

Ballesta-Claver, J., Sosa Medrano, I., Gómez Pérez, I.A. & Ayllón Blanco, M.F. (2024). Propuesta neuroeducativa para un aprendizaje tecno-activo de la enseñanza de las ciencias: un cambio universitario necesario. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 27(3), 35-50.

DOI: <https://doi.org/10.6018/reifop.614881>

Propuesta neuroeducativa para un aprendizaje tecno-activo de la enseñanza de las ciencias: un cambio universitario necesario.

Julio Ballesta-Claver, Isarel Sosa Medrano, Isabel A. Gómez Pérez, M^a Fernanda Ayllón Blanco

Centro de Magisterio La Inmaculada (CMLI). Universidad of Granada, 18013, Granada, España

Resumen

En la enseñanza de las ciencias existe una ausencia de orientaciones neuroeducativas y de recursos afines por ser un área reciente, siendo necesario comprobar si pueden mejorar la enseñanza universitaria. Para ello, se realizó una propuesta neuroeducativa constructivista a través de un aprendizaje basado en la indagación, en donde se utilizaron diferentes recursos integrados en una serie de actividades, para 77 futuros profesionales de la educación primaria.

La efectividad de la propuesta se valoró mediante el empleo de tres cuestionarios: 1) dos cuestionarios ad-hoc de contenido y 2) otro basado en una escala neuroeducativa tipo Likert fiable ($\alpha_{\text{Cronbach}} = 0,968$) y validada ($KMO = 0,934$), en donde se midieron las dimensiones más notorias. El estudio se basó en un diseño pre-experimental pretest-postest utilizando pruebas no paramétricas de contraste (Wilcoxon), logrando un gran tamaño de efecto (valores medios: pretest = $4,17 \pm 1,40$; postest = $6,55 \pm 0,53$; $z = 7,568$; $p < 0,001$; $r = 0,862$), destacándose la importancia de las emociones en la indagación, utilizando la novedad, lo que potenció la atención y el desarrollo de las funciones ejecutivas, dando como resultado una propuesta efectiva, viable y práctica.

Palabras clave

Neuroeducación; recursos de enseñanza; didáctica de las ciencias; aprendizaje basado en la indagación.

Contacto:

Julio Ballesta-Claver. Email: juliosci@cmlis.es, Centro de Magisterio La Inmaculada, centro adscrito a la Universidad de Granada. C/ Joaquina Eguaras, 114 – 18013. Granada (España).

Esta investigación se ha llevado a cabo gracias a la concesión de una beca de colaboración del ministerio de educación y formación profesional.

A neuroeducational proposal for techno-active learning in science education: a necessary university change

Abstract

In the field of science education, there is a lack of neuroeducational guidelines and resources. This is because it is a relatively new area of study. It is important to investigate whether these guidelines and resources can improve university-level teaching. To address this issue, a constructivist neuroeducational approach was taken using inquiry-based learning. This involved the integration of various resources into a set of activities for 77 future professionals in primary education.

The proposal's effectiveness was evaluated using three questionnaires: 1) two ad-hoc content questionnaires and 2) a reliable ($\alpha_{\text{Cronbach}} = 0.968$) and validated ($KMO = 0.934$) neuroeducational scale based on Likert scale by measuring the main dimensions. The study was based on a pre-experimental pretest-posttest design using Wilcoxon non-parametric tests, achieving a large effect size (mean values: pretest = 4.17 ± 1.40 ; posttest = 6.55 ± 0.53 ; $z = 7.568$; $p < 0.001$; $r = 0.862$), highlighting the importance of emotions in enquiry using novelty, which enhanced attention and the development of executive functions, resulting in an effective, feasible and practical proposal.

Key words

Neuroeducation; teaching resources; science education; inquiry-based learning.

Introducción

La enseñanza de las ciencias en los grados de educación universitarios, está dando dificultades de comprensión en los futuros docentes debido a un progresivo descenso de los contenidos científico-matemáticos adquiridos en la etapa educativa anterior, fenómeno que se va acentuando con los años (Tierno et al., 2020), lo que implica la necesidad de incrementar este componente, efecto que podría ir en detrimento de la didáctica a enseñar en estos grados. Una solución lo constituye el adoptar metodologías activas en donde la didáctica y el contenido vayan retroalimentándose y complementándose (Silva Quiroz y Maturana Castillo, 2017). Entre ellas encontramos el *Inquiry-Based Learning (IBL)* o *Aprendizaje Basado en la Investigación o Indagación (ABI)*, una forma de enseñanza constructivista en donde se fomenta un aprendizaje basado en la experiencia, el cuestionamiento y la búsqueda de soluciones mediante actividades y recursos didácticos, a la par que se aprende la sistematización de una enseñanza científica, adquiriendo un compromiso (Santana-Vega et al., 2020). Las dos modalidades que más auge tienen en la enseñanza de las ciencias son (Jiménez-Liso et al., 2022; Urdanivia Alarcon et al., 2023):

1) la denominada como IBSE (Inquiry Based-Science Education) o ECBI (Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación). En esta metodología, los alumnos aprenden los contenidos a través de la indagación, lo que incrementa su interés (Strat et al., 2023), empleándose exclusivamente *actividades manipulativas* (Juškevičienė et al., 2021). Tiene, además, diversas modalidades de aplicación (Bogar, 2019): la indagación estructurada, guiada o abierta; el modelo del cambio conceptual; los modelos de las 3E, las 4D, las 5E o las 7E, siendo el de las 5E (empezar, explorar, explicar, elaborar y evaluar) de Rodger Bybee (2016) el más utilizado. Entre las técnicas y recursos encontramos (Bogar, 2019): la resolución

de problemas; realización de experimentos; lluvia de ideas; casos prácticos; debates; pregunta-respuesta; simulación de casos reales; interpretación de roles y grupos de trabajo.

2) la Model-Based Inquiry (MBI) o Indagación Basada en Modelos (IBM) (Martínez-Chico et al., 2014), la cual consiste en construir o modelizar representaciones que describan o predigan fenómenos (Martínez Chico et al., 2015; Schwarz et al., 2009) a través de un conjunto de procedimientos estrechamente relacionados con la actividad y el razonamiento científicos (Schwarz et al., 2022) mediante el ciclo de *crear, probar y revisar modelos*, ofreciendo actividades más mentales que experienciales (*actividades de pensamiento*) (Cooper et al., 2022; Passmore et al., 2009). Los cinco modos de representación de modelos que se suelen emplear son (Gilbert, 2004): el concreto (materiales a escala); el verbal (descripciones, analogías, símiles y metáforas); el visual (representaciones bidimensionales, animaciones, simuladores virtuales y realidad aumentada); el simbólico (expresiones matemáticas) y el gestual (representaciones mediante el empleo del cuerpo humano).

De las dos modalidades de IBL, el MBI es el que más dificultad tiene en su aplicación, debido a que requiere construir modelos propios simplificados de la realidad (Benzer y Ünal, 2021; Oliva, 2019). En la actualidad, existe la tendencia de unificar ambas actuaciones en una sola metodología, como proponen Jiménez-Liso et al. (2022, 2023), en donde primeramente tenga lugar un ciclo de indagación (comparar hipótesis con evidencias para crear conocimiento descriptivo) y, posteriormente, realizar un ciclo de modelización, en donde se reconozca la necesidad de construir un modelo.

Sin embargo, algunas características importantes, como el componente emocional o la metacognición respecto al contenido aprendido (pensar sobre lo que se tiene que pensar) apenas se tienen en cuenta en la enseñanza de las ciencias utilizando estas modalidades del IBL (Jiménez-Liso et al., 2022), lo que dificulta un aprendizaje efectivo y continuado. A modo de respuesta, existe un campo de estudio que incluye estas características, entre otras, para mejorar, con creces, el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estamos hablando de la neuroeducación.

Neuroeducación y didáctica de las ciencias

El vínculo entre las áreas de neurociencia y educación lleva establecido desde hace mucho tiempo. Sin embargo, su impulso no ha tenido lugar hasta hace una década por la complejidad de trasladar los datos neurocientíficos al proceso del aprendizaje (Bhargava y Ramadas, 2022). La neuroeducación es una transdisciplina constituida por las áreas de la psicología, la neurociencia y la educación, la denominada *Mind, Brain and Education* (Ballesta-Claver et al., 2024; Schwartz, 2015). Esta disciplina pretende potenciar el aprendizaje a través de la combinación de diversos factores representativos como la atención, las emociones, la resolución de problemas, etc. junto con hábitos como la dieta, el ejercicio, el sueño, etc. El realizar en el aula retos con contenido emocional y motivacional influencia los procesos cognitivos superiores del aprendizaje, las denominadas *funciones ejecutivas*, permitiendo crear asociaciones cerebrales con las estructuras límbicas, con la peculiaridad de ofrecer unas conexiones neurales más duraderas en el tiempo, potenciando la memoria y, en consecuencia, el aprendizaje (Coumans y Wark, 2024; Fragkaki et al., 2022). Un ejemplo claro de la importancia que tiene el incluir las emociones en la enseñanza de las ciencias, tanto empleando la metodología IBSE como la de MBI descritas en la sección anterior, lo tenemos en el trabajo de Jiménez Liso et al. (2019), en donde se comprobó que la indagación sin emoción suele generar apatía en numerosas ocasiones, sobre todo al crear un modelo científico (MBI), por lo que es necesario incluir una autorreflexión de lo que se va aprendiendo, e incluir momentos en donde las emociones positivas potencien el aprendizaje.

La enseñanza de las ciencias bajo un enfoque neuroeducativo aporta relevancia científica al proceso de aprendizaje, constituyendo un campo relativamente nuevo, siendo aplicado más asiduamente para realizar cambios conceptuales (Ballesta-Claver et al., 2021; Hopkins, 2021; Vaughn et al., 2020). Ofrece un marco conceptual (modelo sobre el cerebro y su relación con el proceso de aprendizaje) que facilita al profesorado la comprensión y planificación de la enseñanza (Howard-Jones et al., 2020). En el aprendizaje de conceptos científicos, la actividad cerebral aumenta en las partes relacionadas con la corteza prefrontal y los parietales laterales, constituyendo la red ejecutiva central. Estas partes involucran a la memoria de trabajo, la atención y las habilidades para resolver problemas (Bhargava y Ramadas, 2022).

La neuroeducación da como resultado la figura del *neuroeducador*, un profesional con el potencial de desarrollar estrategias multidisciplinares y multisensoriales (emociones), con la capacidad de activar varias áreas cerebrales, consiguiendo con ello una participación muy activa en el aula gracias al fomento de la atención (Díaz-Cabriales, 2023; Mora, 2022). Entre sus funciones encontramos la de ser tanto un consultor-asesor de las programaciones y actuaciones pedagógicas como la de constituir una figura erradicadora de neuromitos (Béjar, 2014; Gardner, 2008).

Por tanto, son necesarias actuaciones, actividades y recursos neuroeducativos que tengan en cuenta estas argumentaciones para proporcionar un proceso de intervención eficaz en la enseñanza de las ciencias.

Neuroeducación y recursos

La neuroeducación aconseja utilizar recursos que impliquen la multisensorialidad, la cual incentiva el aprendizaje por medio de las emociones, como se ha comentado anteriormente, posibilitando una indagación experimental (IBSE) diferente si se utilizan elementos motivadores como la curiosidad. Lo mismo ocurre si se emplea esta situación con la modelización (MBI), ya que da lugar a procesos verbales y visuales (imágenes, esquemas y diagramas) con una mayor activación cerebral, produciéndose emociones positivas, lo que a su vez fomenta la atención (Izquierdo y Garrigues, 2019), haciendo posible codificar una información más permanente en la memoria (mayores conexiones neurales) (Fragkaki et al., 2022; Juárez-Varón et al., 2023).

En concreto, para modelizar, los recursos tecnológicos son una muy buena opción. Según la neurociencia, su empleo hace que las conexiones neurales se reorganicen y reestructuren, lo que incita a una mayor activación de la memoria de trabajo gracias a la propiedad de la plasticidad cerebral, mejorando la retención y transferencia de habilidades, lo que repercute positivamente en el rendimiento aritmético (Howard-Jones, 2014; Lai, 2018; Prensky, 2009). Esta ventaja es relegada en las universidades debido a que su estudio y utilización queda postergado a asignaturas optativas de últimos cursos (Tierno et al., 2020), perdiéndose parte de su potencial al emplearse una enseñanza más tradicional (libros junto con la resolución de problemas teóricos). Además, los simuladores virtuales también facilitan que el estudiante pueda construir sus propias estrategias de aprendizaje a través de la manipulación virtual de variables (Atalay y Mutlu, 2023), en donde controlando objetos, tiempo y posiciones se puede disponer de múltiples formas de interactuar (Meza y Moya, 2020; Schleisman et al., 2018). Este recurso permite desarrollar las funciones ejecutivas que ejecutan la resolución de problemas y la toma de decisiones (Latimer et al., 2019; Sousa, 2018), llegando a ser unas prácticas más efectivas que la práctica real en el laboratorio por la inmediatez e interactividad que ofrecen, como de hecho descubrieron Atalay y Mutlu (2023), entre otros autores

(Latimer et al., 2019; Uden et al., 2022), siendo las simulaciones interactivas de código abierto PhET la más comunes (<https://phet.colorado.edu/>), las cuales se emplearán en este trabajo.

A raíz de todo ello, se diseñará una propuesta neuroeducativa indagatoria para la enseñanza de las ciencias en docentes en formación pertenecientes al grado de educación primaria, la cual se concreta en las siguientes secciones.

Metodología

En cada sesión de aula se utilizó la novedad, empleando para ello actividades y recursos diversos como: 1) experiencias discrepantes, esto es, fenómenos físico-químico sorprendentes o inesperados (Friedl, 2000) que indujeran a una indagación (IBSE) inmediata; 2) sesiones de laboratorio, en donde se fomentaba la manipulación activa; 3) videos de fenómenos inesperados, que permitieron abrir un debate para su explicación; 4) formulación de cuestiones, preguntas o dilemas, los cuales incitaron la curiosidad para promover la atención ejecutiva y su consecuente resolución (Sousa, 2018, 2019); 5) la modelización (MBI), la cual pudo resolver conceptos astronómicos (movimientos de cuerpos celestes), aspectos clave sobre didáctica de las ciencias (tema 1) o contenidos de química (átomos e iones, tema 2) en su modalidad visual, a través de: 1) simuladores virtuales interactivos del sitio web PhET de la Universidad de Colorado (<https://phet.colorado.edu/es/simulations/gravity-and-orbits>; <https://phet.colorado.edu/es/simulations/build-an-atom>, entre otros); 2) realidad aumentada, con el cubo Merge (<https://mergeedu.com/>) y 3) maquetaciones (modelos concretos) con materiales de fácil acceso, con el empleo de la ciencia recreativa (García Molina, 2011).

Dependiendo del contenido a impartir, se alternó entre el método IBSE o MBI, así como de recurso a emplear en cada sesión. Para dar significatividad al contenido se utilizó la *transferencia*, esto es, el trasladar el contenido aprendido en el aula a la vida cotidiana y viceversa, empleando para ello múltiples contextos, los cuales permitieron desarrollar habilidades experienciales (multisensorialidad) en el proceso (Cornell Pereira, 2019). Siempre, en todo momento, el profesorado atendió a las cuestiones y necesidades del alumnado, haciendo de agente dinamizador y motivador gracias al fomento de la curiosidad. La duración de la intervención tuvo lugar durante 3 meses.

Objetivos

Los objetivos de este trabajo fueron los siguientes:

- (1) Analizar el efecto de la intervención en las dimensiones neuroeducativas, así como su efecto global.
- (2) Descubrir los aspectos más relevantes del estado inicial y de la intervención (correlaciones, comparaciones estadísticas) y averiguar sus causas.
- (3) Valorar el efecto de la intervención neuroeducativa con respecto al aprendizaje del contenido tanto didáctico como científico.

Participantes

La intervención fue llevada a cabo con 77 futuros profesionales de la educación Primaria del centro de magisterio La Inmaculada (CMLI) de la Universidad de Granada, de edades comprendidas entre 19-47 años, de media 22,01 y desviación estándar de 3,95 ($22,01 \pm 3,95$).

El 37,7 % fueron hombres y el 62,3 % mujeres. En este estudio no se tuvieron en cuenta diferencias de género. Los alumnos provenían de: 1) ciencias experimentales (24,7 %) y 2) humanidades y ciencias sociales (66,2 %) y otros estudios (9,1 %).

Diseño

Se realizó un diseño estadístico pre-experimental pretest-postest sin grupo control (Mcmillan y Schumacher, 2013). La prueba de Shapiro-Wilk dio valores de $p < 0,05$ (p es el valor de la probabilidad expresado sin porcentaje), por lo que se emplearon pruebas no paramétricas de contraste (prueba de Wilcoxon) para la comparación de dimensiones, valores totales y tests, midiéndose, en todos los casos, la significatividad estadística y el tamaño del efecto (r) según el criterio de Cohen (1988): pequeño (0,10 - 0,3), moderado (0,30 - 0,5) o gran efecto ($\geq 0,5$). Para la significatividad de cada dimensión, se utilizó el criterio de Bonferroni ($p < 0,05 / n^\circ$ de ítems). Para ver diferencias dentro de las dimensiones de cada test (pretest, postest), se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes con estudio post-hoc, en los casos de significatividad, junto a sus tamaños de efecto (López-Martín y Ardura, 2023).

Los programas que se emplearon para todo el tratamiento estadístico fueron tanto el programa SPSS (v. 25), como el software libre R (v.4.3.3), bajo programación con RStudio (2023.12.1, versión 402).

Instrumentos

Se empleó como cuestionario principal la *Escala Neuroeducativa para la Planeación y la Intervención Didáctica (ENEPID)*, realizada y validada por Diaz-Cabriales (2023). Este cuestionario presentaba una serie de ítems graduados por una escala Likert de valores de 1 a 7, agrupados en diferentes dimensiones. Se realizó una validez del contenido mediante un juicio de cuatro expertos pertenecientes a diferentes campos (ciencias experimentales, matemáticas y pedagogía) (Martínez Ques et al., 2022) con el objetivo de seleccionar los ítems y dimensiones más adecuados para la intervención. Ello dio como resultado la eliminación tanto de un ítem de la dimensión *atención* (control parasimpático) como el ítem *planificación dual* correspondiente a la dimensión *funciones ejecutivas*. Además, se consideró la eliminación de las dimensiones *neuroaprendizaje*, *neuroevaluación*, *períodos atencionales* y *planeación neurodidáctica* por enfocar más su contenido a la planeación de la enseñanza. Por tanto, de las 11 dimensiones que contenía el cuestionario original, se seleccionaron 7, las cuales correspondían al efecto de una intervención neuroeducativa: *atención*, *curiosidad*, *Diseño Universal del Aprendizaje (DUA)*, *emociones*, *funciones ejecutivas*, *memorias* y la *figura del neuroeducador* (véase Tabla 1 en donde se muestra el cuestionario final, con los ítems en formato resumido). Estas modificaciones fueron estadísticamente evaluadas (Tomczak y Tomczak, 2014), ofreciendo un valor global de concordancia de expertos satisfactorio (W de Kendall de 0,869, $p < 0,001$). También se calculó el Alfa de Cronbach (Lacave et al., 2015; Tuapanta et al., 2017) para la respuesta de los expertos, dando como resultado una alta fiabilidad ($\alpha = 0,900$).

Con respecto a la validación del constructo, se realizó un análisis factorial exploratorio (López-Aguado y Gutiérrez-Provecho, 2019), forzando la extracción a 7 factores o dimensiones que, como producto de una rotación ortogonal, usando el método varimax, se obtuvo el 82,70 % de la varianza acumulada para dichos factores, en donde los ítems presentaron cargas factoriales superiores a 0,50 dentro de su factor y comunalidades

mayores a 0,50 en todos los casos. Además, como los resultados de la prueba de esfericidad de Bartlett ($\chi^2 = 3870,41$, $gl = 780$, $p < 0,001$) y de la adecuación factorial Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = 0,934$) fueron muy satisfactorios, la eliminación de dimensiones e ítems indicados anteriormente no desautorizan las validaciones realizadas por Díaz-Cabriales (2023), manteniéndose las 7 dimensiones seleccionadas para este trabajo.

Tabla 1.

Cuestionario ENEPID reducido a partir del planteado por Díaz-Cabriales (2023), en donde se muestran las 7 dimensiones e ítems escogidos para esta propuesta. Cada ítem fue graduado con una escala Likert de valores de 1 (menor valor) a 7 (mayor valor)

| Dimensiones seleccionadas | Ítems simplificados |
|---------------------------|---|
| 1. Atención | 1.1 Materiales; 1.2 Estrategias; 1.3 Actividades promocionales de la atención. |
| 2. Curiosidad | 2.1 Estrategia de inicio; 2.2 Recursos; 2.3 Actividades de descubrimiento; 2.4 Mentalidad exploradora; 2.5 Conflicto cognitivo; 2.6 Retos. |
| 3. DUA | 3.1 Recursos empleados; 3.2 Flexibilidad; 3.3 Estrategias inclusivas; 3.4 Necesidades del alumnado; 3.5 Motivación y flexibilidad; 3.6 Iniciativa del estudiante; 3.7 Materiales motivadores. |
| 4. Emociones | 4.1 Práctica docente y atención; 4.2 Situaciones sin estrés elevado; 4.3 Actividades emotivas; 4.4 Disminución de la frustración; 4.5 Actividades con desarrollo cognitivo, emocional y conductual; 4.6 Afectividad e interés; 4.7 Participación; 4.8 No etiquetar; 4.9 Interconexión de contenidos; 4.10 Componentes de juego. |
| 5. Funciones Ejecutivas | 5.1 Actividades de razonamiento, la toma de decisiones y la reflexión; 5.2 Inhibición de negatividad; 5.3 Razonamiento; 5.4 Uso de las funciones ejecutivas. |
| 6. Memorias | 6.1 Retomar aprendizajes; 6.2 Recuperación de recuerdos; 6.3 Activación de la memoria semántica; 6.4 Consolidación de memorias; 6.5 Uso de la memoria de trabajo. |
| 7. Neuroeducador | 7.1 Docente mediador; 7.2 Docente experiencial; 7.3 Docente activador y motivador; 7.4 Docente como apoyo; 7.5 Docente facilitador. |

Se comprobó la fiabilidad del instrumento (consistencia interna) utilizando el criterio de Alfa de Cronbach (Deng y Chan, 2017; Tuapanta et al., 2017), dando los siguientes resultados: 1) $\alpha_{pretest} = 0,988$; 2) $\alpha_{postest} = 0,968$, mostrando una alta fiabilidad en ambos casos. También se calculó el parámetro Alfa para cada dimensión, obteniéndose resultados de alta fiabilidad: atención ($\alpha = 0,822$); curiosidad ($\alpha = 0,930$); Diseño Universal del Aprendizaje (DUA) ($\alpha = 0,944$); emociones ($\alpha = 0,954$); funciones ejecutivas ($\alpha = 0,907$); memorias ($\alpha = 0,939$) y la figura del neuroeducador ($\alpha = 0,955$).

Con respecto a la evaluación del contenido impartido, se realizaron dos cuestionarios *ad-hoc* de valoración numérica cuantitativa, en donde se incluyeron las cuestiones más significativas de la asignatura impartida denominada *didáctica de las ciencias experimentales I*.

Resultados

A raíz de las diferentes dimensiones o factores del cuestionario ENEPID reducido, se utilizó el contraste de la prueba de Wilcoxon (pretest-postest) para muestras relacionadas, obteniendo los resultados que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2.

Resultados pretest-postest obtenidos de las dimensiones del cuestionario ENEPID reducido

| Dimensión | Valor pretest | Valor postest | Test de Wilcoxon para muestras relacionadas |
|---|-----------------------------|--|---|
| 1. Atención | 4,41 ± 1,41 | 6,72 ± 0,50 | z = 7,308; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,833) |
| 2. Curiosidad | 4,11 ± 1,42 | 6,50 ± 0,60 | z = 7,734; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,847) |
| 3. DUA | 4,09 ± 1,54 | 6,55 ± 0,57 | z = 7,449; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,849) |
| 4. Emociones | 4,03 ± 1,52 | 6,40 ± 0,73 | z = 7,518; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,856) |
| 5. Funciones Ejecutivas | 4,28 ± 1,40 | 6,49 ± 0,68 | z = 7,202; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,820) |
| 6. Memorias | 4,18 ± 1,50 | 6,44 ± 0,72 | z = 7,408; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,844) |
| 7. Neuroeducador | 4,14 ± 1,64 | 6,72 ± 0,49 | z = 7,337; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,836) |
| Comparativa de dimensiones dentro de un mismo test <i>Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes</i> | H (6) = 3,822, p = 0,701 | H (6) = 24,230, p < 0,001 pequeño tamaño de efecto ($\epsilon^2 = 0,045$) | |
| Total de la intervención | 4,17 ± 1,40 | 6,55 ± 0,53 | z = 7,568; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,862) |

*Criterio de Bonferroni de significatividad para las diferentes dimensiones: atención (p < 0,016); curiosidad (p < 0,008); DUA (p < 0,007); emociones (p < 0,005); funciones ejecutivas (p < 0,012); memorias (p < 0,010) y neuroeducador (p < 0,010). N = 77.

Como se puede comprobar de dicha tabla, todas las dimensiones mejoran considerablemente tras realizar la propuesta.

Para ver diferencias dentro de las dimensiones para cada test, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. Con respecto al pretest, se obtuvo $H(6) = 3,822$, $p = 0,701$, no habiendo diferencias significativas. Haciendo un estudio de correlaciones bivariadas, bajo el criterio de Spearman para datos ordinales (López-Martín y Ardura, 2023), se obtuvieron, en todos los casos, asociaciones significativas para el pretest ($p < 0,001$), dando como resultado valores de r mayores de 0,71, destacando principalmente las correlaciones de las siguientes dimensiones ($r > 0,9$): *funciones ejecutivas* con las dimensiones DUA ($r = 0,903$), *emociones* ($r = 0,903$), *memorias* ($r = 0,905$) y *neuroeducador* ($r = 0,900$); además, la dimensión *neuroeducador*, se correlacionó con las dimensiones DUA ($r = 0,924$) y *memorias* ($r = 0,926$).

Sin embargo, entre las dimensiones del posttest, si se observaron diferencias significativas: $H(6) = 24,230$, $p < 0,001$, presentando un pequeño tamaño de efecto ($\epsilon^2 = 0,045$). Realizando una comparación por parejas para observar las diferencias existentes entre dimensiones, la denominada prueba post-hoc (López-Martín y Ardura, 2023; Tomczak y Tomczak, 2014), se registra que la dimensión *emociones* presenta diferencias con respecto a las de *neuroeducador* ($p = 0,014$, $\epsilon^2 = 0,527$) y *atención* ($p = 0,003$, $\epsilon^2 = 0,585$), teniendo estas últimas mayor valor promedio (véase tabla 2). Además, también se encuentran diferencias significativas entre la dimensión *atención* con respecto a *memorias* ($p = 0,005$, $\epsilon^2 = 0,472$), siendo esta última ligeramente inferior. Las correlaciones de mayor envergadura, ya que todas fueron significativas ($p < 0,001$), corresponderían a la dimensión *memorias* con las de *emociones* ($r = 0,851$) y *funciones ejecutivas* ($r = 0,868$); la dimensión DUA con la *curiosidad* ($r = 0,801$) y *emociones* ($r = 0,818$) y las *funciones ejecutivas* con las *emociones* ($r = 0,779$).

Con respecto a la adquisición de conceptos por parte del alumnado, se realizaron dos pruebas de contenido pretest-posttest (una sobre didáctica de las ciencias, tema 1, y otra sobre conceptos de química, tema 2), al inicio y al final de cada tema (la impartición de cada tema tuvo una duración de un mes y medio), realizándose la prueba posttest justo al término de su impartición, sin dejar tiempo para el estudio de la materia, debido a que solo se quería evaluar la actuación en el aula. Los resultados se normalizaron al valor máximo de 7 para poder establecer una escala comparativa con el cuestionario ENEPID reducido. Estos datos fueron comparados mediante el test de Wilcoxon (valor de $p < 0,001$ para la prueba de Shapiro-Wilk), cuyos resultados pueden consultarse en la Tabla 3. Como puede observarse, del pretest al posttest hubo un gran tamaño de efecto (aprendizaje) para ambos temas. Es de destacar que, aunque los contenidos base sobre química (pretest) eran mayores que sobre los didácticos al inicio ($U = 7,607$; $p < 0,001$, $r = 0,320$), el aprendizaje ha resultado mayor para los contenidos de didáctica de las ciencias ($r = 0,811$, didáctica de las ciencias, frente a $r = 0,554$, química).

Tabla 3.

Resultados pretest-posttest y comparativa de las pruebas realizadas sobre los contenidos impartidos sobre: 1) didáctica de las ciencias (tema 1) y 2) química (tema 2)

| Contenido | Valor pretest | Valor posttest | Test de Wilcoxon para muestras relacionadas |
|------------------------------------|---------------|----------------|--|
| Didáctica de las ciencias (tema 1) | 2,09 ± 0,84 | 4,10 ± 1,34 | $z = 8,193$, $p < 0,001$ gran tamaño del efecto ($r = 0,811$) |

| Contenido | Valor pretest | Valor postest | Test de Wilcoxon para muestras relacionadas |
|---|---|--|---|
| Química (tema 2) | 3,09 ± 1,84 | 4,70 ± 1,73 | z = 5,791; p < 0,001 gran tamaño del efecto (r = 0,554) |
| Comparativa de contenidos dentro de un mismo test Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes | U = 7,607; p < 0,001 moderado tamaño del efecto (r=0,320) | U = 6,668; p = 0,012 pequeño tamaño del efecto (r = 0,173) | |

Discusión

Los resultados muestran que el componente neuroeducativo en el grado de educación primaria ensayado al inicio presentó un valor intermedio (pretest: 4,17 ± 1,40). De las correlaciones del pretest, se observa como los futuros docentes consideraban que un buen neuroeducador debería atender a la diversidad de aula de una forma mucho más eficiente, debido a que conocería el principio básico de *la variabilidad humana* (no hay dos cerebros iguales), en donde el aprendizaje depende de las experiencias personales individuales, el ambiente y la genética, de manera que, a partir del uso de diferentes actividades y recursos, se puede atender a esa diversidad, repercutiendo positivamente en la adquisición de esos aprendizajes en la memoria (Carmona, 2022; Nouri et al., 2023). Siguiendo con lo obtenido de las correlaciones, los futuros docentes manifestaron que una enseñanza neuroeducativa permitiría activar las funciones ejecutivas del cerebro, asociación totalmente cierta (Moraine, 2014), porque ello permitirá: 1) una activación de dichas funciones al recibir emociones positivas y 2) el facilitar el autocontrol y la autorregulación de las emociones extremas, lo que conducirá a un mayor atención a la diversidad, contribuyendo a mejorar el rendimiento académico (Gil Vega, 2020), potenciando a su vez el aprendizaje (Mora, 2017, 2022). Todo ello corrobora la fiabilidad del cuestionario empleado.

Tras implementar las diferentes metodologías indagatorias, recursos y orientaciones neuroeducativas, se obtuvo globalmente una mejora significativa en todas las dimensiones, llegando a valores muy altos, próximos a 7 (6,55 ± 0,53). Reparando en cada dimensión de forma individual, el mayor efecto del pretest al postest se observa, sobre todo, en el aumento de las emociones en el aula, fundamentalmente gracias al empleo de diferentes recursos (valor del ítem 3.1: 6,68 ± 0,64), en especial el material multimedia y las simulaciones virtuales, las cuales ofrecieron los contenidos de forma más amena, lúdica y comprensible (Atalay y Mutlu, 2023), contribuyendo a una buena ejecución de la memoria de trabajo visual y espacial (Gil Vega, 2020). Por otro lado, comparando entre dimensiones en los resultados del postest, se observaron diferencias significativas en algunas de ellas. El análisis post-hoc permitió evidenciar el esfuerzo del docente por ser un neuroeducador, como el apoyo al alumno (valor del ítem 7.4: 6,79 ± 0,50) y la dinamización de la enseñanza (valor del ítem 7.3: 6,77 ± 0,56). Además, se destaca un gran fomento de la atención en el aula, gracias a elegir convenientemente los cambios de ritmo, la gesticulación y las estrategias proxémicas (cercanía) y por proponer actividades que promovían el razonamiento, la toma de decisiones y la reflexión (metacognición), dando con ello más sentido y significado a las experiencias de vida (Codina et al., 2022). Estas acciones activan las funciones ejecutivas, en concreto los

circuitos prefrontales dorsolaterales (memoria de trabajo) y el circuito orbitofrontal (toma de decisiones), lo que conduce a una potenciación del aprendizaje, debido a que se relaciona la nueva información con la que ya se posee y, en consecuencia, se contribuye a realizar cambios conceptuales cuando sean necesarios, proporcionando una mayor consolidación en la memoria, como lo avalan varios estudios (Foisly et al., 2015; Gil Vega, 2020; Vaughn et al., 2020).

Con respecto al aprendizaje del contenido, se comprueba cómo los aspectos más conceptuales (didáctica de las ciencias, tema 1) mejoran considerablemente con la metodología, no resultando igual de efectivo que con respecto a los contenidos más específicos de química que, aunque se partía de una base de conocimientos mayor en estos últimos, se requiere de mayor detenimiento y trabajo autónomo por parte del futuro docente, en comparación.

Conclusiones

Los resultados muestran que la intervención llevada a cabo en el aula ha sido totalmente efectiva. La metodología y recursos implementados indican que, ciertamente, la propuesta presenta una orientación altamente neuroeducativa, lo que genera una mejora del aprendizaje didáctico-científico en los futuros profesionales de la enseñanza primaria. Con ello se asienta un modelo a implementar en su futuro ejercicio profesional. Ello ha sido posible gracias al fomento de la curiosidad a través de los recursos y al establecimiento de una indagación activa, lo que ha generado una motivación intrínseca, la cual fue proclamada por los propios participantes a su término. Las emociones positivas han estado presentes con la ayuda tanto de la manipulación experimental real como por el empleo de cuestiones discrepantes o de recursos virtuales o multimedia, siendo estos últimos un referente, lo que ha dado lugar a una atención continuada en cada sesión. Estas actuaciones hicieron posible facilitar el uso de las funciones ejecutivas, mejorando el razonamiento y la comprensión (Codina et al., 2022; Sousa, 2019).

El papel del docente ha sido clave en la intervención, por estar disponible en todo momento y por ofrecer una secuenciación lo más dinámica y participativa posible, en donde la alternancia de metodologías y recursos en función de la situación y el contenido ha sido la clave para el éxito de la intervención, atendiendo con ello aún más a la diversidad del aula.

Con respecto a las limitaciones del estudio, una variable para tener en cuenta es el tamaño de la muestra (77 participantes) que, aunque no llega a ser totalmente representativa, si es indicativa del posible cambio que se pueda producir al realizar este tipo de intervenciones. Además, al ser un estudio pre-experimental, se han procurado controlar las variables externas (McMillan y Schumacher, 2013), como los posibles cambios actitudinales que pudieran originarse (los alumnos solo cursaban esta asignatura en los meses que tuvo lugar la intervención), así como el prevenir la mortalidad experimental, eliminando la pérdida de sujetos (inicialmente fueron 101 alumnos de los 77 finalmente seleccionados).

El resultado de la intervención muestra también los beneficios que una formación neuroeducativa puede ofrecer al profesorado universitario, cuya formación es escasa hoy en día, pudiendo ser un eslabón clave para proporcionar la mejora que se demanda en la actualidad (Tierno et al., 2020).

Se puede concluir, por tanto, que el empleo de un aprendizaje basado en la indagación utilizando los principios del conocimiento del cerebro, optimiza la propia indagación si se compara con otros estudios similares en los cuales no se incluye el componente neuroeducativo (Atalay y Mutlu, 2023; Santana-Vega et al., 2020). Efectivamente, para

mantener una atención focalizada, de manera que genere un aprendizaje efectivo, es necesario introducir elementos emocionales convenientemente seleccionados mediante los recursos elegidos (Ruiz-Mejías et al., 2021; Valdés-Villalobos, 2022), potenciando la novedad y la disposición del profesorado, permitiendo de esta manera ofrecer un aprendizaje competencial, activo y duradero.

Referencias

- Atalay, N. y Mutlu, M. (2023). The Effect of Using Interactive Simulation in Science Laboratory on Knowledge Levels of Science Laws and Computational Thinking Skills. *Mimbar Sekolah Dasar*, 10(1), 63-79. <https://doi.org/10.53400/mimbar-sd.v10i1.46334>
- Ballesta-Claver, J., Ayllón Blanco, M. F. y Gómez Pérez, I. A. (2021). A Revisited Conceptual Change in Mathematical-Physics Education from a Neurodidactic Approach: A Pendulum Inquiry. *Mathematics*, 9(15), 1755-1767. <https://doi.org/10.3390/math9151755>
- Ballesta-Claver, J., Gómez Pérez, I. A. y Ayllón Blanco, M. F. (2024). El paradigma innovador de la neuroeducación. En A. Rodríguez Fuentes (Ed.), *¿Ciencia o ficción en la Neuroeducación? Estudio sobre neuromitos docentes* (pp. 21-39). Ediciones Pirámide.
- Béjar, M. (2014). Neuroeducación. *Padres y Maestros*, 355(355), 49-53. <https://revistas.comillas.edu/index.php/padresymaestros/article/view/2622>
- Benzer, A. I. y Ünal, S. (2021). Models and modelling in science education in turkey: a literature review. *Journal of Baltic Science Education*, 20(3), 344-359. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.344>
- Bhargava, A. V y Ramadas, V. (2022). Implications of Neuroscience/Neuroeducation in the Field of Education to Enhance the Learning Outcomes of the Students. *Journal of Positive School Psychology*, 2022(6), 6502-6510. <https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/8636>
- Bogar, Y. (2019). Literature Review on Inquiry-Based Learning in Science Education. *Journal of International Science and Education*, 1(2), 91-118. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ubed/issue/43862/497258>
- Bybee, R. W. (2016). *El modelo de enseñanza 5E del BSCS: creando momentos de enseñanza*. International Science Teaching Foundation.
- Carmona, C. E. (2022). Diseño universal para el aprendizaje y neuroeducación. Una perspectiva desde la ciencia de la mente, cerebro y educación. *Journal of Neuroeducation*, 3, 99-108. <https://doi.org/10.1344/joned.v3i1>
- Codina, M., Aldana, D., Piédrola, I. y Ramos Regalado, I. (2022). Una estructura neurodidáctica para el desarrollo de las funciones ejecutivas en los adolescentes. *Journal of Neuroeducation*, 2(2), 118-129. <https://doi.org/10.1344/joned.v2i2.32839>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Second Ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cooper, A. C., Southard, K. M., Osness, J. B. y Bolger, M. S. (2022). The Instructor's Role in a Model-Based Inquiry Laboratory: Characterizing Instructor Supports and Intentions in Teaching Authentic Scientific Practices. *CBE—Life Sciences Education*, 21(1), 21:ar9, 1-19. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-07-0177>
- Cornell Pereira, I. (2019). Actividades didacticas que propician la transferencia de conocimiento para su aplicacion en la practica cotidiana. *Revista pedagogica de*

- Cienfuegos, 15(70), 41-57. <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Coumans, J. V. F. y Wark, S. (2024). Impact of Problem-Based Learning Coaching and Neuroeducation in the Development of 21st Century Lifelong Learners. *Mind, Brain, and Education*, 1-8. <https://doi.org/10.1111/mbe.12406>
- Deng, L. y Chan, W. (2017). Testing the Difference Between Reliability Coefficients Alpha and Omega. *Educational and Psychological Measurement*, 77(2), 185-203. <https://doi.org/10.1177/0013164416658325>
- Díaz-Cabriales, A. (2023). Escala neuroeducativa para la Planeación y la Intervención Didáctica (ENEPID). *Journal of Neuroeducation*, 3(2), 93-105. <https://doi.org/10.1344/joned.v3i2.40828>
- Foisy, L. M., Potvin, P., Riopel, M. y Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Fragkaki, M., Mystakidis, S. y Dimitropoulos, K. (2022). Higher Education Faculty Perceptions and Needs on Neuroeducation in Teaching and Learning. *Education Sciences*, 12(10), 707. <https://doi.org/10.3390/educsci12100707>
- Friedl, A. E. (2000). *Enseñar ciencias a los niños*. Editorial Gedisa, S.A.
- García Molina, R. (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 8(extra), 370-392. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.iextra.02
- Gardner, H. (2008). Quandaries for neuroeducators. *Mind, Brain, and Education*, 2(4), 165-169. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2008.00050.x>
- Gil Vega, J. A. (2020). ¿Es posible un currículo basado en las Funciones Ejecutivas? De la función a la competencia: propuesta de integración de la “competencia ejecutiva” en el aula. *Journal of Neuroeducation*, 1(1), 114-129. <https://doi.org/10.1344/joned.v1i1.31363>
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Hopkins, K. (2021). Neuroscience as a Contemporary Science Domain to Contextualize Nature of Science Instruction. *Science & Education*, 1-38. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00187-7>
- Howard-Jones, P. (2014). *Neuroscience and education: A Review of Educational Interventions and Approaches Informed by Neuroscience*. Education Endowment Foundation. University of Bristol.
- Howard-Jones, P., Jay, T. y Galeano, L. (2020). Professional Development on the Science of Learning and teachers’ Performative Thinking—A Pilot Study. *Mind, Brain, and Education*, mbe.12254. <https://doi.org/10.1111/mbe.12254>
- Izquierdo, V. y Garrigues, M. L. (2019). Neurocommunicative methodologies: attention and emotion of the audiovisual story in the classroom. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 6(1), 89-144. <https://doi.org/10.4995/muse.2019.10670>
- Jiménez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2022). A model-based inquiry sequence as a heuristic to evaluate students’ emotional, behavioural, and cognitive engagement. *Research in Science Education*, 52, 1313-1334.

<https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>

- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 380101-380123. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801
- Jiménez Liso, M. R., Gómez Macario, H., Martínez Chico, M., Garrido Espeja, A. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2019). Egagrópilas como fuente de pruebas en una indagación. Percepciones de los estudiantes sobre lo que aprenden y sienten. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 17(1), 1-18. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1203
- Juárez-Varón, D., Bellido-García, I. y Gupta, B.-B. (2023). Analysis of stress, attention, interest, and engagement in onsite and online higher education: A neurotechnological study. *Comunicar*, 31(76), 21-34. <https://doi.org/10.3916/C76-2023-02>
- Juškevičienė, A., Stupurienė, G. y Jevsikova, T. (2021). Computational thinking development through physical computing activities in STEAM education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 175-190. <https://doi.org/10.1002/cae.22365>
- Lacave, C., Molina, A., Fernández, M. y Redondo, M. (2015). Análisis de la fiabilidad y validez de un cuestionario docente. *Actas de las XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, 136-143. http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/Jen2015/la_anal.pdf
- Lai, K.-W. (2018). The Learner and the Learning Process: Research and Practice in Technology-Enhanced Learning. En *Second Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (pp. 127-142). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71054-9_8
- Latimer, B., Bergin, D. A., Guntu, V., Schulz, D. J. y Nair, S. S. (2019). Integrating Model-Based Approaches Into a Neuroscience Curriculum—An Interdisciplinary Neuroscience Course in Engineering. *IEEE Transactions on Education*, 62(1), 48-56. <https://doi.org/10.1109/TE.2018.2859411>
- López-Aguado, M. y Gutiérrez-Provecho, L. (2019). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS. *REIRE Revista d Innovació i Recerca en Educació*, 12(2), 1-14. <https://doi.org/10.1344/reire2019.12.227057>
- López-Martín, E. y Ardura, D. (2023). The effect size in scientific publication. *Educación XX1*, 26(1), 9-17. <https://doi.org/10.5944/educxx1.36276>
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R. y Jiménez-Liso, M. R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591-608. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>
- Martínez Chico, M., Rut Jiménez Liso, M. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 12(1), 149-166. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.10
- Martínez Ques, Á. A., Braña Marcos, B., Martín Arribas, C., Vázquez Campo, M., Rumbo Prieto, J. M., López Castro, J., Herrero Olivera, L. y Gómez Salgado, J. (2022). Diseño y validación de un instrumento sobre calidad de la planificación anticipada de decisiones para profesionales. *Gaceta Sanitaria*, 36(5), 401-408.

<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.11.002>

- Mcmillan, J. H. y Schumacher, S. (2013). *Research in Education: Evidence-Based Inquiry* (seventh ed). Pearson Education.
- Meza, L. y Moya, M. E. (2020). ICT and neuroeducation as a resource of innovation in the process of teaching and learning. *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 5(2), 85-96. <https://www.redalyc.org/pdf/6731/673171025008.pdf>
- Mora, F. (2017). *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama*. (2.^a ed.). Alianza Editorial.
- Mora, F. (2022). *Neuroeducador: una nueva profesión*. Alianza editorial.
- Moraine, P. (2014). *Las funciones ejecutivas del estudiante*. Narcea, S.A.
- Nouri, A., Tokuhama-Espinosa, T. y Borja, C. (2023). *Crossing Mind, Brain, and Education Boundaries*. Cambridge Scholars Publishing.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Passmore, C., Stewart, J. y Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17870.x>
- Prensky, M. (2009). H. Sapiens Digital: From Digital Immigrants and Digital Natives to Digital Wisdom. *Innovate: Journal of Online Education*, 5(3-Article 1), 1-10. <https://nsuworks.nova.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&context=innovate>
- Ruiz-Mejías, M., Pérez, N. y Carrió-Llach, M. (2021). Knowledge of neuroscience boosts motivation and awareness of learning strategies in science vocational education students. *Journal of Neuroeducation*, 1(2), 22-36. <https://doi.org/10.1344/joned.vi12.33035>
- Santana-Vega, L. E., Suárez-Perdomo, A. y Feliciano-García, L. (2020). El aprendizaje basado en la investigación en el contexto universitario: una revisión sistemática. *Revista Española de Pedagogía*, 78(277), 519-537. <https://doi.org/10.22550/REP78-3-2020-08>
- Schleisman, K. B., Selcen Guzey, S., Lie, R., Michlin, M., Desjardins, C., Shackleton, H. S., Schwerdfeger, A. C., Michalowski, M. y Dubinsky, J. M. (2018). Learning Neuroscience with Technology: a Scaffolded, Active Learning Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 27(6), 566-580. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9748-y>
- Schwartz, M. (2015). Mind, brain and education: A decade of evolution. *Mind, Brain, and Education*, 9(2), 64-71. <https://doi.org/10.1111/mbe.12074>
- Schwarz, C. V., Ke, L., Salgado, M. y Manz, E. (2022). Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(6), 1086-1096. <https://doi.org/10.1002/tea.21770>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Silva Quiroz, J. y Maturana Castillo, D. (2017). Una propuesta de modelo para introducir metodologías activas en educación superior. *innovación educativa*, 17(73), 117-131.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732017000100117&lng=es&tlng=es

- Sousa, D. A. (2018). *Implicar al cerebro reconectado: Efectos de la tecnología en la reconexión del cerebro de los alumnos* (Vol. 24). Ediciones SM.
- Sousa, D. A. (2019). *Cómo aprende el cerebro*. Ediciones Obelisco, S.L.
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K. y Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 1-59. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- Tierno, S. P., Tuzón, P., Solbes, J. y Gavidia, V. (2020). Situación de la enseñanza de las ciencias por indagación en los planes de estudio de Grado de Maestro de Educación Primaria en España. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 0(39), 99. <https://doi.org/10.7203/dces.39.17855>
- Tomczak, M. y Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, 1(21), 19-25. <https://www.researchgate.net/publication/303919832>
- Tuapanta, J., Duque, M. y Mena, Á. (2017). Alfa de Cronbach para validar un instrumento de uso de TIC en docentes universitarios. *mktDescubre*, 10, 37-48.
- Uden, L., Sulaiman, F. y Lamun, R. F. (2022). Factors Influencing Students' Attitudes and Readiness towards Active Online Learning in Physics. *Education Sciences*, 12(11), 746. <https://doi.org/10.3390/educsci12110746>
- Urdanivia Alarcon, D. A., Talavera-Mendoza, F., Rucano Paucar, F. H., Cayani Caceres, K. S. y Machaca Viza, R. (2023). Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review. *Frontiers in Education*, 8, 1-10. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1170487>
- Valdés-Villalobos, B. (2022). Neuroeducación y sus alcances socio-afectivos al quehacer docente. *Journal of Neuroeducation*, 2(2), 83-91. <https://doi.org/10.1344/joned.v2i2.37440>
- Vaughn, A. R., Brown, R. D. y Johnson, M. L. (2020). Understanding Conceptual Change and Science Learning through Educational Neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 14(2), 82-93. <https://doi.org/10.1111/mbe.12237>