

El desarrollo de la alfabetización visual con el modelo 5E para el aprendizaje de las Leyes de Newton

Developing visual literacy with the 5E model for learning Newton's Laws

DOI: <https://doi.org/10.32870/dse.v0i27.1306>

Fabiola Escobar Moreno*

Mario Humberto Ramírez Díaz**

Resumen

Nuestra asignación como profesores es usar los productos de la investigación educativa para robustecer los aprendizajes de disciplinas científicas como la física. Esta indagación tuvo como objetivo usar sistemáticamente el modelo 5E para el aprendizaje conceptual de las leyes de movimiento de Newton con estudiantes universitarios, para estimular el desarrollo de la alfabetización visual a través del uso de memes. Fue una investigación exploratoria con enfoque mixto. Los resultados sugieren que se puede tener 95% de confianza en que el intervalo de porcentaje resultante abarca el valor verdadero. Entonces, producto de la aplicación de una prueba validada, el porcentaje de la población total (1,590) de alumnos de la ESQIE (México) de primer semestre del ciclo escolar agosto-diciembre 2021, que eventualmente no tienen conocimiento básico de las leyes de movimiento de Newton, está entre 92.26% y 77.74%. Y como resultado de esta propuesta didáctica, al menos 22.62% de la muestra tiende a desarrollar conocimiento profundo sobre estas leyes y una competencia de alfabetización visual avanzada, ya que tienen capacidad para comprender y aplicar conceptos retóricos visuales. Se concluye que el aprendizaje de las leyes de movimiento de Newton adquirido por los estudiantes está ligado a la ejecución del modelo 5E y al desarrollo de la alfabetización visual.

Palabras clave: alfabetización visual – mecánica newtoniana – auxiliares de aprendizaje en internet – modelo 5E.

Abstract

Our task as teachers is to use the products of educational research to strengthen learning in scientific disciplines, such as physics. This exploratory research with a combined approach aimed to systematically use the 5E model for the conceptual learning of Newton's laws of motion with university students, to stimulate the development of visual literacy, through the use of memes. The results suggest that we may be 95% confident that the resulting percentage interval encompasses the true value. Therefore, as the result

*Doctora en Física Educativa. Miembro del SNI. Líneas de Investigación: Didáctica de la Física, resolución de problemas. Proferosa-Investigadora, Instituto Politécnico Nacional. México. fescobar@ipn.mx

**Doctor en Física Educativa. Miembro del SNI. Líneas de Investigación: Enseñanza de Física a niveles básicos, modelo por competencias. Profesor-Investigador, Instituto Politécnico Nacional. México. mramirez@ipn.mx

of a validated test, the percentage of the total population (1590) of ESIQIE students in the first semester of the August-December 2021 school year who, eventually, do not have basic knowledge of Newton's laws of motion is between 92.26 % and 77.74%. And, as a result of this didactic proposal, at least 22.62% of the sample of students tend to develop in-depth knowledge of Newton's laws of motion and advanced visual literacy skills, since they have the ability to understand and apply rhetorical visual concepts. We concluded that the learning about Newton's laws of motion acquired by students is linked to the execution of the 5E model and the development of visual literacy.

Keywords: visual literacy – Newtonian mechanics – internet learning aids – model 5E

Introducción

En algunas aulas universitarias no se ha explotado el potencial de la alfabetización visual (Kędra, Źakevičiūtė, 2019) para el aprendizaje de ciencias fácticas porque los docentes privilegian la resolución de ejercicios que eventualmente algunos estudiantes logran solventar por mecanización, no por comprensión. En este sentido, la comprensión conceptual de temas baluarte como son las leyes de movimiento de Newton, son imprescindibles para su aplicación en la ingeniería, e incluso para temas torales en física como estática, dinámica, campo magnético, ley de Coulomb, entre otros. Por ello, debido a su dificultad, el aprendizaje de este tópico continúa siendo de interés para la investigación en didáctica de la física.

Ligada a la alfabetización visual está la percepción visual, la cual es un dominio cognitivo implicado en los procesos de aprendizaje de los cuales se podrían obtener mayores beneficios si se implementara de forma sistemática, toda vez que ofrece posibilidades de aprendizaje perdurables y estimulantes, porque la percepción es la entrada de información y está vinculada con la alfabetización visual (Kedra, 2018). Esto se debe a que la alfabetización visual implica diversidad de conceptos, los cuales son un puente y a su vez herramienta que, bien direccionada, tiende al desarrollo de otras habilidades, ya que el proceso de visualización no sólo implica lectura, interpretación y comprensión de imágenes (Domínguez, 2020).

En este tenor, se coincide con Perales (2006) respecto a la semiótica de la imagen, es decir, cómo a través de la percepción visual los estudiantes significan o resignifican un concepto; implica que las imágenes forzosamente tengan un código. Estos códigos para la elaboración de las imágenes no siguen recetas o reglas, no obstante, se pueden elaborar en conjunto, profesor y alumno. Lo que es claro es que los códigos deben ser sistematizados, y para ello los profesores pueden proporcionar especificaciones y directrices que procuren el desarrollo de la alfabetización visual, como se muestra en esta propuesta.

Así, en esta indagación se analiza y aporta una forma disímil de aprender ciencias, se dota de herramientas a los estudiantes para la construcción de conocimiento, además de que se estimula la alfabetización visual en el marco de lo que a los estudiantes les gusta hacer; ejemplifican y adaptan contenido y usan sus redes sociales para comunicar ideas y sentimientos. En

este caso, comunicarán conocimiento científico con sus pares a través de la producción de *memes*, definidos como: “[...] una imagen que retrata concepto o idea en particular y se propaga a través de plataformas sociales en internet” (Mendiola, 2021). Además, en la actualidad el uso de memes en los procesos de aprendizaje son una tendencia didáctica innovadora en educación superior, con relativa aceptación por parte de docentes de ciencias e ingeniería (Antón *et al.*, 2022).

Por otra parte, hasta la fecha son escasos los estudios que de forma sistemática impliquen el desarrollo de la alfabetización visual con estrategias didácticas (Loerts, Belcher, 2019; Kędra, Źakevičiūtė, 2019). Adicionalmente, comparada con la alfabetización tecnológica científica, la alfabetización visual ha sido menos desarrollada, tomando en cuenta la dificultad del lenguaje icónico (Gómez, 2010), tanto para ser expresado como para materializarlo; también se coincide con la idea de que la alfabetización visual es un talento importante para el siglo XXI y, pese a que la necesidad de su estimulación no es un planteamiento reciente pues data de los años sesenta, aún hay deficiencias, tanto en la sistematización para desarrollarla por parte de los profesores como en lo relativo a evidenciar tácitamente su adquisición y desarrollo en los estudiantes universitarios (Romero, Bobkina, 2021).

Como previamente se mencionó, la mecánica newtoniana ha sido catalogada como un tema con cierto grado de dificultad cognitiva para los estudiantes de nivel bachillerato, e incluso en los universitarios (Santana, 2018; Ramírez, 2010). De hecho, esto último queda de manifiesto con los resultados obtenidos de los 93 estudiantes que participaron en esta indagación, producto de la prueba Force Concept Inventory [FCI] (Hestenes *et al.*, 1992), que en el apartado de resultados se analizan al detalle.

El instrumento FCI es pertinente para alumnos universitarios (PhysPort, 2022), tiene como objetivo valorar la comprensión conceptos elementales de la física newtoniana en los estudiantes, expresados en lenguaje cotidiano, y de los distractores de sentido común. Así, para esta indagación el FCI fue utilizado como evaluación diagnóstica, y los resultados ratifican lo que señalan los estudios previos sobre la deficiencia conceptual vinculada a la física newtoniana, donde están implícitas las leyes de movimiento de Newton (Gutiérrez *et al.*, 2022; Kirya, 2022; Loor, 2021; Addad *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2015).

Por ello, en aras de diseñar una propuesta que primero establezca el reconocimiento conceptual inequívoco para, posteriormente, mejorar la comprensión de este tema baluarte, así como el desarrollo de la alfabetización visual, se lleva a cabo este estudio en tres etapas: 1) Indagación y elección del marco didáctico propicio para el aprendizaje de las ciencias y el desarrollo de la alfabetización visual; diseño de la secuencia didáctica tomando como base taxonomías cognitivas; 2) Selección y elaboración de instrumentos de evaluación; y 3) Puesta en escena (plataforma virtual Google Classroom).

Así, esta propuesta didáctica tiene como actores a los estudiantes, en este caso el profesor es un colaborador, quien diseña la propuesta de secuencia didáctica basándose en marcos teóricos robustos y establece las directrices para el logro de los objetivos de aprendizaje, tales como: comprensión y análisis del conocimiento, clasificación, descripción y elaboración (Marzano, Kendall, 2008).

A lo largo de este artículo se mostrará que, a partir de objetivos de aprendizaje concretos, las instrucciones precisas, una lista de cotejo (que para esta indagación funciona como guía para los estudiantes), y los instrumentos de evaluación pertinentes y coherentes, se da un proceso de aprendizaje equilibrado y eventualmente útil para los estudiantes en la construcción y recuerdo conceptual de las leyes de movimiento de Newton (García *et al.*, 2020).

El objetivo de esta indagación es usar sistemáticamente el modelo 5E para el aprendizaje conceptual de mecánica newtoniana (leyes de movimiento de Newton) con estudiantes universitarios, para estimular el desarrollo de la alfabetización visual a través de la creación de memes. Dicho objetivo derivó en la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se relaciona el desarrollo de la alfabetización visual para el aprendizaje del tópico leyes de movimiento de Newton con el modelo 5E en estudiantes universitarios?

Marco teórico

Percepción visual

Desde el punto de vista médico clínico, es indudable el vínculo existente entre las habilidades perceptuales visuales y el aprendizaje (Merchand, Henao, 2011), ya que el procesamiento de información visual, aparejada con la atención, permite que se geste el entendimiento de lo que se ve; esto es el fundamento de las construcciones cerebrales que serán perpetuadas partiendo de funciones sensoriales de elevada complejidad, como la memoria, que implican procesos de construcción en los que tanto estímulos como componentes de otras regiones cerebrales finalmente se unen en un indiviso coherente (Slotnick, 2004). De esta manera, como señala Morgado (2005), aprender es un proceso cerebral que implica componentes perceptivos y relacionales.

En esta tesitura, Medrano (2011) señala que el cerebro cuenta con más de treinta áreas visuales distintas que resguardan funciones de percepción de color, profundidad, movimiento, contraste y orientación; para obtener un óptimo desarrollo, necesitan interrelacionarse con las áreas de los otros sentidos que contengan funciones como manipulación de objetos con diversas formas, texturas, peso y movimientos, constituyendo así las bases del aprendizaje.

Así, en la alfabetización visual, la percepción visual es clave tanto para la entrada de información como para su procesamiento, dado que en las áreas corticales se codifican aspectos del mundo visual, ya que el cerebro dedica entre 30 y 40% de sus áreas corticales primarias a la visión (Cavanagh, 2011).

En palabras de Cavanagh (2011), detrás de la percepción visual están implícitas funciones ejecutivas como la atención y la memoria. Así, según Meneses (2019), basado en el decir de

Francisco Mora, "sólo se puede aprender aquello que se ama", la percepción y la emoción son las bases para cimentar ideas y pensamiento abstracto. A su vez, la emoción estimula y mantiene la atención, por lo que las conexiones neuronales solamente ocurren cuando se presta atención, y el cerebro destina atención de forma nativa hacia estímulos notables (Bernabéu, 2017). En resumen, el cerebro es un apasionado de las novedades; cuando surge un estímulo inesperado (diversión, como hacer memes), descarga adrenalina y centra la atención para la acción (Sousa, 2014).

Respecto al componente emoción, cuando se usan memes en los procesos de aprendizaje, éste se mejora e incrementa la motivación del estudiantado. Así lo revelan Elkhamisy y Sharif (2022) en una indagación interpretativa fenomenológica realizada con 1,477 estudiantes de medicina en un curso de patología de una universidad egipcia, donde 85.9% del estudiantado considera que hay un beneficio notable en su aprendizaje. Los estudiantes utilizaron material científico propio de la disciplina para crear memes. Sin embargo, en esta indagación no se reportan directrices para el diseño de los memes y las conclusiones están basadas en la percepción narrativa y encuestas de satisfacción de los estudiantes.

En relación con la memoria, hay un axioma neurocientífico que dice: no hay aprendizaje sin memoria ni memoria sin aprendizaje (Morgado, 2005). En este artículo se concuerda con la definición de memoria propuesta por este autor: es el almacenamiento en nuestro cerebro de lo que aprendemos. Así, por su duración, la memoria se conforma en dos etapas sucesivas: memoria a corto plazo y memoria a largo plazo. La primera comprende una cantidad restringida de información durante un breve tiempo, por ejemplo, cuando memorizamos las placas de un auto. La segunda retiene ingente cantidad de información por tiempo indeterminado y la evocamos de manera natural, como cuando reconocemos nuestro auto.

Hay otro tipo de memoria que, por su contenido, se clasifica en: declarativa y episódica. Este equipo de investigación aspiró a estimular la memoria episódica, que implica aquel aprendizaje que puede relatarse sin dificultad de forma clara y coherente (Aguilar *et al.*, 2010); y precisamente los estudiantes, al recordar la imagen pueden asociar el meme que realizaron para explicar de forma esencial palabras clave y expresiones matemáticas que implica cada ley del movimiento de Newton.

Jun *et al.* (2019) señalan que la estimulación de la memoria visual ayuda a mejorar el aprendizaje asociativo (hilar ideas) y estimula el recuerdo de la memoria posterior, puesto que hay una mayor activación de la corteza temporal lateral del cerebro; además, hay un mayor rendimiento en una tarea de aprendizaje cuando la información o productos son generados por los propios estudiantes (Bernabéu, 2017).

En este sentido, la percepción visual es un tipo de aprendizaje que permite al cerebro identificar las características de un objeto o una persona, y estimula el aprendizaje asociativo (Aguilar *et al.*, 2010). Podemos identificar un gato y también el sonido que emite, el maullido. Así, este aprendizaje se concatena con el aprendizaje asociativo porque se asocian dos estímulos, es decir, el conocimiento del entorno se acompaña de una acción, el reconocimiento del animal con

las particularidades de un felino por sus características morfológicas y fanerópticas, así como el sonido que le caracteriza a esta especie.

Esta propuesta implica la comprensión del tópico leyes de movimiento de Newton, previo un proceso de andamiaje cognitivo (red de actividades concatenadas que permitan al estudiante el reconocimiento, ordenamiento y codificación conceptual) basado en un modelo didáctico pertinente para el aprendizaje de ciencias fácticas, como lo es el Modelo 5E.

Alfabetización visual

Hasta la fecha no se ha logrado formular una definición operativa de la alfabetización visual (Brumberger, 2019); no obstante, se coincide con lo argumentado por Kedra (2018) respecto a que lo que debería ocuparnos como docentes son los objetivos concretos de enseñanza y aprendizaje. Esta indagación se alinea con la definición propuesta por la Association of College & Research Libraries [ACRL] (2022):

Las habilidades de alfabetización visual equipan al alumno para comprender y analizar los componentes contextuales, culturales, éticos, estéticos, intelectuales y técnicos involucrados en la producción y el uso de materiales visuales. Un individuo visualmente alfabetizado es tanto un consumidor crítico de medios visuales como un contribuyente competente a un cuerpo de conocimiento y cultura compartidos.

En la figura 1 se ilustra que la alfabetización visual está relacionada con otras categorías de habilidades; esto hace evidente y pertinente la necesidad de estimularla y robustecerla a partir de lo que otros autores aportan a la definición (Kedra, 2018), como la lectura y escritura visual y otras habilidades, para así culminar en el entendimiento y/o creación de una imagen. Todo lo anterior es congruente con la secuencia didáctica propuesta en esta indagación.

Figura 1. Categorías asociadas al término alfabetización visual



Fuente: Kedra, 2018.

Centrándonos en dos categorías de los varios componentes de la alfabetización visual, primero nos centramos en la lectura visual, que el Diccionario Digital de Nuevas Formas de Lectura y Escritura (s.f.) define como: “[...] el proceso de identificación e interpretación de los diferentes textos vinculados a las imágenes”, y constituye el preludio para el proceso de inferencia. La inferencia consiste en ordenar los símbolos (palabras) y hallar la veracidad de lo que se postula, así lo plantea la teoría propuesta por Charles Sanders Peirce (Alarcón, 2017). Un símbolo se extiende entre los individuos y en su uso y experiencia crece su significado, el cual evoluciona desarrollando modalidades o cambiando incluso su significado o idea primigenia (Alarcón, 2017).

En este orden de ideas, Coch (2023a) sostiene que a partir de la lectura visual es posible la comprensión; ésta se desarrolla debido a la interacción dinámica entre el lector y el texto. La interacción se fomenta a través de tareas específicas como el análisis de información al clasificarla y discutirla; entonces, aquellas tareas donde se enlazan palabras clave desarrollan una representación de palabras de alta calidad en la memoria a largo plazo que integra conexiones con otras palabras. Esto es posible, destaca Coch (2023b), debido a que el procesamiento neuronal de palabras se basa en gran medida en las especializaciones de la parte del cerebro asociada al sistema visual, denominada *vía visual ventral*.

En relación con el segundo elemento de la alfabetización visual, la escritura visual, el Centro de Cultura Contemporáneo de Barcelona (s.f.) lo concibe como un instrumento para reflexionar, porque hace posible plasmar las facetas de la imaginación en la escritura, para después buscar relación con la realidad y, a continuación, asociarla a una imagen para su recuerdo posterior.

En resumen, Knobel y Lankshear (2005) sostienen que utilizar memes en las aulas puede ser una herramienta para apoyar a los formadores a repensar las perspectivas convencionales de alfabetización crítica que a menudo operan al nivel del análisis del texto, ya que la imagen constituye una unidad heredable de información puesto que capta ideas en forma de texto e icono.

Modelo 5E

El modelo 5E, diseñado bajo el liderazgo de Rodger Bybee en los años ochenta, fue creado para robustecer los procesos de aprendizaje de las ciencias; entre otros objetivos, ha sido utilizado para alfabetizar científicamente a los estudiantes. Consta de cinco etapas: enganche, exploración, explicación, elaboración y evaluación (Bybee *et al.*, 2006). Su uso en el aprendizaje de la física ha sido documentado con éxito y pertinencia (Escobar, Luna, 2020; Bahtaji 2021; Escobar *et al.*, 2022).

En esta tesitura, es una herramienta para la alfabetización científica en la investigación educativa, y debería ser utilizada por los docentes. Por ello, esta propuesta considera que la alfabetización científica puede mejorarse mediante la alfabetización visual vinculada a las leyes de movimiento de Newton; consecuentemente, esta innovación didáctica tiene la aspiración de

ser parte de la memoria episódica de los estudiantes, de la cual la neurociencia afirma que es indispensable para recordar conceptos o situaciones complejas (Fang *et al.*, 2018).

Metodología

Este estudio es exploratorio y está enmarcado en el paradigma mixto. Dado que el desarrollo de la alfabetización visual para el aprendizaje de la física ha sido escasamente estudiado, lo cual se constató con los resultados de la búsqueda de información en las siguientes bases de datos: Eric, Scopus, Wiley Online Library y Google Académico, en las que se buscaron las palabras clave: "alfabetización visual", "física", "aprendizaje con memes", "modelo 5E", y se obtuvieron resultados nulos. El enfoque es mixto, porque en primera instancia se recurre al enfoque cuantitativo para justificar la necesidad de explorar otras formas de aprender las leyes de movimiento de Newton. Para ello se utiliza el concepto *Intervalo de Confianza (IC)* con el fin de poner de relieve el nivel conceptual respecto a mecánica newtoniana que tiene la población estudiantil de nuevo ingreso de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE). Clark (2004) nos dice que el IC es un instrumento analítico ventajoso para la investigación científica en términos de toma de decisiones, ya que se puede tener confianza en que el intervalo resultante abarca el valor verdadero.

Asimismo, se realiza un cálculo de estimaciones de intervalo de la proporción a partir de muestras grandes; teóricamente, esto es eficaz ya que la distribución binomial es la adecuada en la construcción de intervalos de confianza para estimar una proporción de población (Cobo *et al.*, 2014).

En lo que se refiere al tamaño de la muestra, Pineda *et al.* (1994, citados por López, 2004) señalan que debe definirse con base en los siguientes criterios: *a)* recursos disponibles y requerimientos que tenga la investigación; y *b)* la lógica que tiene el investigador para seleccionar la muestra, ya que se cumplimenta con la regla de que la población es grande (1,590 estudiantes aproximadamente), y entonces se hace esta estimación mediante un procedimiento de muestreo no probabilístico, en el entendido de que en investigación educativa la mayoría de las variables son ordinales (Mandujano, 1998); al mismo tiempo, este mismo autor señala que el hecho de que una muestra sea grande, no indefectiblemente cumple con el requisito de representatividad pues esta condición pende de varios factores y no únicamente del tamaño. No obstante, como sugiere Spiegel (1978), para grandes valores de muestra, $n(n > 30)$, la distribución muestral está muy próxima a una distribución normal, incluso aplicable para proporciones. Por lo que, en armonía con lo expuesto por Mandujano (1998), la elección de la muestra puede tomar en consideración los siguientes aspectos: *a)* el conocimiento de la población que tenga el investigador; *b)* los casos que seleccione para la muestra reúnen las características que necesita la investigación; *c)* el número de casos es un número grande ($n > 30$). Esto implica que aun cuando no se hayan seleccionado al azar, los resultados cumplirán todos los requisitos y se estará en condiciones para obtener resultados que tiendan a proporcionar conclusiones estadísticamente razonables.

Se aplicó la definición de desviación estándar de la proporción de éxitos en una muestra, la cual se expresa en términos de la ecuación 1, ésta se denomina *Error estándar de la proporción*, de acuerdo con Levin y Rubín (2004).

Ecuación 1

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

Donde p es la probabilidad de éxito, q es la probabilidad de falla, que se obtiene de $1 - p$, y n es el número de ensayos. También, para esta indagación se cumple que np y nq sea > 5 , siendo p y q categorías relevantes, es un indicio de que la curva tiende a la normal (Spiegel, 1978; Levin, Rubín, 2004). Entonces es posible evaluar los parámetros de la población mediante la sustitución de los estadísticos correspondientes de la muestra, \hat{p} y \hat{q} , se sustituye en la Ecuación 1 y ahora se dispone del Error estándar estimado de la proporción, representada en la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$\hat{\sigma}_p = \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Entonces, para encontrar un intervalo de esta muestra en el que puedan tener 95% de confianza de que contiene a la proporción verdadera de la población, de cálculos provistos de áreas bajo la curva de distribución de probabilidad normal estándar, entre la media y valores positivos de z , se obtiene que 95% del área está contenida entre más y menos 1.96 errores estándar de la media (Levin, Rubín, 2004). Así, los *límites de confianza*, donde LS es el límite superior y LI es el límite inferior, estarán dados por las ecuaciones 3 y 4, respectivamente, según señalan Levin y Rubín (2004).

Ecuación 3

$$LS = \hat{p} + 1.96\hat{\sigma}_p$$

Ecuación 4

$$LI = \hat{p} - 1.96\hat{\sigma}_p$$

En esta tesitura, desde el enfoque cualitativo se describen resultados a partir de lo que provee una rúbrica de evaluación con validez de contenido para valorar los memes, calificando el nivel de logro respecto a la alfabetización visual y para cualificar el aprendizaje del tópico

leyes de movimiento de Newton, se utiliza la lista de cotejo de elaboración propia;¹ además, el docente supervisa y retroalimenta la realización de toda la secuencia didáctica de los alumnos.

Por ello, lo que se requiere indagar y posteriormente describir son los resultados de esta propuesta, además, los datos que se obtienen son evidencia simbólica en forma de imágenes (Hernández *et al.*, 2014), las cuales son analizadas mediante instrumentos pertinentes y validados. Teniendo como foco visibilizar la utilidad y factibilidad en términos didácticos que tiene la incorporación metodológica y sistemática del Modelo 5E para la alfabetización visual de forma explícita para el aprendizaje de ciencias fácticas a nivel universitario.

Contexto

Esta propuesta didáctica se aplica a 93 estudiantes de nuevo ingreso de la ESQIE del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, que cursan la unidad de aprendizaje “Mecánica clásica” en aulas virtuales, utilizando la plataforma Google Classroom, durante el periodo escolar agosto-diciembre 2021. El rango de edad de la muestra es de 17 a 26 años.

Etapas 1. Indagación y elección del marco didáctico propicio para el aprendizaje de las ciencias y el desarrollo de la alfabetización visual. Diseño de la secuencia didáctica

Para la elaboración de esta etapa, una guía es la pregunta propuesta por Anderson *et al.* (2001) ¿Cómo se seleccionan o diseñan los instrumentos y procedimientos de evaluación que proporcionen información precisa sobre qué tan bien están aprendiendo los estudiantes? Para esta indagación se adapta este cuestionamiento a ¿Cómo se diseña una secuencia didáctica que permita que los estudiantes comprendan conceptualmente la mecánica newtoniana?

Primeramente, en los dos cursos anteriores se había identificado bajo rendimiento de los estudiantes, procrastinación en la realización de las actividades, ausentismo (probablemente debido el estrés estudiantil que provocó la pandemia) (Luque, 2022; Velázquez, 2020). De la capitalización e identificación de áreas de mejora de esos cursos anteriores se derivó la necesidad de replantear la forma en que los estudiantes aprenden; algo importante fue echar mano de sus intereses y evitar la aplicación de metodologías como recetarios (Arreola, 2021), tomando como base indagaciones previamente mencionadas sobre la dificultad conceptual de la mecánica newtoniana, este equipo de indagación divisó el potencial de la alfabetización visual como complemento para el aprendizaje de la física.

A partir de las taxonomías cognitivas propuestas por Marzano y Kendall (2008), la secuencia didáctica se diseñó siguiendo las fases propuestas por Díaz-Barriga (2013): inicio, desarrollo y cierre. En este sentido, se está de acuerdo con el autor en que la concatenación de actividades de aprendizaje debe ser en orden de complejidad creciente. A continuación, se describe la secuencia didáctica y su vinculación con el modelo 5E.

¹ La lista de cotejo se puede consultar en <https://n9.cl/listadecotejoleynewton>

- a. Inicio: Se inicia con la lectura de un artículo científico que invita a reflexionar sobre la evolución conceptual de la fuerza como proceso de reconocimiento de información (entrada); a partir de esta información, los estudiantes discuten y analizan un video didáctico; esta parte se vincula a la etapa de enganche del modelo 5E.
- b. Desarrollo: El profesor diseña una hoja de trabajo donde el estudiante debe indagar información concreta del artículo, lo anterior implica sintetizar, formular posibilidades, clasificar y describir; esta parte de la secuencia está ligada con la etapa exploración. La exploración es clave porque, en el caso de existir lagunas cognitivas, viabiliza el cambio conceptual.
- c. Cierre: Deben ser actividades preferentemente inéditas y desafiantes (Díaz-Barriga, 2013; Bybee *et al.*, 2006) cognitivamente para el estudiante, que le permitan integrar los conocimientos adquiridos. En esta etapa los estudiantes analizan otro artículo de manera individual (Sebastiá, 2013) y después en equipo, para posteriormente elaborar una línea del tiempo y hacer la producción de los memes, donde aplicarán conocimientos adquiridos y robustecidos.

Por su parte, la explicación y evaluación son dos fases del modelo 5E, que para esta indagación se adjudicaron al profesor, lo cual es válido porque el proceso de aprendizaje necesita una guía y el profesor es quien debe visibilizar los progresos de los estudiantes basado en los objetivos de aprendizaje (Bybee *et al.*, 2006). No obstante, la explicación implicó involucrar a los alumnos discutiendo ejemplos y contraejemplos sobre mecánica newtoniana.

En la tabla 1 se presenta la secuencia didáctica, la cual delinea las acciones de implementación de esta propuesta, se delimita cada etapa, el tipo de actividades, la evidencia generada. Se aprecia que esta secuencia privilegia la indagación, análisis y comprensión de contenido científico.

Tabla 1. Secuencia didáctica basada en el modelo 5E

Etapa	Acciones	Asignación: Individual, equipo, grupal	Evidencia de aprendizaje	Estatus/fecha
Enganche	1. Leer y analizar el artículo: Evolución del concepto fuerza (Rivera <i>et al.</i> , 2014). 2. Discutir para resolver hoja de trabajo vinculada con la interacción de fuerzas usando simulador. 3. Analizar la fuerza de mordida de algunos seres vivos, comentar en foro de discusión.	Alumno/ individual/grupal	NA	Realizado

Exploración	Clasificar y describir fuerzas en diferentes situaciones.	Alumno/equipo	Hoja de trabajo contestada, con 6 escenarios	Realizado
Explicación	1. Explicar ejercicios detalladamente, vinculando la teoría y procedimientos (algoritmos). 2. Explicar usando ejemplos y contraejemplos.	Profesor/grupal	NA	Realizado
Elaboración	1. Analizar el artículo Leyes de Newton (Sebastiá, 2013). 2. Elaborar una línea del tiempo sobre la evolución del concepto fuerza. 3. Discutir y explicar las leyes de Newton tomando como base el artículo, a los alumnos se les proporciona una hoja de trabajo donde analizan operativamente los conceptos. 3. Elaborar de memes.	Alumno/individual/ equipo.	1. Línea del tiempo 2. Hoja de trabajo 3. Producción de memes	Realizado
Evaluación	Diagnóstica: Prueba FCI para medir el nivel de entendimiento conceptual de mecánica newtoniana. Sumativa: Tasando todas las actividades de los estudiantes con base en la rúbrica.	Alumno/individual	Lista de cotejo para la línea del tiempo. Rúbrica de evaluación para las hojas de trabajo. Rúbrica (Bowen, 2017) para evaluación de memes.	Realizado

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2. Selección y diseño de instrumentos de evaluación, tomando como base taxonomías cognitivas

Para la evaluación de los aprendizajes se opta por utilizar la rúbrica propuesta por Bowen (2017), que propone cuatro niveles de competencia; en esta indagación se establecen cuatro niveles de logro aparejados con dichas competencias, tomando en cuenta que la rúbrica describe en cada categoría un nivel mínimo y máximo; entonces se hace uso de la investigación educativa y se disminuye la subjetividad, para tasar el desarrollo de la alfabetización visual.

Al respecto, se coincide con Kedra (2018) ya que, en función de los objetivos de aprendizaje y en unidad con el diseño de un curso, un profesor puede crear los instrumentos de evaluación que le permitan cualificar los niveles de logro de los estudiantes. Sin embargo, en esta indagación se opta por utilizar una rúbrica con validez de contenido, la cual establece criterios e identifica aprendizajes vinculados con la alfabetización visual de estudiantes universitarios, en armonía con la recomendación sobre los métodos de evaluación que son útiles, y brindar información sobre sus aprendizajes, independientemente de la disciplina o el campo de estudio de los estudiantes (Kedra, 2018).

En este orden de ideas, para guiar a los estudiantes en la elaboración de los memes se desarrolló una lista de cotejo a manera de guía para su producción, aparejada con la rúbrica de evaluación propuesta por Bowen (2017), para asegurar que el contenido teórico del tema (leyes de movimiento de Newton) estuviera en relieve en todo momento y cualificar los aprendizajes teóricos de los estudiantes.

Etapa 3. Puesta en escena (plataforma virtual Googlee Classroom)

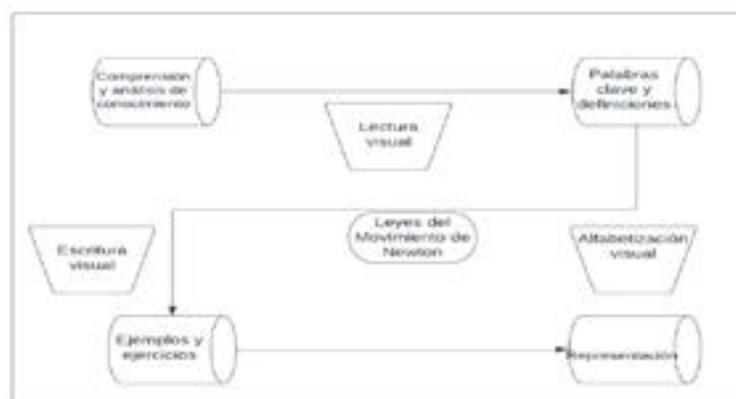
Esta propuesta didáctica se ensambló en las aulas virtuales de la ESIQIE. Para el curso de mecánica clásica se utilizó la plataforma Googlee Classroom, de acceso gratuito, disponiendo de una semana para realizar toda la secuencia didáctica. El uso de esta plataforma permitió recuperar y evidenciar todo el proceso; los datos obtenidos se procesaron en hojas de cálculo del software Excel, versión 2016.

En resumen, la conducción del proceso cognitivo para la evolución de palabras, conceptos clave, asociación y elaboración del meme, *grosso modo*, se describe a continuación. El formato de datos de entrada para el análisis y comprensión de conocimiento, son palabras e ideas clave (propias del lenguaje en física, como: inercia, sistema de referencia inercial, fuerza, masa, aceleración, fuerza de acción, fuerza de reacción). Se proporciona a los estudiantes estas palabras e ideas en artículos científicos que deben ser socializados y asimilados mediante el análisis del simulador (interacción de fuerzas) y la discusión en el foro sobre la fuerza de mordida de los mamíferos. Luego, cuando los estudiantes clasifican el tipo de fuerzas con la imagen, hacen una lectura visual que les permite interpretar la información y asociarla en forma de ideas.

En este tenor, con los ejercicios propuestos por la profesora, donde se explica la asimilación conceptual mediante algoritmos, los estudiantes realizan prácticas que estimulan la escritura visual, ya que están relacionando y asociando eventos que ocurren en la naturaleza. Por ejemplo, para la primera ley, cuando identifican que el objeto en ausencia de fuerza no se mueve, infieren que, $\sum F = 0$, es decir, es viable disponer de un marco de referencia en el que el objeto su aceleración sea nula. En cambio, si identifican que hay movimiento $\sum F = ma$, lo asocian a la segunda ley; esto implica también los sistemas de referencia inercial. Al mismo tiempo, los estudiantes deben identificar el eje de las abscisas y ordenadas, así como los signos de los cua-

drantes (lectura visual), para asignar la orientación y dirección positiva de los ejes coordenados del marco de referencia en función del sentido del movimiento (escritura visual). Este proceso de andamiaje cognitivo se esboza en la figura 2.

Figura 2. Diagrama proceso andamiaje cognitivo



Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Para nuestra indagación, con los resultados derivados de la prueba FCI aplicada a 93 estudiantes de la ESIQIE, se encontró que 85% ($\wedge p = 0.85$; $\wedge q = 0.15$) de estos no demostraron conocimiento básico de mecánica newtoniana. Para cuantificar los datos se utiliza una escala decimal, ya que en México una calificación mayor de 6 se considera aprobatoria, la prueba FCI consta de 30 reactivos; por lo tanto, si los alumnos tienen una puntuación mayor o igual a 18, se considera aprobado, en caso contrario el rendimiento se considera insuficiente. Para el ciclo escolar agosto-diciembre 2021 se consideró una población estudiantil de aproximadamente 1,590 alumnos (Rojas, comunicación personal, 22 de agosto de 2021).

Entonces, a partir de nuestra muestra de 93 estudiantes, con 95% de confianza, se considera que la porción de la población total de alumnos de la ESIQIE de primer semestre del ciclo escolar agosto-diciembre 2021 que no tiene conocimiento básico de mecánica newtoniana y, por ende, de las leyes de movimiento de Newton, está entre 0.9226 y 0.7774, es decir, 92.26% y 77.74%. Estos datos justifican la necesidad de explorar otras formas para mejorar los aprendizajes respecto a la mecánica newtoniana.

Con base en cada categoría de la rúbrica (Bowen, 2017) se procedió a cualificar, entendiendo que aquellos equipos de alumnos que alcanzaron el máximo nivel de logro son los que sus productos (memes) cumplen a cabalidad con la lista de cotejo y la rúbrica, ambas, previamente

se les proporcionaron a los estudiantes. La tabla 2 resume los resultados obtenidos por parte de los estudiantes de la ESIQIE.

Tabla 2. Niveles de logro de alfabetización visual de la muestra de estudiantes de la ESIQIE

Nivel de logro	Competencia de alfabetización visual	Porcentaje de alumnos por nivel de logro
Elemental	Reconocimiento de representaciones	0.00%
Básico	Identificación y narración	19.05%
Intermedio	Manipulación y recreación (reutilizar, recrear, redistribuir)	58.33%
Avanzado	Conceptualización, creación, presentación intertextual (capacidad para comprender y aplicar conceptos retóricos visuales).	22.62%

Fuente: Elaboración propia.

Como revelan los resultados de la prueba FCI, la mayoría de los estudiantes de nuevo ingreso de la ESIQIE tienen carencias cognitivas sobre mecánica newtoniana. No obstante, con la realización de todas las actividades propuestas durante la secuencia didáctica, tales como: hojas de trabajo donde debieron clasificar, indagar, discriminar y elaborar, así como el foro de discusión donde tuvieron la oportunidad de refutar conocimiento con sus pares, hay evidencia empírica de conocimiento conceptual de las leyes de movimiento de Newton, las cuales se reforzaron con la elaboración de los memes que, de acuerdo con la rúbrica de evaluación, ningún estudiante se quedó en el nivel de reconocimiento de imagen. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Bahtaji (2021), acerca de que el modelo 5E, ejecutado de forma sistemática, permite una comprensión conceptual profunda.

Lo anterior también es consistente con lo reportado por Gillies y Rafter (2020) ya que al utilizar diversas actividades los estudiantes pueden desarrollar comprensión conceptual del tópico en cuestión mediante actividades de aprendizaje estimulantes.

Así, el instrumento utilizado para cualificar los productos de los estudiantes revela que 19.05% logran asociar la imagen con la ley física, pero no de forma auténtica y creativa; si bien aportan ideas propias, éstas están en el nivel de identificación y descripción, porque a primera vista no existe alguna fuerza neta operando sobre el muñeco –que según muestra la figura 2 está en reposo–, pero está en un automóvil que desacelera, entonces el marco de referencia no

es inercial y por lo tanto, no se pueden aplicar de forma directa las leyes de la mecánica; sin embargo, es una aproximación válida de los estudiantes (Resnick *et al.*, 2002). Por lo que este nivel de asimilación puede considerarse básico.

Figura 2. Meme sobre la Primera ley de Newton



Fuente: Elaboración de los estudiantes de la ESIQIE.

El espectro donde se encuentra la mayoría de los estudiantes respecto a la alfabetización visual después de esta intervención didáctica es 58.33%, es decir, los alumnos pueden interpretar de forma crítica la imagen (meme). Si bien estos construyen el significado de la imagen aparejado con el marco teórico de las leyes de movimiento de Newton puesto que se le proporcionaron los insumos (artículos científicos y actividades de aprendizaje), la descripción que hacen de la imagen es básica (véase la figura 3). No obstante, este nivel de asimilación puede considerarse bueno, ya que la tercera ley del movimiento de Newton expresa que la relación de fuerzas con la misma magnitud pero en dirección opuesta, queda representada por $\vec{F}_a = -\vec{F}_r$ (Resnick *et al.*, 2002), si se despeja esta expresión, esta suma de fuerzas es igual con cero $\vec{F}_a + \vec{F}_r = 0$.

Figura 3. Meme sobre la Tercera ley de Newton



Fuente: Elaboración de los estudiantes de la ESIQIE.

Por su parte, según la rúbrica de Bowen (2017), 22.62% de los alumnos articulan de forma racional y coherente la imagen y el concepto de las leyes de movimiento de Newton, dado que crean un nuevo significado a partir de la imagen; además, es posible que con este producto (meme) se alfabetice a otros, ya que tanto la imagen como el mensaje es persuasivo (véase la figura 3).

Figura 4. Meme sobre la Tercera ley de Newton



Fuente: Elaboración de los estudiantes de la ESIQIE

Se destaca que la mayoría de los estudiantes (94.62%) realizaron las actividades de aprendizaje (lectura de artículos, elaboración de hojas de trabajo, foro de discusión y memes). Estos

datos indican que hay una evaluación implícita positiva para esta innovación didáctica por parte de los estudiantes (Peña, 2022). Al respecto, uno de los alumnos da cuenta tanto del interés como de la relevancia de la lectura de artículos científicos: “[...] nunca me había puesto a leer, vaya, física y encontré que me gusta demasiado la lectura de ese tipo y que es información que se debe de tener siempre para poder tener diferentes temas de conversación”.

Conclusiones

A lo largo de este artículo se muestra que es posible instruir tópicos científicos como las Leyes de movimiento de Newton y conjuntamente desarrollar la alfabetización visual mediante el modelo 5E. Los resultados basados en la rúbrica validada para estimar el desarrollo de alfabetización visual revelan que la mayoría de los estudiantes logran un nivel intermedio.

El uso de memes tiende a estimular el recuerdo de la memoria posterior puesto que hay una mayor activación de la corteza temporal lateral del cerebro; también, debido a que los memes que realizaron los estudiantes (previo andamiaje cognitivo y directrices), hay una tendencia a la asimilación conceptual.

Los resultados anteriores dan cuenta de manera empírica que el aprendizaje adquirido por los estudiantes está ligado al modelo 5E y al desarrollo de la alfabetización visual, porque a través de las imágenes divertidas y razonadas por los estudiantes se enviaron impulsos a su cerebro para fijar la imagen y relacionarla conceptualmente con la teoría científica. Además, se alcanzan también los objetivos taxonómicos, toda vez que los estudiantes analizan, clasifican, describen y elaboran.

Asimismo, de acuerdo con la neurociencia, eventualmente es difícil que esta experiencia didáctica sea olvidada por los estudiantes; fue una actividad didáctica novedosa que permitió que de forma transversal recordaran, indagaran, relacionaran, aprendieran sobre las leyes de movimiento de Newton, quedando de manifiesto el potencial de uso de la alfabetización visual para el aprendizaje de tópicos científicos.

Si bien existen algunas limitaciones respecto a la alfabetización visual debido al tema de derechos de autor, la dificultad para asociar las imágenes con el concepto, las frases que no se asocian a la imagen, la significación de la frase con respecto a la imagen, se considera es posible subsanarlas creando las imágenes a través de fotos al usar contenidos sin derechos de autor. No obstante, en lo relativo a la interpretación y asociación es evidente que los alumnos necesitan directrices.

Esta indagación abre la posibilidad de utilizar el modelo 5E para explorar de manera intensiva otra forma de alfabetización, lectura visual, ineludible para los estudiantes de todos los niveles, y fundamental para el entendimiento de principios científicos y resolución de tareas con alta complejidad, tales como los problemas.

Nota acerca de la financiación:

Este artículo pertenece al Proyecto de Investigación No. 20221902, titulado “Efecto de la estimulación de la percepción visual para el aprendizaje de la Física con el Modelo 5E”, financiado por el Instituto Politécnico Nacional en la convocatoria para el Programa Especial de Consolidación de Investigadores 2022.

Referencias

- Addad, R.; E. Llonch; A. Rosolio; R. Cassan (2017). Las fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: una propuesta de trabajo en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29: 373-380. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/18496/18348>
- Aguilar, L.; G. Espinoza; E. Oruro; D. Carrión (2010). Aprendizaje, memoria y neuroplasticidad. *Temática Psicológica*, 6(6): 7–14. <https://doi.org/10.33539/tematpsicol.2010.n6.856>
- Alarcón, V. (2017). Humorismo como creación y fortalecimiento de los vínculos en la sociedad red: el caso de los memes sobre filósofos. *Revista de Comunicación*, 16(1): 122-146. <https://revistadecomunicacion.com/article/view/1011>
- Antón, Á.; M. Nieto; P. Fernández; D. Vergara (2022). Usability of Memes and Humorous Resources in Virtual Learning Environments. *Education Science*, 12(3): 215-220. <https://www.mdpi.com/2227-7102/12/3/208>
- Association of College & Research Libraries (2022). ACRL Visual Literacy Competency Standards for Higher Education. <https://www.ala.org/acrl/standards/visualliteracy>
- Arreola, K. (2021). ¿Qué nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla y aprenderla? <https://ciec.edu.co/ciec-new/observatorio/pedagogia-e-innovacion/que-nos-dice-la-ciencia-sobre-como-ensenarla-y-aprenderla/>
- Anderson, L.; D. Krathwohl; P. Airasian; K. Cruikshank; R. Mayer; P. Pintrich; J. Raths; M. Wittrock (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Bahtaji, M. (2021). The Role of Math and Science Exposure on the Effect of 5E Instructional Model in Physics Conceptions. *Journal of Baltic Science Education*, 20(1): 10-20. <http://www.scientiasocialis.lt/jbse/?q=node/963>
- Bernabéu, E. (2017). La atención y la memoria como claves del proceso de aprendizaje. Aplicaciones para el entorno escolar. *ReiDoCrea*, 6(2): 16-23. <https://www.ugr.es/~reidocrea/6-2-3.pdf>
- Bowen, T. (2017). Assessing Visual Literacy: A Case Study of Developing a Rubric for Identifying and Applying Criteria to Undergraduate Students Learning. *Teaching in Higher Education*, 22(6), 705–719. <https://doi.org/10.1080/13562517.2017.1289507>
- Brumberger, E. (2019). Past, Present, Future: Mapping the Research in Visual Literacy. *Journal of Visual Literacy*, 38(3): 165-180. <https://doi.org/10.1080/1051144X.2019.1575043>

- Bybee, R.; J. Taylor; A. Gardner; P. Van Scotter; J. Powell; A. Westbrook; N. Landes (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Colorado Springs: BSCS.
- Cavanagh, P. (2011). Visual Cognition. *Vision Research*, 51(13): 1538-1551. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.01.015>
- Clark, M. L. (2004). Los valores P y los intervalos de confianza: ¿en qué confiar? *Revista Panamericana de Salud Pública*, 15: 293-296. 10.1590/s1020-49892004000500001.
- Centro de Cultura Contemporáneo de Barcelona (s.f.). Escuelas de cine. La escritura visual <https://alternativa.cccb.org/2020/es/actividades/escuelas-de-cine/la-escritura-visual>
- Coch, D. (2023a). Construyendo un cerebro que pueda leer. Parte 2: Vocabulario y sentido. *Journal of Neuroeducation*, 3(2), 15-23. <https://revistes.ub.edu/index.php/joned/article/view/41556>
- Coch, D. (2023b). Construyendo un cerebro que pueda leer. Parte 1: Sonido y vista. *JONED. Journal of Neuroeducation*, 3(2): 15-23. <https://revistes.ub.edu/index.php/joned/article/view/41555>
- Cobo, E.; B. Kostov; J. Cortés; J. González; P. Muñoz; H. Rufino; R. Peláez; M. Vilaró; N. Bielsa (2014). Intervalos de confianza. En Cobo, E.; P. Muñoz; J. González (eds.). *Bioestadística para no estadísticos. Bases para interpretar artículos científicos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2-46. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/186420/08_intervalos_de_confianza-5331.pdf
- Díaz-Barriga, Á. (2013). *Guía para la elaboración de una secuencia didáctica*. México: UNAM. http://www.setse.org.mx/ReformaEducativa/Rumbo%20a%20la%20Primera%20Evaluaci%C3%B3n/Factores%20de%20Evaluaci%C3%B3n/Pr%C3%A1ctica%20Profesional/Gu%C3%ADa-secuencias-didacticas_Angel%20D%C3%ADaz.pdf
- Diccionario Digital de Nuevas Formas de Lectura y Escritura, (s.f.). *Lectura visual*. <https://dinle.usal.es/>
- Domínguez, M. (2020). La alfabetización visual como defensa ante las noticias falsas. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 13(26), 85–93. <https://doi.org/10.55777/rea.v13i26.2012>
- Elkhamisy, F.; A. Sharif (2022). Project-Based Learning with Memes as an Inovative Competency-Boosting Tool: A Phenomenological Interpretive Study. *Interactive Learning Environments*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2133147>
- Escobar, F.; V. Luna (2020). Campo magnético en el aula virtual en época de pandemia. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32(2): 109-126. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/31324>
- Escobar, F.; G. Ávila; L. Suárez (2022). Enseñanza de los vectores con la red de actividades del parrayos. Un estudio de clases virtual en Ingeniería Química Industrial. *Innovación Educativa*, 21(87), 55-75. <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/Innovacion-Educativa-87/ensenanza-de-los-vectores-con-la-red.pdf>
- Fang, J.; N. Rüter; C. Bellebaum; L. Wiskott; S. Cheng (2018). The Interaction Between Semantic Representation and Episodic Memory. *Neural Computation*, 30(2), 293-332. <https://direct.mit.edu/neco/article-abstract/30/2/293/8339/The-Interaction-between-Semantic-Representation?redirectedFrom=fulltext>

- García F.; C. Llorente; M. García-Guardia (2020). Interrelaciones de la memoria con la creatividad y la imagen en la conformación de la cultura. *Arte, Individuo y Sociedad*, 33(4), 1095-1116. <https://dx.doi.org/10.5209/aris.70216>
- Gillies, R.; M. Rafter (2020). Using Visual, Embodied, and Language Representations to Teach the 5E Instructional Model of Inquiry Science. *Teaching and Teacher Education*, 87(8), 102951-102962. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.102951>
- Gómez, R. (2010). La alfabetización visual: retos para un mundo que aspira a la interculturalidad. En Gómez, R.; M. Agustín (eds.). *Polisemias visuales. Aproximaciones a la alfabetización visual en la sociedad intercultural*. España: Universidad de Salamanca, 2137. <http://eprints.rclis.org/15914/1/978-84-7800-166-8-0021-0037.pdf>
- Gutiérrez, J.; K. Zuzá; G. Zavala; J. Guisasaola (2022). Deficiencias de comprensión y epistémicas de los estudiantes universitarios en la construcción de categorías explicativas sobre las relaciones trabajo-energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 47-64. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3306>
- Hestenes, D.; M. Wells; G. Swackhamer (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hernández, R.; C. Fernández; P. Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill-Interamericana.
- Jun, S.; J. Kim; C. Chung (2019). Direct Stimulation of Human Hippocampus During Verbal Associative Encoding Enhances Subsequent Memory Recollection. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 23. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2019.00023/full>
- Kedra, J. (2018). What does it Mean to be Visually Literate? Examination of Visual Literacy Definitions in a Context of Higher Education. *Journal of Visual Literacy*, 37(2): 67-84. <https://doi.org/10.1080/1051144X.2018.1492234>
- Kędra, J.; R. Źakevičiūtė (2019). Visual Literacy Practices in Higher Education: What, Why and How? *Journal of Visual Literacy*, 38(12), 1-7. <https://doi.org/10.1080/1051144X.2019.1580438>
- Kiryá, K.; T. Nuru; L. Yadav (2022). Conceptual Understanding of Force Concepts in the Ugandan Context: A Thread Assessing Performance and Misconceptions. *Journal of Mathematics and Science Teacher*, 2(1): 1-11. <https://doi.org/10.29333/mathsciteacher/12049>
- Knobel, M.; C. Lankshear (noviembre, 2005). Memes and Affinities: Cultural Replication and Literacy Education. Annual NRC, Miami, United States. https://www.researchgate.net/publication/249902174_Memes_and_affinities_Cultural_replication_and_literacy_education
- Levin, R.; D. Rubin (2004). *Estadística para administración y economía*. México: Pearson.
- López, P. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto Cero*, 9(8): 69-74. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>

- Luque, O.; N. Bolívar; V. Achahui; J. Gallegos (2022). Estrés académico en estudiantes universitarios frente a la educación virtual asociada al covid-19. *Puriq*, (4): 1-10. <https://doi.org/10.37073/puriq.4.1.200>
- Loerts, T.; C. Belcher (2019). Developing Visual Literacy Competencies while Learning Course Content Through Visual Journaling: Teacher Candidate Perspectives. *Journal of Visual Literacy*, 38(12): 46-65. <https://doi.org/10.1080/1051144X.2018.1564603>
- Loor, E. (2021). Evaluación de la comprensión de conceptos de la Mecánica Clásica en estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales en Matemática y Física, mediante la aplicación del Test FMNC (Force and Motion Conceptual Evaluation). Tesis de maestría. Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Mandujano, F. (1998). Teoría del muestreo: particularidades del diseño muestral en estudios de la conducta social. *REMA Revista Electrónica de Metodología Aplicada*, 3(1): 1-15. <https://doi.org/10.17811/rema.3.1.1998.1-15>
- Marzano, R.; J. Kendall (2008). *Designing and Assessing Educational Objectives: Applying the New Taxonomy*. California: Corwin Press.
- Mendiola, J. (2021). ¿Qué es un meme exactamente? Te contamos todo sobre este fenómeno <https://es.digitaltrends.com/entretenimiento/que-es-un-meme/>
- Meneses, N. (2019). Neuroeducación. Sólo se puede aprender aquello que se ama, de Francisco Mora Teruel. *Perfiles Educativos*, 41(165): 210-216. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2019.165.59403>
- Medrano, S. (2011). Influencia del sistema visual en el aprendizaje del proceso de lectura. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 9(2), 91-103. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1024&context=svo>
- Merchand, S.; J. Henao (2011). Influencia de la percepción visual en el aprendizaje. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 9(1), 93-101. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=svo>
- Morgado, I. (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria. *CIC, Cuadernos de Información y Comunicación*, (10): 221-233. <https://doi.org/10.33588/rn.4005.2005004>
- Perales, J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(1), 13-30. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/73529>
- Peña, B. (2022). Indagación evaluativa de una intervención con metodologías activas para estudiantes universitarios. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 15(29): 5-18. <https://doi.org/10.55777/rea.v15i29.4054>
- PhysPort (2022). Force Concept Inventory (FCI). <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=FCI>

- Ramírez, M. (2010). Aplicación del sistema 4MAT en la enseñanza de la física a nivel universitario. *Revista Mexicana de Física*, 56(1): 29-40. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v56n1/v56n1a5.pdf>
- Resnick, R.; D. Halliday; K. Krane (2002). *Física, volumen I*. Grupo Editorial Patria.
- Rivera, J.; J. Madrigal; E. Cabrera; C. Mercado (2014). Evolución histórica del concepto fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4): 34. http://www.lajpe.org/dec14/4601_Madrigal.pdf
- Romero, E.; J. Bobkina (2021). Exploring Critical and Visual Literacy Needs in Digital Learning Environments: The Use of Memes in the EFL/ESL University Classroom. *Thinking Skills and Creativity*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100783>
- Santana, J. (2018). Ganancia en el aprendizaje del concepto de fuerza y cambio en las actitudes hacia la física en estudiantes de la Escuela Preparatoria de Tonalá. *CienciaUAT*, 13(1), 65-80. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.974>
- Sebastiá, J. (2013). Las Leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (27): 199-217. <https://doi.org/10.7203/dces.27.2241>
- Slotnick, S. (2004). Visual Memory and Visual Perception Recruit Common Neural Substrates. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 3(4), 207-221. <https://doi.org/10.1177/1534582304274070>
- Sousa, D. (ed.). (2014). *Neurociencia educativa: Mente, cerebro y educación*. Narcea Ediciones. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=571973>
- Spiegel, M. (1978). *Probabilidad y estadística*. México: McGraw-Hill.
- Velázquez, L. (2020). Estrés académico en estudiantes universitarios asociado a la pandemia por COVID-19. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 9(25), 158-179 <https://doi.org/10.31644/IMASD.25.2020.a10>
- Zhou, S.; C. Zhang; H. Xiao (2015). Students' Understanding on Newton's Third Law in Identifying the Reaction Force in Gravity Interactions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(3): 589-599. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1337a>