

El aprendizaje de gráficas cinemáticas a través del modelo ADDIE utilizando un enfoque neuro-educativo

Analysis of kinematic graph learning through the ADDIE model using a neuro-educational approach

Fabiola Escobar Moreno
Sofía Romero Vargas

RESUMEN

Vincular los procesos de aprendizaje con la neurociencia es uno de los retos que la investigación educativa tiene que afrontar en el presente siglo, a modo de dar a los profesores universitarios las herramientas para gestionar de manera eficiente los conocimientos de los alumnos, creando experiencias de aprendizaje estimulantes. Con tal objetivo, se desarrolló y se aplicó en una escuela de nivel universitario una propuesta con enfoque neuro-educativo que pretende incrementar la habilidad en los estudiantes para la comprensión, análisis e interpretación de gráficas. La secuencia de aprendizaje propuesta se aplicó específicamente al tema de cinemática empleando el modelo ADDIE con un enfoque mixto: cuantitativo cuasi-experimental (utilizando la prueba Z) y cualitativo. Respecto a la ganancia conceptual no hay diferencias significativas entre el grupo de control y los experimentales, sin embargo, desde el enfoque cualitativo los estudiantes que antes de la secuencia didáctica propuesta tenían dificultades para expresar sus ideas por escrito y presentaban problemas para diferenciar los conceptos de velocidad y aceleración declaran que identifican el desarrollo de habilidades de orden superior.

Palabras clave: Didáctica de la física, neurociencia, representaciones semióticas.

ABSTRACT

Linking learning processes with neuroscience is one of the challenges that educational research must face in the present century, to give university professors the tools to manage students' knowledge more efficiently, creating stimulating learning experiences. With this objective, a neuro-educational approach proposal was developed and applied to a University level school to increase students' ability to understand, analyse and interpret graphs. The proposed learning sequence was specifically applied to the topic of kinematics using the ADDIE model with a mixed approach: quantitative quasi-experimental (using the Z-test) and qualitative. Regarding conceptual gain there are no significant differences between the control and experimental groups, however, from the qualitative approach, students who before the proposed didactic sequence had difficulties to express their ideas in writing and presented problems to differentiate the concepts of velocity and acceleration declare that they identify the development of higher order skills.

Keywords: Didactics of physics, neuroscience, semiotic representations.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI se ha enfatizado evolucionar la enseñanza denominada “pasiva”, que se presenta cuando un profesor se limita a proporcionar información mientras los estudiantes la escuchan y ven. Al respecto, la neurociencia ha demostrado la baja eficiencia del método de enseñanza pasiva (Llenas, 2019), por lo que, al tener una mejor comprensión del cerebro podemos saber que todos los seres humanos tenemos plasticidad cerebral y eso hace posible aprender a lo largo de la vida (Vega y Villegas, 2021).

En este sentido, la neuroeducación, disciplina que vincula la neurociencia y la pedagogía, parte de la premisa de que a mayor estimulación cerebral se generarán mayores interconexiones neuronales (Chiliquinga y Masaquiza, 2019), las cuales son necesarias para adquirir conocimientos e incluso resignificarlos, siendo la organización y la interconexión lo más relevante del órgano del cuerpo, el cerebro, donde se llevan a cabo los procesos cognitivos (Sierra y León, 2019). En este orden de ideas, el neurocientífico Santiago Ramón y Cajal (citado por Sierra y León, 2019) señaló que “el aprendizaje podría ser el resultado de una modificación morfológica entre las interconexiones de las neuronas, similar a los fenómenos que ocurren durante la formación de sinapsis en la vida embrionaria”.

Precisamente, si el punto de partida es que la interconexión neuronal está vinculada al aprendizaje, entonces es tarea docente estimular estas interconexiones. Sin embargo, el proceso de aprendizaje es retador y estimulante en la medida que se diseñen experiencias educativas que logren migrar de la memoria semántica a la memoria episódica, es decir, lograr aprendizajes que difícilmente se olviden; es por ello que es trabajo del profesor implementar los enfoques informados del cerebro, para entonces examinar su efectividad sistemáticamente (Ibarrola, 2014).

Esta investigación propone una intervención educativa, basada en una secuencia didáctica vinculada con la rama de la biofísica denominada biomecánica, dado que se relaciona la cinemática al movimiento de un ser vivo; además emplea el modelo

Fabiola Escobar Moreno. Profesora-investigadora del programa de posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México. Doctora en Ciencias, especialidad Física Educativa, Diplomada en Neurociencia del Aprendizaje por la Facultad de Biología y Química de la Universidad de Santiago de Chile. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Entre sus publicaciones más recientes están los artículos “Enseñanza de los vectores con la red de actividades del pararrayos. Un estudio de clases virtual en Ingeniería Química Industrial” y “Archimedes’ principle, articulation with steam and storytelling”. Es miembro de la Red de Seminarios Repensar del IPN. Correo electrónico: fescobar@ipn.mx. ID: <https://orcid.org/0000-0001-8958-2075>.

Sofía Romero Vargas. Profesora-investigadora de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional, México. Doctora en Ciencias, especialidad Tecnología Avanzada. Coordinadora de laboratorios de mecánica y electromagnetismo del año 2019 al 2021 en la ESIQIE-IPN. Correo electrónico: sromerov@ipn.mx. ID: <https://orcid.org/0000-0002-3959-7719>.

ADDIE [acrónimo que significa “análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación”], relacionado con el desarrollo de procesos cognitivos tales como análisis e interpretación de información generada como registros semióticos, a partir de un fenómeno analizado, término propuesto por Raymond Duval (2004), comúnmente conocido como gráficos.

El aprendizaje de la cinemática, en el programa de Física de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), es obligatorio, en la formalidad. Sin embargo, la introducción a nuevos tópicos y actividades de aprendizaje, generalmente, no se realiza de forma sistemática y tampoco cuentan con elementos didácticos que permitan incentivar vocaciones científicas y una verdadera apropiación del conocimiento (Escobar y Luna, 2020; Escobar et al., 2021). Al menos en esto último, la investigación educativa ha demostrado que la enseñanza basada en recepción y transmisión es poco eficiente.

Así, para contribuir desde la docencia y la neuroeducación y dar cabal cumplimiento al “Proyecto 15. Difusión de la ciencia, la innovación y la cultura científica y tecnológica para la sociedad”, proyectado en el Programa de Mediano Plazo Institucional 2021-2023, que a la letra dice: “...incentivar vocaciones científicas y la apropiación del conocimiento en la comunidad politécnica” (IPN, 2021, p. 74), es por lo que se decidió explotar y robustecer el tópico de cinemática, articulando el aprendizaje de física moderna, biofísica, específicamente la biomecánica, siendo esta propuesta, eventualmente, pertinente y reproducible para otros programas de estudio que aborden cinemática y que deseen incorporar tópicos de física moderna de forma metodológica.

La relevancia de tópicos de física moderna como la biofísica es notable porque, en el conocimiento físico de entes biológicos, “la física ha jugado un papel central en el desarrollo de nuevos métodos para el estudio de la estructura y función de la materia biológica” (Méndez, 1999). Algunos tópicos de biofísica que resultan de interés científico y que abonan a las vocaciones científicas, se considera, son: la forma en que el sistema neuronal procesa la información; interfaz entre células nerviosas y circuitos semiconductores; la física de la fotosíntesis; espectroscopia de fuerza en biomoléculas aisladas; estudio de biopolímeros rígidos y el modelado de motores moleculares (Méndez, 1999). Asimismo, en un estudio realizado por Muñoz et al. (2013) se señala la relevancia sobre relacionar con fenómenos o situaciones de la vida cotidiana (para esta propuesta los alumnos analizaron el movimiento de un ser vivo), usando gráficos, para establecer relaciones funcionales entre las variables e interés genuino por conocer a profundidad una determinada temática.

Retomando la génesis de esta propuesta didáctica, la intervención se diseñó con enfoque neuro-educativo, basado en un entorno enriquecido y novedoso, que incluye actividades vinculadas a hacer y crear, apoyando la idea de Séré (2002) sobre

que el pensamiento se hace más robusto y se complementa cuando se hacen juicios y se añade el componente acción, ya que los protagonistas del proceso aprendizaje son los estudiantes, quienes “dirigen su propio aprendizaje, reforzando habilidades como la atención, la motivación, las funciones ejecutivas y las operaciones mentales” (Del Campo, 2018).

Entonces, en este artículo se entiende por neuroeducación el “marco donde se colocarían los conocimientos sobre el cerebro y de cómo este interactúa con el medio que le rodea en su vertiente específica de la enseñanza y el aprendizaje” (Meneses, 2019).

En lo relativo al conocimiento conceptual y gráfico de cinemática de estudiantes universitarios, este reporta dificultades (Dolores et al., 2016; Zavala et al., 2019), por lo que el diseño de experiencias de aprendizaje sobre este tópico es necesario. Al respecto, son escasas las situaciones didácticas en física y con enfoque neuro-educativo aparejadas con la construcción y comprensión de representaciones semióticas (gráficos) en nivel universitario, porque las indagaciones en neurociencia se han enfocado mayormente en investigaciones sobre la escritura, lectura, lenguaje e interpretación en matemáticas (Friel et al., 2001; Radford y André, 2009). Adicionalmente, se requieren más indagaciones en el contexto del aula para el fomento y medición de capacidades cognitivas complejas (Gago y Elgier, 2018).

En este tenor, de acuerdo con Luna y Urban (citados en Dolores et al., 2016), cuando los estudiantes leen e interpretan gráficas de movimiento de un objeto o ser vivo, es muy probable que tengan la capacidad de interpretar gráficas con otros parámetros. Esto es relevante, tanto en el ámbito científico como en el cotidiano, para facilitar la comunicación y entendimiento de resultados numéricos de un grupo o conjunto. Adicionalmente se coincide con la idea de Idoyaga y Lorenzo (2014) respecto a que la naturaleza, diversidad, forma y evolución de las gráficas con el tiempo y con otras variables deben ser consideradas como parte de los contenidos al aprender ciencias, dado que la comprensión gráfica permite desarrollar otras habilidades como lo son resolución de problemas complejos y toma de decisiones.

Así, el potencial de uso del modelo de elaboración de gráficas y experimentos es la interpretación física y matemática que permita a los estudiantes “reconocer, analizar y representar de forma gráfica relaciones involucradas en un fenómeno” (Molina et al., 2018). Además las gráficas, al ser representaciones semióticas permiten, que el alumno haga un esbozo mental del fenómeno bajo estudio.

Algunas de las habilidades que pretenden fomentarse con esta intervención con enfoque neuroeducativo son aquellas competencias que menciona la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], requeridas para el siglo XXI por todo profesionista, “capacidades de pensamiento de orden superior, resultados de aprendizaje profundos y capacidades complejas de pensamiento y comunicación” (Scott, 2015).

Entonces, el modelo instruccional ADDIE puede ser definido como “un proceso sistémico con actividades interrelacionadas que nos permiten crear ambientes que realmente faciliten, de forma mediada, los procesos de construcción del conocimiento” (Belloch, 2017). En este sentido, las personas, para transformar el pensamiento en acción, requerimos de una estructura secuencial, según García y Esteves (citados en Muñoz et al., 2013). Por ello es importante que las mencionadas actividades estimulen procesos cognitivos, la toma de decisión por parte del profesor sobre cuál actividad es más fructífera, y la secuenciación debería estar basada en neurociencia.

Es por lo anterior que, haciendo uso de la neurociencia cognitiva, se diseñó esta intervención didáctica, teniendo como premisa que una secuencia didáctica no es suficiente, se requiere de actividades estimulantes, retadoras y de interés para el alumnado, por lo que, si se conoce que hay actividades que desarrollan funciones ejecutivas, entonces se debe promover su implementación en las aulas.

Se precisa que este modelo ha sido utilizado para la enseñanza de tópicos de física en nivel universitario para la instrucción en las condiciones de virtualidad de forma exitosa (Jiménez et al., 2016; Escobar y Ramírez, 2021).

De lo antes expuesto, con base en el modelo estadístico se plantean las siguientes hipótesis, donde μE , y μC son, respectivamente, el puntaje de los grupos experimentales y de control:

Hipótesis nula (H_0): Con el modelo ADDIE *no* se logra comprensión notable de gráficas cinemáticas con los grupos experimentales de estudiantes de la ESIQIE.

$H_0: \mu E = \mu C \rightarrow$ Hipótesis nula, no hay diferencias significativas en los puntajes después de ADDIE.

Hipótesis alternativa (H_{01}): Con el modelo ADDIE se logra comprensión notable de gráficas cinemáticas con el grupo de control de estudiantes de la ESIQIE.

$H_{01}: \mu E \neq \mu C \rightarrow$ Hipótesis alternativa, hay diferencias significativas entre los puntajes después de ADDIE.

La investigación se realizó en la ESIQIE del IPN, el objetivo de la investigación fue medir el nivel de logro de los estudiantes de la ESIQIE en el ciclo 2021-2, debido al diseño instruccional basado en el modelo ADDIE con enfoque neuro-educativo para la unidad de aprendizaje Mecánica Clásica, en específico para el tópico “Gráficas cinemáticas”. Conjuntamente, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál será el efecto en el entendimiento de las gráficas cinemáticas utilizando el modelo ADDIE con enfoque neuro-educativo?

METODOLOGÍA

El enfoque metodológico fue mixto, tal como sugieren Ravet y Williams (2016), para establecer puentes, explicaciones y la comprensión basadas en hechos científicos entre la neurociencia y la educación. Con enfoque cuantitativo y diseño cuasi-experimental,

se utilizaron tres grupos experimentales y uno de control, realizando el análisis estadístico inferencial a través de la prueba Z y con enfoque cualitativo, se utilizó enfoque descriptivo a partir de los resultados, se analizaron e interpretaron los hallazgos de todo el proceso, de los productos de aprendizaje de los estudiantes, que en la sección de resultados se describen.

Desde el punto de vista cuantitativo, la variable independiente es el uso del modelo ADDIE y la variable dependiente es el nivel de comprensión del tema “Gráficos cinemáticos” (puntaje obtenido por cada alumno de cada grupo).

El modelo estadístico que se utiliza es para poblaciones normales con varianzas conocidas y estableciendo si existen diferencias entre dos medias con un nivel de significancia de 0.05, ya que se cumplió con el criterio de que las muestras fueron mayores de 30 individuos y eran independientes. Se empleó la definición de la desviación estándar mencionada por Devore (2009), es decir, la diferencia entre dos medias como lo indica la ecuación 1:

$$\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{m} + \frac{\sigma_2^2}{n}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Y para realizar el cálculo de la estandarización de la media muestral, mediante la ecuación 2:

$$Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{m} + \frac{\sigma_2^2}{n}}} \quad \text{Ecuación 2}$$

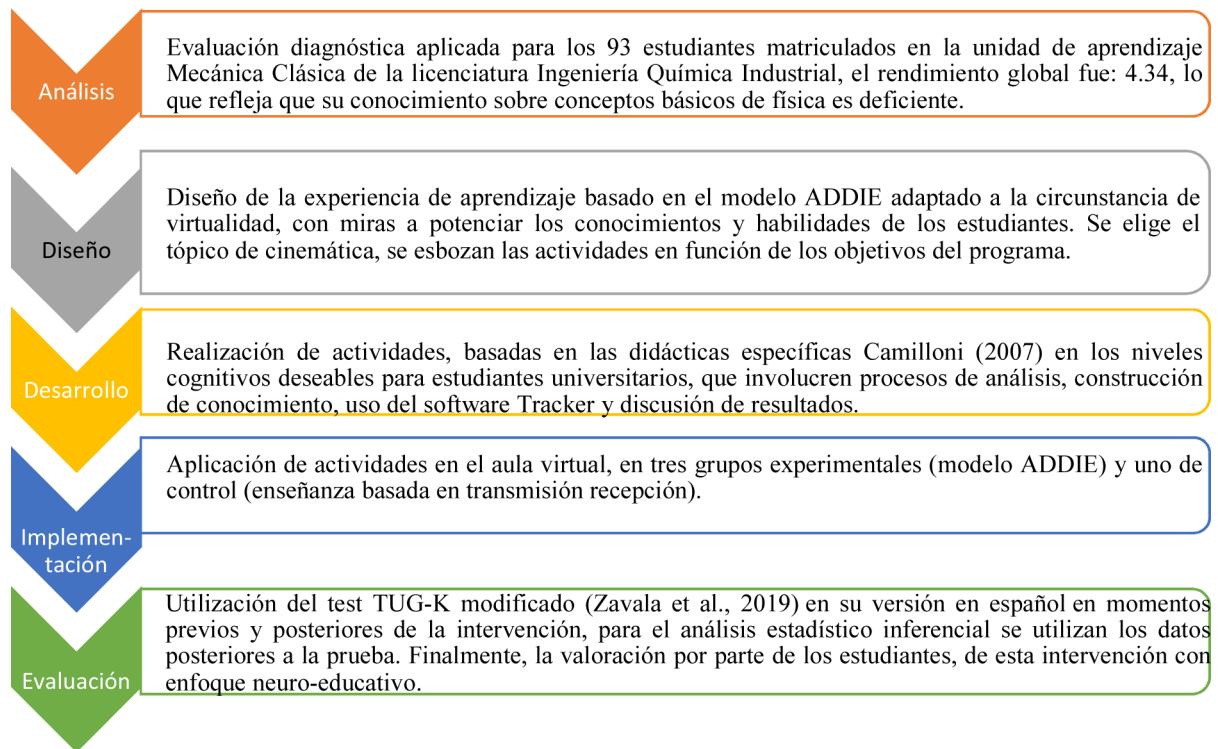
Donde $\bar{X} - \bar{Y}$ son los promedios de la prueba posterior para el grupo experimental y de control respectivamente y $(\mu_1 - \mu_2)$ representa la diferencia hipotética de las medias de la población.

Uso del modelo ADDIE para la virtualidad

Se diseñaron redes de actividades propicias para ambientes virtuales, aparejados con la neuroeducación, focalizando la construcción e interpretación de gráficos cinemáticos (ver Figura 1).

Figura 1

Detalle de la implementación del modelo ADDIE



Fuente: Construcción personal.

Contexto

Esta intervención se efectuó en las aulas virtuales de la ESIQIE, acreditadas para dar continuidad académica a los planes y programas de estudio en el IPN, en México. Los datos sociodemográficos del grupo experimental son: 45.6% hombres; 53.2% mujeres, el resto prefirió no clasificarse en algún género. La edad promedio del grupo es de 18.41, con un rango de 17 a 24 años. Todos los alumnos son de nuevo ingreso; dos de los grupos experimentales son estudiantes de Ingeniería Química Industrial y el otro de Ingeniería en Metalurgia y Materiales.

Instrumentos

- Test TUG-K Gráficas-Cinemáticas, con validación y confiabilidad de contenido y traducido al español de Zavala et al. (2019).
- Rúbrica de evaluación de foros; elaboración propia.
- Rúbrica de evaluación de los gráficos, tomada y adaptada de Dolores et al. (2016).
- Encuesta de valoración de la intervención; elaboración propia.

Vinculación con la neuroeducación

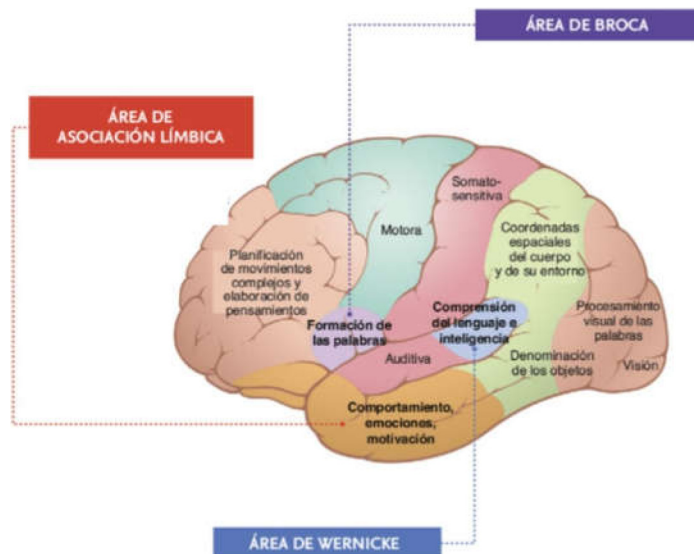
En relación con la vinculación de la neuroeducación, se parte de la siguiente premisa: la disciplina encargada de explicar tanto la identificación y la relación que existe entre los estímulos provenientes de los órganos de los sentidos (oído, tacto, gusto, olfato y vista) con los niveles de activación cerebrales es la neurociencia (Ospina, 2014). Acerca de los niveles de activación cerebrales, es posible conocerlos con tecnologías, tales como: medidor de diámetro pupilar, analizador de expresiones faciales, electroencefalografía, tomografía axial computarizada, imágenes por resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones e imagen por resonancia magnética funcional (Díaz, 2011).

Las tecnologías anteriormente mencionadas suministran el entendimiento de las respuestas del cuerpo humano de cara a un estímulo (Restrepo y Vallejo, 2018), esto incluye entornos de aprendizaje. Entonces, tomar decisiones basadas en evidencia científica respecto a cuáles actividades de aprendizaje, eventualmente, podrían ser más efectivas y en esa medida mejorar las experiencias de aprendizaje, es la razón que justifica las redes de actividades concatenadas que, como se explica a lo largo de este artículo, propician un entorno que tiende a la edificación de conocimientos por parte de los alumnos. Al respecto, Dzib (2013) sostiene que las redes neuronales requieren de actividades de aprendizaje, constituyendo la base del aprendizaje.

En la Tabla 1 se describe la vinculación del modelo ADDIE, el proceso cognitivo que se estimula, la actividad solicitada a los estudiantes, así como la activación cerebral reportada por estudios neurocientíficos, enfatizando que el registro de actividad cerebral está ligado a interconexión neuronal y por lo tanto a procesos de aprendizaje, como previamente se mencionó. Para divisar la parte de activación cerebral descrita en la tabla en la columna de la extrema derecha, ver Figura 2.

Figura 2

Partes del cerebro donde se efectúan los procesos cognitivos



Fuente: Guyton y Hall, 2011.

Tabla 1

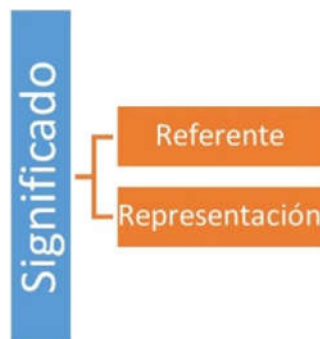
Modelo ADDIE y procesos cognitivos

Vinculación modelo ADDIE, con el proceso cognitivo a desarrollar y justificación	Actividad vinculada a la secuencia didáctica	Parte del cerebro que se activa
Proceso cognitivo: atención sostenida Lectura como ejercicio mental, pues es parte de la reserva cognitiva que permite vincular otros conocimientos (Echavarri, s.f.)	Lectura de un texto científico	Corteza motora y visual (Unik Edu Solution, 2014)
Proceso cognitivo: comprender Recuperar la información, medir la comprensión e interpretación del discurso escrito, resultando una habilidad lingüística, fundamental (Neuron UP, s.f.)	Evaluación de comprensión lectora (control de lecturas)	Corteza visual El área de Wernicke El área de Broca (Mandal, s.f.)
Proceso cognitivo: procesar información para elaborar mapa El cerebro ubica los conceptos en el hipocampo, organizando la información de forma espacial, es decir, crea un mapa de conceptos (Theves et al., 2020) Se espera un modelo semiótico, para reorganizar la información (Colle, 2005) (ver Figura 3)	Elaborar mapa conceptual	Hipocampo (Theves et al., 2020)
Proceso cognitivo: desarrollar pensamiento gráfico, integrando la percepción y movimiento	Graficar el movimiento de un corredor	Corteza y cerebelo (Romero y Delgado, 2020)
Proceso cognitivo: percepción visual. Comprender y evaluar los gráficos. Análisis y justificación	Captar, procesar e interpretar la información del software en tiempo real	Lóbulo occipital, parietal y temporal (CogniFit, s.f.)
Proceso cognitivo: Inferir mediante el paso del pensamiento gráfico al pensamiento conceptual	Analizar y razonar el significado de la gráfica que proporciona el software Tracker, de forma escrita (foro de discusión)	Lóbulo frontal (Hirsh, 2019)

Fuente: Construcción personal.

Figura 3

Modelo que se crea con los mapas conceptuales



Fuente: Construcción personal.

Descripción de la secuencia didáctica propuesta basada en el modelo ADDIE

- Actividad 1. Leer y analizar el compendio de lecturas relativas a biomecánica.
- Actividad 2. Responder el control de lecturas.
- Actividad 3. Elaborar un mapa conceptual, que incluya las definiciones de: biofísica, biomecánica y relación con la cinemática, relevancia para la ciencia y aplicaciones.
- Actividad 4:

Fase 1. Analizar mediante video la locomoción de un ser vivo.

Inicialmente la actividad, denominada “Análisis del movimiento de un corredor”, no estaba contemplada, sin embargo, se incluyó como parte del andamiaje cognitivo, ya que se estimó que era muy probable que los estudiantes no interpretaran los gráficos solo con la visualización de los gráficos generados por el *software* Tracker. De hecho, se considera que un *software* no creará esas conexiones cerebrales, ya que, como refieren los estudios neurocientíficos, para estimular las conexiones neuronales, de los estudiantes, se requieren actividades de aprendizaje focalizadas y específicas para determinados procesos cognitivos, como en la Tabla 1 se describieron con detalle.

Se realizó una explicación del tipo de análisis gráfico que debían hacer los estudiantes y adicionalmente se les proporcionó un video en el que se explicaba a detalle el proceso de construcción del gráfico.

Para la evaluación de esta actividad se considera como criterio la elaboración de la gráfica (ver Tabla 2), considerando que las representaciones semióticas (gráficos) son un tema transversal para la física.

Tabla 2

Niveles de logro para la interpretación de gráficos cinemáticos

Niveles y acciones para interpretar gráficos		
Elemental (Puntaje 1)	Intermedio (Puntaje 2.2)	Alto (Puntaje 3.33)
Identificar variables y ejes correspondientes	Relacionar las pendientes de tangentes con la velocidad y la aceleración	Estimar la velocidad en un intervalo dada la aceleración. Relación de reversibilidad cifrada
Identificar variables y ejes correspondientes, cambio de velocidad, cambio de posición y cambio de tiempo	Identificar intervalos de velocidad negativa, cero y constante	Relacionar y explicar el comportamiento global de las gráficas de distancia, velocidad y aceleración
No realizar estimaciones	Estimar velocidad o aceleración puntual por medio de tangentes	Esbozar y argumentar su relación entre la gráfica de velocidad y aceleración dada la gráfica de distancia

Fuente: Dolores et al. (2016).

De la Tabla 1 se infiere que, si un alumno...

- a) reconoce los ejes correspondientes a las variables, entonces es competente para hacer la determinación de los intervalos en que deben segmentarse ambos ejes.
- b) tiene dificultades para interpretar el significado de la relación de la distancia versus tiempo, velocidad versus tiempo, entonces no será capaz de entender que hay una razón de cambio que origina otra variable, la aceleración.
- c) registra que no hay cambios en la velocidad, entonces identifica que la aceleración es nula y que esto se debe a que la gráfica no tiene variaciones visibles.

Fase 2. Filmar un video del desplazamiento lineal (movimiento rectilíneo uniforme [MRU] y/o movimiento rectilíneo uniformemente acelerado [MRUA]) de una mascota (se sugiere que la mascota sea un perro para unificar el objeto de estudio). Se sugiere video con duración menor a 1 min. Las instrucciones de la fase 2, a continuación:

Persona 1:

- En una superficie sin obstáculos, medir una distancia lineal de 5 m.
- Marca con una línea de cinta adhesiva de color el inicio y el final del recorrido de dicha distancia a modo de que pueda visualizarse claramente en una videograbación.
- Colocar a la mascota en la zona de inicio.

Persona 2:

- Usar un objeto, premio o incentivo para que la mascota se dirija directamente (en recorrido lineal) hacia ti.
- Iniciar el conteo del tiempo de recorrido, al mismo tiempo que das una señal a tu compañero que sostiene a la mascota, para que la suelte. Emplea un cronómetro analógico, que permita determinar tiempo en fracciones de segundo (lo puedes encontrar en tu celular).
- Detener el tiempo del cronómetro cuando observes que la mascota cruza la línea final del recorrido.



Persona 3:

- Filmar el experimento desde un par de segundos antes de que inicie el recorrido de la mascota hasta un par de segundos después de que la mascota terminó el recorrido. Asegúrate de estar en posición perpendicular al punto medio del recorrido a modo de poder filmar adecuadamente el desplazamiento total.

Fase 3. Plantear hipótesis.

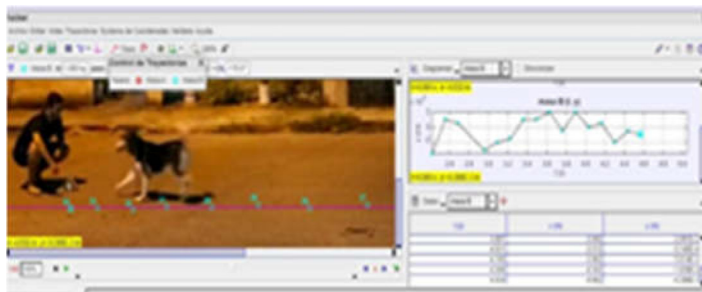
- a) Observar el video que filmó tu equipo y registrar (ver la Figura 4) la información (gráficas y análisis) de distancia (d), tiempo (t) y velocidad (v) que consideres que describa el movimiento de la mascota.

Figura 4*Análisis de las gráficas generadas en Tracker*

Software	Gráfico d vs t	Análisis de la gráfica	Gráfico v vs t	Análisis de la gráfica
Tracker		Durante los primeros 2.5 segundos mantiene un M.U.A, de los 2.5 a los 3 segundos presenta M.U, de los 3 a los 4 segundos vuelve a tomar un M.U.A		Durante 2.5 segundos tiene un M.U.R, del segundo 2.5 a los 3 presenta por segmentos M.U.A, y del 3 a los 4 segundos vuelve a presentar M.U.R

Fuente: Construcción de los estudiantes.

- b) Pausar el video en algún momento durante el desplazamiento y tomar una captura de pantalla (ver Figura 5).

Figura 5*Evidencia de realización del video y análisis en Tracker**Fuente:* Construcción de los estudiantes.*Fase 4. Analizar con software.*

- Descargar e instalar el *software* de análisis de videos y modelado de información Tracker, mediante el siguiente enlace: <https://physlets.org/tracker/>.
 - Cargar la filmación en el *software* de análisis de videos Tracker.
 - Tomar una captura de pantalla de las gráficas de análisis de datos que realiza el *software* Tracker de tu filmación y pegarla en el reporte.
- Actividad 5. A través de un foro de discusión, los alumnos se retroalimentan con base en la rúbrica y la pregunta detonadora: ¿Por qué es importante analizar el movimiento de los seres vivos desde las gráficas cinemáticas? En la Tabla 3 se describen a detalle los aspectos didácticos de la intervención, es decir, la secuencia didáctica.

Tabla 3

Resumen sintético de la secuencia didáctica

Unidad 3. Tema: Cinemática, MRU y MRUA

Objetivos	Sesiones	Actividad	Tipo de trabajo	TIC (Digital)	Tiempo estimado (min)	Valor (%)
1) Conocer qué es biomecánica y su relación con la cinemática	1	Leer artículos científicos vinculados a biomecánica	Individual	Aula virtual	15	NA
2) Comprender los artículos de referencia	1	Control de lecturas	Individual	Aula virtual	10	30
3) Analizar la información consultada	1	Elaborar un mapa conceptual	Individual	Aula virtual	15	5
4) Producir a través de un experimento sencillo un video para analizar la locomoción de una mascota, preferentemente perro	Tarea	Realizar el video y esbozar los gráficos d vs t y v vs t	Equipo	Aula virtual	30	15
5) Analizar con tracker el experimento para visualizar los datos generados y las gráficas	Tarea	Tomar las capturas de pantalla de los gráficos generados y explicar los gráficos d vs t y v vs t	Equipo	Aula virtual	30	40
e) Debatir mediante un foro de discusión grupal, a partir de las preguntas detonadoras	2	Escribir la contribución en el foro de discusión y hacer dos replicas a sus compañeros con una rúbrica de evaluación	Grupal	Aula virtual	30	10

Fuente: Construcción propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y examinan los resultados de los tres grupos con los que se aplicó la intervención, así como los productos de aprendizaje que se pudieron analizar y medir.

Resultados de actividades 1 y 2, lectura analítica y control de lectura

Se diseñó un control de lecturas, tomando como base dos artículos de divulgación sobre biomecánica (De la Cueva, 1996; Silva, 2004), con el objetivo de introducir a los estudiantes al tema de biomecánica y medir el nivel de comprensión explícito, mayormente, del contenido de los artículos (ver Tabla 4).

En la Tabla 4 se observa que la pregunta con más respuestas correctas por parte de los tres grupos fue la 8, cuya respuesta era de tipo dicotómica y se encontraba de forma explícita en el texto; por su parte, la que menos respuestas correctas obtuvo fue la pregunta 4, que era una pregunta basada en una analogía. En el texto se describe un avión y se lo comparó con un ser vivo, se planteó la pregunta de la siguiente manera: “La velocidad de energía mínima de un murciélago en pleno vuelo se debe a una

Tabla 4*Resultados del control de lectura de los 3 grupos experimentales*

Número de pregunta	Porcentaje de alumnos que respondieron correctamente			
	Grupo 1MM11	Grupo 1IM16	Grupo 1IM17	Promedio por pregunta
1	80	77.8	71.4	76.40
2	60	55.6	60.7	58.77
3	80	96.3	96.4	90.90
4	43.3	33.3	25	33.87
5	43.3	51.9	25	40.07
6	53.3	40.7	28.6	40.87
7	93.3	77.8	92.6	87.90
8	96.7	100	100	98.90
9	50	44.4	50	48.13
10	56.7	59.3	57.1	57.70
Promedio por grupo	65.66	63.71	60.68	

Fuente: Construcción propia.

cantidad fija de combustible, para el caso de los animales, su combustible es/son:”; la respuesta correcta era “la grasa”, y varios señalaron como correcta “el alimento”, cuando es evidente que un murciélago no puede comer mientras vuela, así que toma grasa de su cuerpo para poder volar.

Al respecto, se precisa que uno de los problemas graves que tiene México es el bajo nivel de comprensión lectora, vinculado a que solo el 2% de la población tiene el hábito de la lectura, según lo corrobora el Índice de Lectura Mundial de la UNESCO. México aparece en el lugar 107 entre 108 países, de acuerdo con la Universidad de Guadalajara (2018).

Se considera que la lectura de los artículos provee de información clara y entendible, y con base en los resultados producto del control de lecturas, se infiere que cumple con el objetivo de introducir a los estudiantes al conocimiento básico de la biofísica y la biomecánica, ambas disciplinas vinculadas a la cinemática.

Resultados de Actividad 3: elaboración de mapa conceptual

Después de realizar la lectura, los estudiantes construyeron un mapa conceptual con las palabras clave vinculadas a la temática de biofísica y biomecánica. La Tabla 5 muestra los resultados de participación y evaluación promedio de cada grupo. El mapa debía contener definiciones de: biofísica, biomecánica y su relación con la cinemática, la relevancia de la biofísica para la ciencia y aplicaciones. Solo 10% omitió

las aplicaciones. Esta actividad permite gestionar los conceptos clave de la temática biofísica, una problemática es que no todos los estudiantes hicieron la actividad, como se puede apreciar en la Tabla 5, sin embargo, la mayor parte cumplió con los requisitos cualitativos de la asignación.

Tabla 5

Rendimiento de los grupos para la evidencia mapa conceptual

Aspectos	Grupo 1IM11	Grupo 1IM16	Grupo 1IM17
Promedio de evaluación por grupo, de una escala del 0 al 10	9.83	8.38	8.61
Porcentaje de participación	100%	83.27%	87.10%

Fuente: Construcción propia.

Resultados de Actividad 4: análisis gráfico del movimiento de un ser vivo

La Tabla 6 muestra un compendio de la actividad 4, la cual presentó algunas dificultades para los estudiantes, sobre todo para el argumento de la vinculación entre la velocidad y la aceleración. También tuvieron dificultades para hacer las estimaciones de tipo algebraicas.

Tabla 6

Resultados de rendimiento de los estudiantes en la elaboración de gráficas

Aspectos	Grupo 1IM11	Grupo 1IM16	Grupo 1IM17
Promedio de evaluación por grupo, de una escala del 0 al 10	8.38	8.17	7.61
Porcentaje de participación	100%	83.27%	87.10%

Fuente: Construcción propia.

Resultados de Actividad 5: Participar en foro de discusión

Se analizaron las contribuciones de cada estudiante a partir de los aspectos que previamente se les proporcionaron en el aula virtual:

1. Palabras clave asociadas a cinemática/biomecánica (tiempo, velocidad, aceleración, cambio de velocidad, movilidad, etc.).
2. Contenido; el comentario refleja conocimiento, información, e invita a la interacción con otros.
3. Trabajo original (que no esté plagiado). Esto se verificó en el *software* Plagiarism (Plagiarism, s.f.), gratuito y accesible en línea: <https://plagiarismdetector.net/>.
4. Número de réplicas que generó el comentario.

En la Tabla 7 se describe el rendimiento de los estudiantes para esta actividad.

Tabla 7*Análisis de los foros de discusión respecto al tema biomecánica*

Actitud de alumnos ante el foro de discusión	Porcentaje por grupo		
	1IM11	1IM16	1IM17
Máximo desempeño, requerimientos cualitativos y cuantitativos	68.75%	45.16%	45.16%
Desempeño pobre (sus argumentos no tenían relación con el tema y no se enfocaron)	12.5%	22.58%	35.48%
No realizaron la actividad	18.75%	32.26%	19.35%

Fuente: Construcción propia.

A pesar de ser una actividad relevante para el proceso de aprendizaje, fue la actividad que causó menos interés, nos percatamos de que para los estudiantes expresar sus ideas por escrito representa una demanda cognitiva alta, hay estudios que señalan que los estudiantes tienen dificultades para construir su conocimiento en el nivel explicativo, es decir, interpretativo (Velásquez et al., 2009). Algo que se debe destacar es que ningún estudiante recurrió a la deshonestidad académica, todos los argumentos fueron verificados en el *software* antiplagio Plagiarism, gratuito y de acceso abierto; sin embargo, sí se presentaron algunos casos de alumnos que optaron por no realizar la actividad, se considera que se debe a la dificultad para expresar sus ideas o quizá a apatía.

Resultados, con estadística inferencial, sobre la ganancia conceptual medida con el Test TUG-K Gráficas-Cinemáticas

Se hizo uso del test TUG-K, con validación cuantitativa (Zavala et al., 2019), para medir las diferencias entre el grupo de control al que se le instruyó de forma tradicional el tema de gráficas cinemáticas, con respecto a los tres grupos experimentales a los que se les aplicó la intervención, teniendo como constante en todos los grupos la explicación inicial por parte de la profesora sobre la metodología de construcción de gráficas, así como el comportamiento de las variables distancia, velocidad y aceleración a través de una simulación.

Los datos se analizaron con la función complementos para analizar datos de Microsoft Excel 2016, aplicando la función “Prueba Z para medias de dos muestras”, con un 95% de confianza. Se analiza el efecto de esta propuesta articulada con estadística inferencial, mediante una prueba de hipótesis de dos colas de la diferencia entre dos medias con un nivel de significancia del 0.05, relativo a la mejora del conocimiento de gráficas cinemáticas. Como se describió en el apartado de metodología, dado que cumple con el criterio de que ambas muestras son mayores a 30 individuos (para nuestro caso son 93, pero solo participaron 90 de forma activa) de los grupos 1MM11, 1IM16 y 1IM17; 31 estudiantes, del grupo 1V32 y son muestras independientes (ver Tabla 8).

Tabla 8

Prueba Z para medias de dos muestras

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2
Media	36.111	39.899
Varianza (conocida)	10.137	13.038
Observaciones	31	90
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z	-2.650	
P(Z<=z) una cola	0.194	
Valor crítico de z (una cola)	1.645	
Valor crítico de z (dos colas)	1.960	

Fuente: Construcción propia.

Por lo tanto, de acuerdo con el valor calculado de $z = -2.65$ no está en la región de rechazo ($-1.96 < -2.65 < 1.96$), por lo tanto, la hipótesis nula no puede ser rechazada, se acepta y, entonces, los datos apoyan que no hubo diferencias entre los grupos experimentales y el grupo de control.

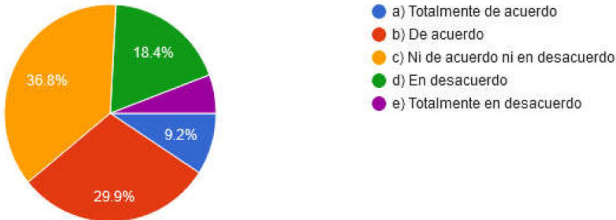
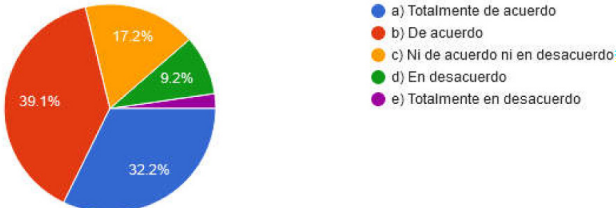
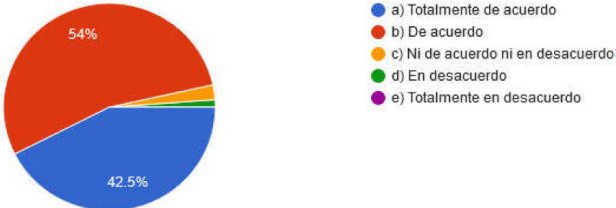
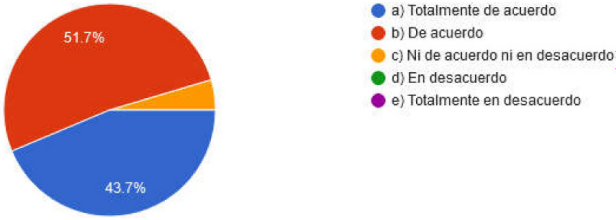
Valoración de los estudiantes acerca de la intervención basada en neuroeducación

Se aplicó una encuesta diseñada exprofeso para valorar la intervención, las preguntas se encaminaron a medir el nivel la percepción de los estudiantes de los tres grupos experimentales. Dado que no podemos conjeturar que los estudiantes diferencian la divergencia entre cada una de las escalas de medición Bertram (2006), las respuestas emitidas por los 87 estudiantes que participaron en esta medición se evaluaron individualmente, para cada pregunta se brindaron respuestas con cinco niveles de medición, estos fueron: totalmente de acuerdo, de acuerdo, ni de acuerdo, ni en desacuerdo, en desacuerdo y totalmente en desacuerdo. Las tres primeras respuestas se ubican dentro del espectro positivo, señala QuestionPro (s.f.). En la Tabla 9 se analizan las respuestas.

Si bien la Tabla 9 está basada en la apreciación de los estudiantes, y los datos deben tomarse con cautela, Anderson et al. (2018) analizaron el aprendizaje de 23 estudiantes universitarios en un entorno educativo aplicado, haciendo uso de los datos proporcionados por un electroencefalograma (EEG) durante los módulos de aprendizaje, y encontraron que con entornos educativos enriquecidos todos los estudiantes adquieren experiencia perceptiva, como el 100% de nuestros estudiantes lo declaran explícitamente y se evidencia en sus respuestas, en la pregunta 9.

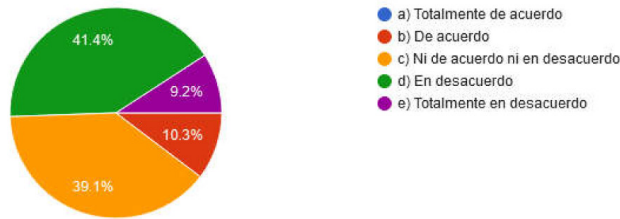
Tabla 9

Análisis de la encuesta de satisfacción de los grupos experimentales: 1MM11, 1IM16 y 1IM17

Pregunta y gráficos de respuesta de los estudiantes	Intención de la pregunta	Análisis
<p>1. Antes de este curso, tenías conocimiento de las gráficas cinemáticas y su interpretación:</p> <p>87 respuestas</p>  <ul style="list-style-type: none"> a) Totalmente de acuerdo b) De acuerdo c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo d) En desacuerdo e) Totalmente en desacuerdo 	<p>Conocimiento previo del tema</p>	<p>24% de los estudiantes no tenía conocimientos de gráficos cinemáticos</p>
<p>2. Respecto al uso de Tracker [software para modelar y analizar gráficamente fenómenos físicos], consideras que ayudó a mejorar tu conocimiento sobre gráficas cinemáticas:</p> <p>87 respuestas</p>  <ul style="list-style-type: none"> a) Totalmente de acuerdo b) De acuerdo c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo d) En desacuerdo e) Totalmente en desacuerdo 	<p>Utilidad del <i>software</i> para construcción del conocimiento</p>	<p>88.5% de los alumnos señala que el <i>software</i> ayudó a mejorar su conocimiento sobre gráficos cinemáticos</p>
<p>3. Desde tu opinión las actividades ayudaron a construir y/o ampliar tu conocimiento sobre biofísica y gráficos cinemáticos:</p> <p>87 respuestas</p>  <ul style="list-style-type: none"> a) Totalmente de acuerdo b) De acuerdo c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo d) En desacuerdo e) Totalmente en desacuerdo 	<p>Utilidad del modelo ADDIE y la neuroeducación para mejorar conocimiento del tema específico biofísica y gráficos cinemáticos</p>	<p>96.5% de los alumnos evalúa como útil la secuencia didáctica para ampliar su conocimiento sobre el tema</p>
<p>4. Consideras que la secuencia didáctica [actividades de aprendizaje propuestas], ayudaron a desarrollar habilidades, tales como, Información como fuente: búsqueda, selección, evaluación y organización de la información</p> <p>87 respuestas</p>  <ul style="list-style-type: none"> a) Totalmente de acuerdo b) De acuerdo c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo d) En desacuerdo e) Totalmente en desacuerdo 	<p>Evaluación del desarrollo de habilidad gestión de la información</p>	<p>100% tiene una valoración positiva sobre la gestión de la información, con la secuencia didáctica propuesta</p>

5. Conocías la utilidad de las gráficas cinemáticas y el comportamiento gráfico del movimiento de un organismo vivo [mascota]:

87 respuestas

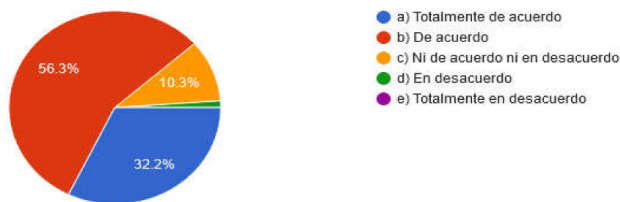


Conocimiento de la utilidad de la biomecánica y los gráficos

50.6% señala que no conocía la utilidad de la alfabetización gráfica y la relación con la biofísica y biomecánica

6. Consideras que la secuencia didáctica [actividades de aprendizaje propuestas], ayudaron a desarrollar habilidades, tales como: Información como producto: la reestructuración y modelaje de la información y el desarrollo de ideas propias (conocimiento).

87 respuestas

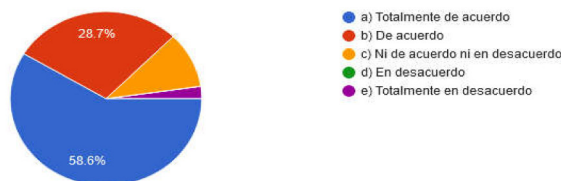


Evaluación del modelo ADDIE y neuro-educativo

98.8% considera que la secuencia didáctica ayuda a desarrollar habilidades

7. Recomendarías a otro profesor diseñar secuencias didácticas, que vinculen temas modernos de la Unidad de Aprendizaje, usar software, lectura de artículos, controles de lectura, análisis de situaciones reales.

87 respuestas

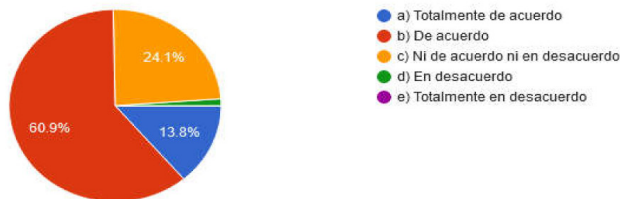


Interés sobre seguir aprendiendo bajo el esquema neuro-educativo

La mayoría de los estudiantes muestran interés en continuar aprendiendo bajo este esquema

8. Mientras realizabas cada una de las actividades, consideras que estuviste atento [concentrado leyendo, indagando, filmando, graficando, analizando, discutiendo, redactando]:

87 respuestas

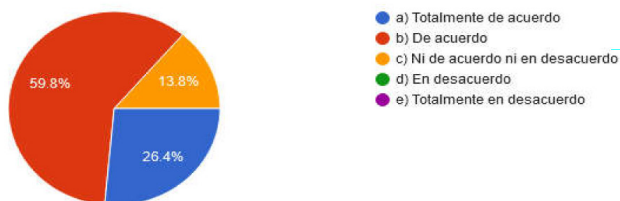


Evaluación de la función ejecutiva: "atención"

98.8% de los estudiantes consideran que con las actividades se desarrolló, la función ejecutiva: "atención"

9. Consideras que con el análisis de los gráficos cinemáticos del corredor y de la mascota pudiste recibir, interpretar y comprender, el movimiento de los seres vivos:

87 respuestas



Evaluación de la función ejecutiva: "percepción"

100% de los estudiantes, evalúan de forma positiva la eventual estimulación de la "percepción"

Fuente: Construcción propia.

Por su parte Theves et al. (2020), a través de un estudio con 32 estudiantes universitarios, producto de los datos relacionados con resonancia magnética funcional, muestran que el hipocampo organiza nueva información en una representación similar a un mapa en apoyo del aprendizaje de conceptos, así con la realización de mapas conceptuales, se coadyuva a que el hipocampo, procese y codifique, ya que puede extraer información conceptual. Es decir, el estudiante al recuperar, resolver, visualizar, gestiona la información, como el 100% de nuestros estudiantes expresan haberlo conseguido con la intervención neuro-educativa (ver respuestas de la pregunta 4 en Tabla 9).

CONCLUSIONES

- a) Se logra diseñar una intervención educativa que vincula los hallazgos de la neurociencia aplicados en un aula universitaria, privilegiando el desarrollo de procesos cognitivos tales como: atención sostenida, comprensión, procesamiento de información y desarrollo de pensamiento gráfico, por lo que esta propuesta didáctica, además de estar basada en evidencia científica, puede ser replicable en otros contextos.
- b) Los estudiantes conocen un tema de física moderna, la biomecánica, y también tienen nociones elementales de las gráficas cinemáticas y su interpretación, acreditando el fomento de la alfabetización gráfica. Igualmente, hay evidencia del fomento a las vocaciones científicas en los estudiantes, toda vez que tanto la alfabetización gráfica como la alfabetización científica son competencias relevantes para una ciudadanía proactiva, responsable y crítica, porque comprende e interpreta a partir de hechos y datos científicos.
- c) Desde el aspecto cuantitativo, no hay mejoras notables con la propuesta basada en el modelo ADDIE. Desde la perspectiva cualitativa, se comprende que el cerebro es capaz de modificar información de entrada y salida, en la medida que se le estimule con actividades basadas en evidencia proporcionada por la neurociencia.
- d) A través de esta intervención se indaga, se utiliza *software* especializado, los alumnos diseñan un experimento, es decir, la estimulación de habilidades como colaboración, discusión y análisis es patente; habilidades vinculadas a procesos cognitivos, que se efectúan a nivel neuronal y que se pueden desarrollar a través de diferentes formas de adquirir información para procesarla, entenderla y aplicarla, gracias a la plasticidad neuronal, como revelan estudios neurocientíficos.
- e) Esta investigación es parteaguas al menos en la ESIQIE, donde el uso de la neuroeducación en las aulas, hasta antes de esta indagación, era nulo, demostrando que es necesario secuenciar actividades para estimular procesos cognitivos para el aprendizaje de las ciencias (física); dando pie a considerar la necesidad de explorar para futuras investigaciones con tecnología (diademas detectoras de actividad cere-

bral o analizador de expresiones faciales) para que, con base en datos proveniente directamente de los receptores de estímulos, se establezcan diseños instruccionales y actividades de aprendizaje pertinentes y congruentes con el nivel educativo que se imparte, disminuyendo el subjetivismo para la toma de decisiones en el aula.

- f) Hay evidencia empírica sobre el desarrollo de habilidades de orden superior e interés por aprender, de acuerdo con la opinión y valoración de los estudiantes, por lo tanto, hay una contribución en el aula de la neurociencia y la educación. A la luz de estos resultados se infiere que la neuroeducación permite estimular el aprendizaje de los estudiantes; si bien este análisis no es a nivel neuronal, aporta desde el enfoque educativo y social.

REFERENCIAS

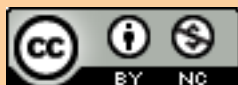
- Anderson, S., Hecker, K., Krigolson, O., y Jamniczky, H. (2018). A reinforcement-based learning paradigm increases anatomical learning and retention—A neuroeducation study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(38), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00038>
- Belloch, C. (2017). *Diseño instruccional. Unidad de Tecnología Educativa. Universidad de Valencia*. <https://www.uv.es/bellochc/pedagogia/EVA4.pdf>
- Bertram, D. (2006). *Likert Scales: CPSC 681—Topic Report. Poincare*. <http://poincare.matf.bg.ac.rs/~kristina/topic-dane-likert.pdf>
- Camilloni, A. (2007). Didáctica general y didácticas específicas. En A. Camilloni (ed.), *Buenos Aires: el saber didáctico* (pp. 23-39). Paidós.
- Colle, R. (2005). El proceso semiótico, en un enfoque cognitivo. *Revista Latina de Comunicación Social*, 8(60), 1-7. <http://www.revistalatinacs.org/200525colle.pdf>
- CogniFit (s.f.). *Partes del cerebro. Anatomía del cerebro*. <https://www.cognifit.com/es/partes-del-cerebro>
- Chiliquinga, M., y Masaquiza, R. (2019). Estimulación neurocognitiva y aprendizaje de la lengua ancestral Kichwa. *Revista Científica*, 4(14), 286-307. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.14.14.286-307>
- De la Cueva, H. (1996). La biomecánica. *Ciencias UNAM* (42), 26-32. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/42/CNS04205.pdf>
- Del Campo, A. (2018, oct. 2). *Neurodidáctica, la tendencia que cambiará la educación*. <https://www.iebschool.com/blog/neurodidactica-tendencia-educacion-innovacion/>
- Devore, J. L. (2009). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Cengage Learning Editores.
- Díaz, P. (2011). Implicaciones de las técnicas de medición de la actividad cerebral en la cognición: ¿el tiempo o el espacio? *Revista de Psicología de la Universidad de Chile*, 17(1), 87-100. <https://doi.org/10.5354/0719-0581.2008.17143>
- Dolores, C., Rivera M., y Tejada Y. (2016). Una experiencia didáctica con incidencia en la interpretación de gráficas cinemáticas. *Revista de la Escuela de Ciencias de la Educación*, 2(11), 129-154. <https://doi.org/10.35305/rece.v2i11.264>
- Duval, R. (2004). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Universidad del Valle.
- Dzib, A. (2013). La evolución del aprendizaje: más allá de las redes neuronales. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 8(1), 20-25. <https://www.redalyc.org/pdf/1793/179328394004.pdf>
- Echavarrí, D. (s.f.). *La lectura desde la neurociencia*. <https://fundaciongsr.org/wp-content/uploads/2018/03/Neurociencia-y-lectura.pdf>
- Escobar, F., y Luna, V. (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., y Ramírez, M. (2021). Diseño instruccional para el aprendizaje del campo eléctrico. En M. Sánchez, G. Vázquez, A. Martínez, C. Solano y E. Ramos

- (eds.), *Tomo V: Humanidades, ciencias de la conducta y divulgación científica* (pp. 106-118). Temacilli Editorial.
- Escobar, F., Ávila, G., y Suárez, L. (2021). Herramientas para la implementación del ABP y DIPCING en ingeniería en una modalidad híbrida. *Sinéctica, Revista Electrónica de Educación*, (58), e1343. [https://doi.org/10.31391/S2007-7033\(2022\)0058-009](https://doi.org/10.31391/S2007-7033(2022)0058-009)
- Friel, S. N., Curcio, F. R., y Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(2), 124-158. <http://www.jstor.org/stable/749671>
- Gago, L., y Elgier, Á. (2018). Trazando puentes entre las neurociencias y la educación. Aportes, límites y caminos futuros en el campo educativo. *Psicogente*, 21(40), 476-494. <https://doi.org/10.17081/psico.21.40.3087>
- Guyton, A., y Hall, J. E. (2016). *Tratado de fisiología médica*. Elsevier Health Sciences.
- Hirsch, L. (2019). *El cerebro y el sistema nervioso*. <https://kidshealth.org/es/teens/brain-nervous-system.html#:~:text=El%20%20%20%20%20%20frontal%20est%20%20%20%20ubicado,de%20decisiones%20y%20el%20razonamiento>
- Ibarrola, B. (2014). *Aprendizaje emocionante: neurociencia para el aula*. Ediciones SM España.
- Idoyaga, I., y Lorenzo, M. (2014). Las representaciones gráficas en la enseñanza y en el aprendizaje de la física en la universidad. *Revista Enseñanza de la Física*, 32(1), 129-138. <https://acortar.link/7kLWza>
- IPN [Instituto Politécnico Nacional] (2021). *Programa Institucional de Mediano plazo 2021-2023*. <https://www.ipn.mx/assets/files/coplaneval/docs/Planeacion/PIMP2123.pdf>
- Jiménez, F. N., Márquez C., Agudelo, J., Beleño L., Leyton, H., y Muñoz, J. (2016). Una experiencia didáctica en el diseño e implementación de objetos de aprendizaje para la enseñanza de la física. *Revista Educación en Ingeniería*, 11(22), 13-20. <https://doi.org/10.26507/rei.v11n22.632>
- Llenas, H. (2019, dic. 23). Educación 2019: buenas y malas noticias. *Hoy en Delaware*. <http://hoyendelaware.com/educacion-2019-buenas-y-malas-noticias/>
- Mandal, A. (s.f.). Lenguaje y cerebro humano. *News Medical Life Science*. [https://www.news-medical.net/health/Language-and-the-Human-Brain-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Language-and-the-Human-Brain-(Spanish).aspx)
- Méndez, J. (1999). *Biofísica*. <https://www.fis.cinvestav.mx/~jmendez/JMMA/biofisica.pdf>
- 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>
- Molina, J., Villa, J., y Suárez L. (2018). La modelación en el aula como un ambiente de experimentación-congraficación-y-tecnología. Un estudio con funciones trigonométricas. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 11(1), 87-115. <https://www.revista.etnomatematica.org/index.php/RevLatEm/article/view/506/427>
- Muñoz, J., Vales, F., y Cassibba, R. (2013). Por qué es necesaria una didáctica de la Biofísica. *Analesafa*, 23(1), 1850-1168. <https://doi.org/10.31527/anale-safa.2013.23.1.20>
- NeuronUP (s.f.). *Memoria, ¿qué es la memoria?* <https://www.neuronup.com/areas-de-intervencion/funciones-cognitivas/memoria/>
- Ospina, L. (2014). Neuromarketing. En *Seminario de Grado*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Plagiarism (s.f.). <https://plagiarismdetector.net/>
- Questionpro (s.f.). *¿Qué es la escala de Likert y cómo utilizarla?* <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-escala-de-likert-y-como-utilizarla/>
- Radford, L., y André, M. (2009). Cerebro, cognición y matemáticas. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 12(2), 215-250. <https://www.redalyc.org/pdf/335/33511498004.pdf>
- Ravet, J., y Williams, J. (2016). What we know now: Education, neuroscience and transdisciplinary autism research. *Educational Research*, 59(1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1080/00131881.2016.1272429>
- Restrepo, S., y Vallejo, S. (2018). Neurociencia y toma de decisiones: estrategias de avanzada en educación. En H. Quintero, S. Vargas y E. Iglesias (eds.), *Neuroeducación: trazos derivados de investigaciones iniciales* (pp. 103-135). Editorial SedUna.
- Romero, S., y Delgado, D. (2020). Datos y curiosidades del cerebro. *Muy interesante*. <https://www.muyinteresante.es/salud/fotos/datos-y-curiosidades-del-cerebelo/la-funcion-del-cerebelo>
- Scott, C. L. (2015). *El futuro del aprendizaje 2. ¿Qué tipo de aprendizaje se necesita en el siglo XXI?* UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000242996_spa

- Séré, M. G. (2002). La enseñanza en el laboratorio: ¿qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368. <https://core.ac.uk/download/pdf/38990709.pdf>
- Sierra, E., y León, M. (2019). Plasticidad cerebral, una realidad neuronal. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 23(4), 599-609. <http://www.revcompinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/3866>
- Silva, A. (2004, may.). Biomecánica. *1er encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia*. Guanajuato, México. http://congresos.cio.mx/1_enc_mujer/index.htm
- Theves, S., Fernández, G., y Doeller, C. F. (2020). The hippocampus maps concept space, not feature space. *Journal of Neuroscience*, 40(38), 7318-7325. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0494-20.2020>
- Unik EduSolutions (2014, sep. 2). *How does the reading brain work?* [archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=5kB7GgLR7M>
- Universidad de Guadalajara (2018). *México, en el lugar 107 de 108 en índice de lectura*. <https://www.udgvirtual.udg.mx/noticia/mexico-en-el-lugar-107-de-108-en-indice-de-lectura-unesco>
- Velásquez, B., De Cleves, N., y Calle, M. (2009). El cerebro que aprende. *Tabula Rasa*, 11(0), 329-347. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/tabularasa/article/view/1473>
- Vega, N., y Villegas, G. (2021). Aportaciones de la neurociencia cognitiva y el enfoque multisensorial a la adquisición de segundas lenguas en la etapa escolar. *Revista de Didáctica Español Lengua Extranjera*, (32), 1-20. <https://www.redalyc.org/journal/921/92165031012/html/>
- Zavala, G., Barniol, P., y Tejeda, S. (2019). Evaluación del entendimiento de gráficas de cinemática utilizando un test de opción múltiple en español. *Revista Mexicana de Física E*, 65(2), 162-181. <https://rmf.smf.mx/ojs/index.php/rmf-e/article/view/595/4333>

Cómo citar este artículo:

Escobar Moreno, F., y Romero Vargas, S. (2022). El aprendizaje de gráficas cinemáticas a través del modelo ADDIE utilizando un enfoque neuro-educativo. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 13, e1554. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v13i0.1554



Todos los contenidos de *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH* se publican bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional, y pueden ser usados gratuitamente para fines no comerciales, dando los créditos a los autores y a la revista, como lo establece la licencia.