud no afecta al periodo, solo a la frecuencia.

7. *El movimiento armónico simple se caracteriza por:*

a) Un movimiento caótico y desordenado.

b) Una aceleración constante.

c) Una trayectoria circular.

d) Una fuerza gravitacional variable.

8. *¿Qué representa la amplitud en el movimiento armónico simple?*

a) La distancia entre el punto de equilibrio y el extremo del movimiento.

b) La velocidad máxima alcanzada por el objeto.

c) La longitud total recorrida por el objeto.

d) La aceleración del objeto.

9. *¿Qué relación existe entre la frecuencia y el periodo en un movimiento armónico simple?*

a) Son inversamente proporcionales.

b) Son directamente proporcionales.

c) No tienen relación.

d) Depende de la masa del objeto en movimiento.

10. *¿Cuál es la aceleración en un movimiento armónico simple en el punto de equilibrio?*
- a) Máxima.
  - b) Nula.
  - c) Variable.
  - d) Igual a la velocidad angular.

### **Respuestas**

- 1. c) Un péndulo idealizado con una masa puntual suspendida de una cuerda inextensible y sin masa.
- 2. a) El tiempo que tarda en dar una oscilación completa.
- 3. a) El número de oscilaciones por unidad de tiempo.
- 4. a)  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
- 5. a)  $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- 6. b) A mayor longitud, mayor periodo.
- 7. b) Una aceleración constante.
- 8. a) La distancia entre el punto de equilibrio y el extremo del movimiento.
- 9. a) Son inversamente proporcionales.
- 10. b) Nula.