

Incidencia de un programa de formación de conceptos de Neurociencia Cognitiva sobre el conocimiento didáctico de un grupo de profesores universitarios de ciencias experimentales

Carolina María González Velásquez 

Universidad de Antioquia. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín. Colombia.
carolinam.gonzalez@udea.edu.co

Bartolomé Vázquez Bernal 

Departamento de Didácticas Integradas Grupo Investigación DESYM (HUM-168)
Facultad de Educación, Psicología y CC. Deporte. Universidad de Huelva. España.
bartolome.vazquez@ddcc.uhu.es

María Ángeles de las Heras Pérez 

Departamento de Didácticas Integradas Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación, Psicología y CC. Deporte. Centro de Investigación COIDESO. Universidad de Huelva. España.
angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

[Recibido: 27 marzo de 2023, Revisado: 25 noviembre de 2023, Aceptado: 22 abril de 2024]

Resumen: Este artículo presenta un estudio de caso longitudinal como parte de una investigación que se llevó a cabo con un grupo de profesores universitarios de ciencias experimentales colombianos entre los años 2019 a 2022. Debido a las pocas ofertas de formación continua para desarrollo docente universitario sobre contenidos de neurociencia cognitiva, se planteó, como propósito analizar la incidencia de la implementación de un programa de formación en esta línea sobre el conocimiento didáctico de un grupo de profesores para la enseñanza de las ciencias. Se realizó un análisis estadístico y descriptivo utilizando entrevistas semiestructuradas y una prueba de desempeño antes y después de la intervención. Se concluye que, el programa de formación incidió en los conocimientos didácticos sobre la enseñanza de las ciencias en el grupo de docentes participantes al generar adecuaciones en la forma de vincular su conocimiento disciplinar con el conocimiento en didáctica y Neurociencia cognitiva en sus procesos de enseñanza de las ciencias a nivel superior.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias; Desarrollo profesional; Neurociencia cognitiva

Incidence of a training program based on Cognitive Neuroscience on the didactic knowledge of a group of Colombian university professors of experimental sciences

Abstract: This article presents a longitudinal case study as part of a research that was carried out with a group of Colombian university professors of experimental sciences between the years 2019 to 2022. Due to the few offers of continuous training for university teaching development on contents of cognitive neuroscience, the purpose was to analyze the impact of the implementation of a training program in this line on the didactic knowledge of a group of teachers for teaching science. A statistical and descriptive analysis was performed using semi-structured interviews and a performance test before and after the intervention. It is concluded that the training program influenced the didactic knowledge about science teaching in the group of participating teachers, by generating adjustments in the way of linking their disciplinary knowledge with knowledge in didactics and cognitive Neuroscience in their teaching processes sciences at a higher level.

Keywords: Science education; Professional development; Cognitive neuroscience

Para citar este artículo: González Velásquez C.M., Vázquez Bernal B., De las Heras Pérez M.A. (2024) Incidencia de un programa de formación basado en Neurociencia Cognitiva sobre el conocimiento didáctico de un grupo de profesores universitarios de ciencias experimentales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(2), 2601. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2601

Introducción

La plasticidad neuronal es una de las respuestas más importantes a las preguntas que durante décadas han buscado establecer los mecanismos fisiológicos necesarios para el aprendizaje. Esta característica del sistema nervioso es de suma importancia, ya que permite modificar el funcionamiento de las redes neuronales involucradas en el comportamiento en respuesta a estímulos internos o externos (Cardoso-Leite et al., 2012; Buttelmann y Karbach, 2017).

Estudios como los de Valk et al. (2017) han recopilado datos de resonancia magnética (IRM) a través de ejercicios mentales basados en la atención plena (actividades contemplativas) y en las habilidades socioafectivas que incluyen las emociones sociales y la motivación. Dicho estudio se desarrolló a través de una intervención, que duró un poco más de nueve meses, con el propósito de investigar los efectos de tres módulos diferentes de entrenamiento mental: *Presencia, Afecto y Perspectiva*. Estos estudios han demostrado la inducción de plasticidad en las regiones frontales del cerebro, lo que sugiere la promoción de intervenciones basadas en la evidencia desde las habilidades sociocognitivas para diferentes escenarios, incluido el educativo, ya que estas acciones favorecen cambios en las cortezas frontales y temporales laterales inferiores, regiones asociadas con procesos atencionales, necesarios para la potencial mejora del aprendizaje.

En este sentido, la comprensión del funcionamiento ejecutivo y la plasticidad neuronal es cada vez más importante, ya que puede proporcionar evidencia relevante para entender su impacto en el aprendizaje y la enseñanza. Autores como Elouafi et al. (2021) y Howard-Jones (2014) destacan la necesidad de que los docentes ofrezcan nuevas experiencias que involucren los sentidos, las emociones y el contexto, lo que refuerza la posibilidad de recordar los conceptos aprendidos.

En consecuencia, la demanda cada vez creciente sobre mecanismos empíricos y evidencia real, que otorguen una apropiada articulación entre la Educación y la Neurociencia, precisa de escenarios multidimensionales que permitan conectar estos campos disciplinares (Coch y Daniel, 2020) y con el firme propósito de presentar una mejor comprensión sobre los procesos adyacentes al aprendizaje, reconociendo el papel del cerebro y la forma en que el entorno y los aspectos socioculturales inciden en el desarrollo cognitivo.

Por tanto, desde la perspectiva de la Neurociencia Cognitiva, es posible analizar cómo la investigación en este campo puede influir en la reformulación de los sistemas educativos para fortalecer el aprendizaje a través de nuevas formas de enseñanza. Esto implica proponer transformaciones que generen cambios profundos en las concepciones de los docentes y aceleren modificaciones en las políticas educativas y curriculares. Es fundamental que estas transformaciones estén basadas en la pertinencia y validez ecológica, evitando el reduccionismo biológico (Mauro, 2020) y las creencias infundadas.

Un ejemplo claro para destacar es la necesidad de intensificar y ampliar el uso de un lenguaje comprensible para las definiciones proporcionadas por la Neurociencia (Salvado Ortega, 2020). Esto requiere una verdadera alfabetización en sus conceptos teóricos y un enfoque en los programas de formación diseñados en las facultades y centros de educación para la formación del profesorado. Además, es deseable proporcionar nuevas herramientas

y estrategias para la enseñanza basadas en el conocimiento didáctico de los profesores. Esta integración implica la consideración de nuevos enfoques y una mirada reflexiva sobre la práctica educativa, como sostiene Fraser (2016), quien indica que la reflexión sobre la praxis es un proceso continuo que potencia la calidad, no solo para el profesor, sino también para los centros de enseñanza.

Considerando dichos planteamientos, este artículo presenta parte de los resultados derivados de una investigación doctoral. El diseño e implementación de un programa de formación incluyó conceptos y definiciones del campo de la neurociencia articulados al conocimiento didáctico de las ciencias experimentales. Por su parte, la pregunta principal del estudio es: ¿Cuál es la incidencia de un programa de formación basado en conocimientos y conceptos fundamentales de la neurociencia cognitiva sobre el conocimiento didáctico para la enseñanza de las ciencias en un grupo de profesores universitarios colombianos de ciencias experimentales?

Marco teórico

Razones para introducir la Neurociencia Cognitiva en programas de formación universitaria

La Neurociencia es un campo emergente que ha producido resultados significativos en la investigación de los complejos procesos fisiológicos que explican el funcionamiento del cerebro. En las últimas décadas, se ha incentivado la producción académica que expone sus posibles repercusiones en diferentes campos de estudio, como la Medicina, la Sociología, la Biología, la Química y la Psicología, donde se presentan las bases de la conducta (Blakemore y Frith, 2005). La Educación es otra disciplina que se suma a esta demanda hacia la búsqueda de un diálogo interdisciplinario de gran importancia (Bruer 1997; Horvath y Donoghue 2016; Howard Jones, 2014; Sigman et al., 2014), en la búsqueda de fundamentos teóricos y desarrollos prácticos que supongan una articulación bidireccional para fundamentar una mejor manera de desarrollar nuevos enfoques y que empleen potentes avances para el fortalecimiento de la enseñanza y el aprendizaje.

En este orden de ideas, Cantor et al. (2018) señalan la importancia de la vinculación de la ciencia para fomentar cambios en los sistemas educativos que incluyan y pongan en evidencia las necesidades a nivel cognitivo, físico, socioemocional en nuevos modelos de enseñanza. También, Ansari et al. (2011) proponen la generación de interacciones entre neurocientíficos cognitivos y educadores para plantear nuevas preguntas y establecer un lenguaje común. Esto se lograría a través de espacios de intercambio de experiencias que nutran cada disciplina desde sus perspectivas.

La anterior propuesta se enfoca en profundizar en el conocimiento del contenido pedagógico y didáctico para una mejor comprensión de los procesos inherentes al desarrollo cognitivo y sus implicaciones educativas, especialmente en el ámbito universitario, donde el conocimiento en Neurociencia puede potenciar el desarrollo profesional de los docentes (Dubinsky, 2010). Esto implicaría, generar ajustes curriculares al integrar conceptos sobre Neurociencia cognitiva, identificando las comprensiones iniciales y la dificultad que revista su abandono por los nuevos conceptos y el conflicto que ello genera, (Dundar y Gunduz, 2016; Brault-Foisly et al., 2015).

En esta línea de investigación sobre Neurociencia, Tan et al. (2019) han demostrado que los profesores logran una mejor comprensión de las relaciones entre la función cerebral y

el impacto de las emociones en el proceso de aprendizaje, al desarrollar una coherencia teórica entre la naturaleza biológica y las prácticas pedagógicas que la promovieron.

Por otro lado, Howard-Jones et al. (2020) resaltan que, tras un taller de 90 minutos sobre la ciencia del aprendizaje, los conceptos científicos para la enseñanza ganan mayor importancia, a expensas de los conceptos puramente performativos. Estos cambios prevalecieron después de 6 y 12 semanas.

Asimismo, el estudio realizado por Ezquerra, A. y Ezquerra-Romano (2019) es un ejemplo relevante de la importancia del conocimiento didáctico en la formación de docentes y la inclusión de contenidos neurocientíficos. Durante este estudio, se implementó un programa de formación de orientación constructivista de 45 horas, dirigido a 36 docentes en formación, con el propósito de enseñar física en la escuela secundaria. Los resultados obtenidos permitieron identificar que, la comprensión del componente neurofisiológico y la introducción de contenidos sobre neurociencia, podrían sustentar las concepciones alternativas y ayudar a modificarlas en los docentes en formación. Este hallazgo resalta la relevancia para la formación de docentes, ya que evidencia cómo una formación específica puede impactar positivamente en la adquisición de estrategias pedagógicas efectivas para la enseñanza de disciplinas científicas.

Adicionalmente, Schwartz et al. (2019) informaron un aumento en la implementación de prácticas pedagógicas centradas en la investigación y en los estudiantes, ello debido a la comprensión de la neurociencia básica de la plasticidad y la comunicación sináptica, lo que les brindó a los profesores una explicación de por qué del aprendizaje.

En este sentido, tanto docentes como investigadores del ámbito educativo, especialmente en la enseñanza de las ciencias, buscan comprender mejor los mecanismos asociados al desarrollo de la cognición humana y, a través de evidencia científica, establecer los procesos subyacentes al aprendizaje de los alumnos (Dubinsky, 2010; Pickering y Howard-Jones, 2007), cobrando vigencia la llamada transdisciplinar para su abordaje.

Conocimiento Didáctico del Contenido y Desarrollo Profesional Universitario

En esta investigación, el desarrollo profesional también se destaca como una categoría de gran relevancia, ya que se posiciona como un elemento fundamental para potenciar dicho desarrollo, tal como han señalado Vázquez-Bernal et al. (2007; 2012). La reflexión, orientada a la praxis, se erige como un núcleo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), el cual presenta diversidad de conceptualizaciones y polifonías, no obstante, derivada de la tradición del concepto del CDC introducido por Shulman (1986).

Aludir a las formas de representación de los contenidos, la manera en que éstos se abordan y las posiciones personales de cada docente (Gess-Newsome, 2015) cobra sentido y se presenta como fundamento y atributo para mejorar la enseñanza y el aprendizaje. Así pues, el CDC sigue siendo esencial para mejorar la práctica docente, ya que su integración en las diferentes formas del conocimiento, como lo proponen Kirschner et al. (2016), alude a la necesidad de una reflexión permanente sobre el que, por qué y cómo de la enseñanza, aspecto que siempre debe ser considerado en los programas de formación docente.

Además, en el contexto de la educación superior, el desarrollo profesional enfrenta diversos desafíos, especialmente en el ámbito de la enseñanza de las ciencias. Seymour (2002) señala que las actividades de mejora de la enseñanza suelen ser poco valoradas y a menudo no se ofrece recompensa por ellas. De otro lado es reconocido que, los profesores universitarios, transitan en modelos transmisivos donde los contenidos tienen una alta

valoración y donde las perspectivas pedagógicas se encuentran separadas de su desarrollo profesional, de ahí que Berry et al. (2016) indiquen que realizar actividades de análisis y experimentación sobre la práctica de manera individual y colectiva sea fundamental para potenciar el CDC.

Por tanto, es crucial promover intervenciones que integren progresiva y longitudinalmente estos conocimientos, en línea con las necesidades de exploración en el ámbito universitario. Esto permitiría profundizar en las concepciones docentes e identificar los aspectos desarrollados de su CDC.

En la Tabla 1 se indican los principales componentes incluidos en los programas de formación consultados de diez universidades colombianas a la fecha del inicio del estudio, pues es fundamental identificar y considerar la naturaleza de los programas de formación, ya que éstos deben articularse con los planes de desarrollo y proyectos educativos institucionales.

Tabla 1. Aspectos generales, componentes y contenidos de formación continua ofertados en diez universidades colombianas para el desarrollo docente

| Componentes | Bases disciplinares/contenidos/procesos estamentos |
|---|---|
| Formación permanente/continua/avanzada | Ámbitos: Pedagogía, Didáctica, Currículo, Epistemología, Modelos didácticos. Programas de formación posgradual: Cursos, Talleres, Diplomados, Maestrías, Doctorados, Postdoctorados |
| Investigación e innovación | Metodologías de investigación Redes de investigación, ONGs, Institutos de investigación Escritura científica, formulación de proyectos, líneas de investigación. Producción académica y científica (libros, artículos) |
| Internacionalización | Participación en eventos académicos, intercambios, movilidad académica (entrante y saliente), formación en varias lenguas, cooperación con otros centros universitarios. |
| Gestión universitaria, universidad, empresa, Estado | Bienestar universitario. Procesos de acreditación y autoevaluación institucional. |
| Tendencias educativas contemporáneas | Inclusión y apropiación de tecnologías educativas, diseño de contenidos, Moocs, exploración de algunos enfoques emergentes, STEM, ABPy, diplomados en diversas líneas Neurociencia, entre otros. |
| Evaluación | Evaluar en competencias Evaluación formativa |

De la tabla 1 se extrae que son pocas las ofertas con contenidos específicos sobre Neurociencia en programas de desarrollo profesional o formación continua consultadas a la fecha de inicio del estudio. Esta situación representó una oportunidad para considerar esta línea de abordaje en programas de mejoramiento del profesorado del ámbito universitario. Así, diversos estudios y publicaciones que han contribuido en la comprensión de temas como las bases neuronales del procesamiento numérico, el desarrollo de la cognición social y el diseño de programas neurocientíficos (Ansari y Coch, 2006; Blakemore y Frith, 2005; Goswami, 2004, 2006; Posner y Rothbart, 2005; Stern, 2005) argumentan que los programas que incluyen contenidos sobre Neurociencia pueden aportar significativamente al campo educativo. Por lo tanto, es importante considerar esta perspectiva al diseñar e implementar intervenciones que aborden estas temáticas.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la incidencia de un programa de formación basado en conocimientos y conceptos fundamentales de la Neurociencia cognitiva sobre el conocimiento didáctico para la enseñanza de las ciencias en un grupo de profesores universitarios colombianos de ciencias experimentales?

Metodología

La investigación fue de corte mixto siguiendo un diseño secuencial exploratorio, de alcance longitudinal (Creswell y Clark, 2011). En la etapa cualitativa, la categorización y el análisis descriptivo e interpretativo de los datos permitieron la construcción de los instrumentos y del sistema de categorías. Para la etapa cuantitativa se utilizaron parámetros estadísticos sobre la entrevista semiestructurada y el cuestionario Pre-test y Pos-test. La investigación se focalizó en un estudio de caso longitudinal, para lo cual fueron considerados 16 profesores universitarios del campo de las ciencias experimentales.

Participantes

Los criterios de selección se encuentran en la Tabla 2. Además de tener experiencia en docencia e investigación, debían presentar una vinculación en Facultades de Ciencias, Ingeniería y Educación en carreras científicas y/o en programas de formación de docentes en Ciencias Naturales o Experimentales. Adicionalmente, ninguno de los docentes había desarrollado de manera previa actividades relacionadas con Neurociencia dentro de sus planeaciones de clase.

Se obtuvo su consentimiento informado y aprobación ética para la participación. El rango de edades estuvo comprendido entre los 25 y los 65 años, indicando una media de 40,7 años. El nivel de profesores con Maestría fue el de mayor proporción con el 62.5%, seguido de doctorado con el 25% y con postdoctorado el 12.5%.

Tabla 2. Criterios de selección de los participantes

| | |
|---|--|
| Años de experiencia en docencia e investigación | Mayoritariamente superior a 10 años |
| Nivel de formación Posgrado | Maestría, Doctorado y Postdoctorado |
| Carreras profesionales asociadas a las ciencias experimentales y educación | 4 Químicos, 4 Físicos, 5 Biólogos, 2 Ingenieras, 1 Licenciado/Educación. |
| Vinculación en programas de pre y posgrado en ciencias experimentales Facultades de | Ciencias experimentales, Ingeniería, Educación. |
| Participantes finales para el estudio de caso | 16 docentes |

En la Tabla 3 se indican los diferentes niveles de formación. Es importante señalar que el 56% funge en actividades de docencia e investigación en niveles de pre y posgrado, mientras que el 45% en niveles de pregrado. El 77% ejerce sus actividades en una facultad de ciencias exactas o experimentales, el 20% en educación y el 14% en Ingeniería y otras facultades.

Tabla 3. Niveles de formación de los Docentes que participaron del programa de formación

| Formación posgrado | Áreas de conocimiento (especialidad) | Docentes participantes |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Maestría | Biología, Física, Química | 10 |
| Doctorado | Física, Ingeniería, Educación | 4 |
| Postdoctorado | Química, Física | 2 |
| Total | | 16 |

Por su parte, en relación con el sexo, fueron 10 hombres, lo que equivale al 62.5% y 6 mujeres, es decir el 37.5%.

Desarrollo del proceso de construcción del programa de formación en contexto

La intervención del estudio se basó en el diseño e implementación de un programa de formación tipo curso sobre *Neurociencia cognitiva y didáctica de las ciencias*, orientado para docentes del ámbito de la Educación Superior, con formación de base en ciencias experimentales (Físicos, Ingenieros, Químicos, Educadores en Ciencias y Biólogos con poca o nula formación en Didáctica y/o Pedagogía). Dicho programa se comenzó a desarrollar en el año 2020, no obstante, por la situación de emergencia sanitaria generada por la Covid -19, su implementación se tuvo que extender y modificar hasta finales del año 2021.

Tuvo una duración de 40 horas de actividades presenciales y 40 de actividades virtuales contempladas en un formato de 5 Seminarios-Talleres, cuyos contenidos específicos incluyeron concepción de enseñanza y aprendizaje de las ciencias: Estrategias didácticas y Metodologías para la enseñanza, Evaluación, Reflexión sobre la práctica, Conocimiento del contenido propio de las disciplinas, Bases disciplinares de la Neurociencia cognitiva, Técnicas de neuroimagen y Dominio socioafectivo. Hay que añadir, además de un periodo de observación longitudinal que duró casi dos años, donde se registraron las prácticas de aula y las actuaciones didácticas a través de registros de bitácoras y grabaciones.

Todo el proceso de intervención consideró una metodología práctica y reflexiva propia de las pedagogías activas, con un enfoque de habilidades y capacidades. Los temas específicos se desarrollaron a través de preguntas mediadoras cuya tipología propició la indagación, la investigación y un abordaje transdisciplinar. Los docentes vivenciaron todo el proceso a través de las preguntas y actividades prácticas, a la par que utilizaron diversidad de materiales creados para la mediación didáctica del programa, entre ellos: recursos digitales, registros sonoros, plataformas, softwares interactivos, animaciones, simulaciones, etc. Esto con el propósito de establecer las relaciones categoriales mediadas a través del programa e identificar sus repercusiones e incidencia sobre el conocimiento didáctico de los profesores del estudio.

Adicionalmente, tal y como se muestra en la Tabla 4, el diseño, estructuración e implementación del estudio tuvo diferentes fases.

Tabla 4. Fases del diseño e implementación del “Programa de formación en Neurociencia Cognitiva y Didáctica de las ciencias” PFNCDC y de la evaluación del desarrollo profesional

| Fases | Ámbito | Descripción | Cronograma | Acciones generales |
|------------------------|---|---|--|--|
| Fase de exploración | Diagnóstico | Desarrollo personal | Primer Semestre 2019 | Cuestionario diagnóstico, entrevista, ficha personal docente |
| | | Desarrollo profesional | Segundo semestre 2019 | Participación en el Seminario Didáctica de las ciencias y conversatorio |
| | | Desarrollo cognitivo | Segundo semestre 2019- primer semestre 2020 | Pruebas Psicométricas y registros de EEG |
| Fase de diseño | Estructura del programa | Validación y construcción inter/Transdisciplinar grupo Neurociencia | Segundo semestre de 2018-2019 | Cuestionario Pretest basado en los contenidos de neurociencia y didáctica avalado a juicio de expertos |
| | | Contenido curricular en Didáctica. | Segundo semestre 2019 | Diseño de los contenidos del programa. Transdisciplinar |
| | | Contenido curricular en Neurociencia cognitiva. | | |
| Fase de implementación | Programa PFNCDC | Seminarios 1, 2 y 3 | Primer semestre 2020 | CDC Reflexión sobre la praxis Conocimiento sobre la evaluación, los estudiantes, el currículo. |
| | | Seminarios 4 y 5 | Segundo semestre 2020, extendido a 2021 por Covid-19 | Fundamentación de la Neurociencia Cognitiva, Funciones ejecutivas asociadas al aprendizaje, Desarrollo neurocognitivo, aprendizaje y Neurofisiología |
| Fase de evaluación | Modelo de desarrollo profesional identificado | Trabajo de aula | 2021-2022 | Adecuaciones al contenido curricular (cuestionario Pos-test) |
| | | | | Cambios en los procesos evaluativos |
| | | | | Identificación de modelos de enseñanza |

Nota. Construcción a partir de las necesidades identificadas en todos los factores.

El desarrollo de las fases se fue adaptando debido a las circunstancias derivadas de la pandemia por Covid-19 en razón a los tiempos de ejecución y al trabajo con los docentes. Sin embargo, toda la implementación se llevó a cabo al extender el tiempo para su desarrollo.

La hipótesis de complejidad (HC) representa el marco metodológico para la construcción del sistema de categorías de análisis (Vázquez-Bernal et al., 2007; Retana Alvarado, 2018; Vázquez-Bernal et al., 2021). Su noción central es el desarrollo de la competencia del profesorado para interactuar, junto con su alumnado, de forma emancipadora con el entorno social y natural, a través de la acción y la reflexión orientada a la praxis. Se estipulan 3 categorías, como se muestra en la tabla 5, donde se articulan las siguientes

subcategorías: Estrategias de enseñanza, Modelos de formación continua y Desarrollo profesional, aunado a los conceptos específicos sobre Neurociencia (Biología y bases disciplinares, Emociones). Los niveles de desarrollo estimados fueron Inicial, considerado un obstáculo en tanto representa una visión lineal del conocimiento (Barrón, 2015), uno de Transición y otro Deseable de referencia en razón a su desarrollo, donde la complejidad arguye a la consolidación y búsqueda de nuevos modelos de desarrollo para la mejora docente (Gess-Newsome, 2015), que implique el reconocimiento de la reflexión, inclusión de problemas sociocientíficos y centrado en el estudiante.

Con base en esta hipótesis, que articulan conocimientos de los contenidos tanto de Didáctica de las Ciencias como de Neurociencia Cognitiva, se estructuró el sistema de categorías con descriptores y niveles de desarrollo estimados como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Segmento del Sistema de categorías para el análisis del cuestionario diagnóstico, definición de unidades

| Categorías | Subcategorías | Descriptores | Nivel de desarrollo | Codificación |
|--|--|---|---------------------|--------------|
| Didáctica de las Ciencias Experimentales | Estrategias, recursos y metodologías de enseñanza EEA | Definición de contenidos propios del objeto de estudio, la memoria es fundamental para el proceso de evaluación, el uso de recursos está relacionado con las condiciones de enseñanza desde la perspectiva del docente. | I | EEAB |
| | | Definición de contenidos del objeto de estudio, pero que van en tránsito hacia problemas del contexto, y se orientan al reconocimiento de la práctica con los recursos del medio, se identifican elementos que integran metodologías de enseñanza en tránsito hacia el aprendizaje centrado en el estudiante. | T | EEA |
| | | Definición de contenidos articulados en las necesidades del contexto con modelos centrados en el aprendizaje de los estudiantes y en correspondencia con metodologías emergentes y disruptivas que favorecen el abordaje de métodos que buscan la innovación educativa. | R | EEAI |
| Desarrollo profesional | Formación continua PFC | Cosmovisión reduccionista y tradicional lo que a su vez impide la inclusión de actividades innovadoras en sus diseños curriculares. | I | FIDT |
| | | Conocimiento de la materia o contenido, la reflexión a partir de la práctica. | T | FCDR |
| | | Nuevas actitudes para fortalecer su práctica docente e incorporar nuevas metodologías basadas en un conocimiento didáctico del contenido articulación con otras disciplinas. | R | FDM |

Tabla 5 (continuación)

| Categorías | Subcategorías | Descriptor | Nivel de desarrollo | Codificación |
|--|--|--|---------------------|--------------|
| Desarrollo profesional (continuación) | Modelos de Desarrollo profesional docente MDPD | Visión del desarrollo que vincula aspectos generales de su profesión, en términos sociales y personales. | I | MDPP |
| | | Construcción hacia la innovación curricular, articulada con la investigación sobre la práctica pedagógica, otorgando un mayor valor a dichos aspectos, no obstante, de manera incipiente comienza a reflexionar sobre la labor en el aula. | T | MDCI |
| | | Reflexión, conocimiento, indagación y preocupación por la labor docente, inserción de nueva metodologías y reflexión continua sobre la docencia, adquiriendo nuevas estrategias para el mejoramiento del proceso de enseñanza y aprendizaje al instalarse en un lugar reflexivo y crítico. | R | MDRI |
| | Modelos de enseñanza universitaria MEU | Reconocimiento de la praxis en el acto educativo destacando los elementos esenciales que lo constituyen y sus interacciones, identificándolos en la práctica. | I | MEUP |
| | | Establecimiento de criterios para adaptarse a modelos preestablecidos, aprender a aplicarlos, revisarlos y reconstruirlos. | T | MPEU |
| | | Modelizando la propia práctica docente previendo elementos sustanciales de aquellos ya elaborados e integrar aspectos propios centrando el aprendizaje en los estudiantes. | R | MPDE |
| Bases disciplinares Neurociencia Cognitiva (Programa de formación) | Relación con la Educación (proceso a escala gradual y progresiva) BDBE | Relaciones con la neurociencia incipientes que no constituye un enfoque actual. | I | BDBE |
| | | Jerarquización entre la educación y la neurociencia, comienzan estudios vinculantes de la práctica pedagógica y aportes de la neurociencia cognitiva a la enseñanza y el aprendizaje. | T | BDNC |
| | | Conocimiento de los procesos educativos hacia un modelo socialmente extendido de la cognición para el aprendizaje. | R | BDNE |

Tabla 5 (continuación)

| Categorías | Subcategorías | Descriptores | Nivel de desarrollo | Codificación |
|---|--|--|---------------------|--------------|
| Bases disciplinares Neurociencia Cognitiva (Programa de formación; continuación) | Biología, (aspectos fisiológicos, emocionales) | La mente es una "entidad" separada del cerebro, hay una visión fragmentada de las funciones. | I | BDNE |
| | | Disertación de los cuerpos neuronales y su relación con aspectos cognitivos, uso de técnicas diagnósticas para el análisis de funcionamiento ejecutivo. | T | BDNN |
| | | Articulación interdisciplinaria con nuevas investigaciones que buscan conectar los aspectos fisiológicos del cerebro en torno a las funciones biológicas, psicológicas, emocionales para explicar los mecanismos de expresión génica y su relación con el entorno. | R | BDNI |

Nota. I(Inicial) T(Transición), R(Referencia).

Se presenta solo un segmento debido al alto volumen de información del sistema completo. Las categorías y descriptores para el análisis fueron validadas a juicio de expertos, 3 Doctores en Didáctica de las Ciencias, 1 Doctor en Hermenéutica, y 3 expertos internacionales en Neurociencia y Psicología Evolutiva.

Instrumentos y tratamiento de la información

Si bien se diseñaron varios instrumentos, en este caso, solo se analizaron dos en este trabajo, la entrevista semiestructurada y el cuestionario Pre-test y Pos-test de conocimientos previos y adquiridos.

Entrevista semiestructurada

El formato del instrumento de recolección de datos consistió en 12 ítems, los cuales se organizaron desde el sistema de categorías de la tabla 5, siendo un instrumento de primer orden (ver anexo 1). El propósito de este formato fue profundizar en los CDC, específicamente (conocimientos, creencias y prácticas) de los profesores universitarios. Se buscaba indagar sobre sus conocimientos y percepciones acerca de su labor docente, las bases que sustentan el aprendizaje, sus estilos de enseñanza, aspectos metodológicos y las emociones presentes en su trabajo diario. De esta manera, se pretendía identificar cómo estos aspectos incidían en sus prácticas de aula antes y después de recibir el programa de formación. Se realizaron grabaciones en formato de audio con una duración aproximada de una hora por cada uno de los 16 docentes participantes, éstas fueron llevadas a cabo en el año 2019, antes de recibir el programa.

Posteriormente, los 12 ítems fueron organizados y analizados utilizando el software MAXQDA V2022. Estas preguntas se organizaron como categorías de análisis desde las 5 subcategorías, derivadas del sistema de la tabla 5 y fueron codificadas como: EEAB (Estrategias, recursos y metodologías de enseñanza), PFC (Programas de Formación continua), MDPP (Modelos de Desarrollo profesional docente), MEU (Modelos de enseñanza Universitaria), CSEU Emociones (Competencias socioemocionales), BDNE (Bases disciplinares de la Neurociencia Cognitiva). De esta manera, se configuraron los memos de códigos. Para analizar las relaciones categoriales desde el sistema creado, con

base en la hipótesis de complejidad, se diseñó la codificación con la elección de unidades de análisis dentro de los memos de códigos, los cuales incluían los conceptos específicos en las subcategorías que los participantes habían mencionado. Finalmente, el proceso de validación se llevó a cabo a juicio de 2 expertos, un Doctor en Didáctica de las Ciencias y un Doctor en Hermenéutica

Cuestionario pre-test y pos-test de conocimientos previos y adquiridos

El cuestionario pre-test y pos-test, (ver Anexo 2), contempló una prueba de 30 ítems, con afirmaciones sobre conceptos teóricos generales del campo de la Neurociencia, específicamente sobre *Neurofisiología, Aprendizaje y Técnicas de Neuroimagen*. Este cuestionario fue diseñado con base en los conceptos generales abordados en el programa de formación de manera específica sobre Neurociencia.

El cuestionario se utilizó con dos finalidades, la primera para identificar los conocimientos previos sobre conceptos generales propios de la categoría Neurociencia y, la segunda, para medir el resultado alcanzado por los 16 docentes del estudio, comparando el antes y el después de recibir el programa de formación. Además, se identificaron la ampliación del lenguaje sobre estas definiciones y sus implicaciones para su conocimiento didáctico, enseñanza de las ciencias y desarrollo profesional.

Se validó a juicio de 3 expertos internacionales, uno en Psicología Evolutiva y dos doctores en Neurociencia Cognitiva. Las respuestas a cada ítem fueron organizadas en términos porcentuales, señalando las respuestas acertadas, erróneas y las desconocidas.

Para el análisis se utilizó el programa estadístico IBM® SPSS Statistics 27.0 (Statistical Package for Social Sciences). Se realizó la prueba de Wilcoxon, prueba no paramétrica de hipótesis para muestras relacionadas, para contrastar el rango medio entre los dos momentos y determinar las diferencias entre ellos, una vez comprobado que se trataba de una distribución no Normal.

Resultados

Los resultados se presentan considerando los instrumentos utilizados. Inicialmente, se empleó una entrevista semiestructurada para analizar las frecuencias codificadas con las subcategorías, con el fin de identificar patrones recurrentes y establecer las unidades de análisis. Para establecer dichas unidades, se realizó un análisis de contenido, logrando el establecimiento de los patrones recurrentes y advertir y valorar el acercamiento al CDC de los docentes del estudio sobre las categorías descritas.

Posteriormente, en el caso del Pre-test/Pos-test (conocimiento previo y adquirido), se realizaron análisis de ponderaciones estadísticas mediante pruebas de hipótesis no paramétricas, estimándose los valores porcentuales en comparación de respuestas *correctas, incorrectas* y las declaradas como *desconocidas*. De esta manera, se evaluó el desempeño antes y después de recibir el programa de formación sobre los conceptos y conocimientos específicos de Neurociencia y la relación con la Didáctica de las Ciencias abordados en la intervención.

Análisis de las entrevistas

En la Tabla 6, se presenta la frecuencia de co-ocurrencias de los segmentos provenientes de las subcategorías *Metodología*, *Formación continua*, *Modelo de desarrollo profesional*, *Bases disciplinares de Neurociencia* y *Emociones*, en relación directa con la codificación y segmentación previamente descritas.

Tabla 6. Códigos de las entrevistas, 2019

| No. | Código | Memo de código | Segmentos por códigos |
|-----|--------|--|-----------------------|
| 1 | EEAB | Metodología, recursos, evaluación, currículo | 61 |
| 2 | PFC | Formación continua, cursos, auto concepto, tiempo | 58 |
| 3 | MDPP | Modelo de desarrollo profesional | 52 |
| 4 | MEU | Modelo de enseñanza Universitaria | 45 |
| 5 | BDBE | Bases disciplinares de la Neurociencia cognitiva, memoria atención | 24 |
| 6 | CSEU | Emociones | 30 |

Nota. Análisis a partir del software MAXQDA V2022.

En el contexto de las categorías de Didáctica de las Ciencias y Desarrollo Profesional, se observa una mayor frecuencia de relaciones que vinculan un conocimiento más cercano al desarrollo de procesos asociados con las subcategorías *Metodología*, *Formación continua* y *Modelos de enseñanza*. Esta tendencia puede deberse al conocimiento que los docentes generaron de procesos de formación continua o desarrollo profesional previos, donde se abordan y vinculan estos aspectos. Sin embargo, se nota una menor frecuencia en la consideración de conocimientos sobre *Neurociencia* y las *Emociones* en el ejercicio docente, lo que podría indicar un bajo dominio de estas áreas al inicio del estudio sobre las prácticas de aula. Por tanto, se destaca la necesidad de incluir estos aspectos en los programas de formación docente. Además, en la Tabla 7 se presentan los segmentos codificados, discriminando las frecuencias correspondientes a las relaciones categoriales de mayor prevalencia en el grupo de docentes, para cada participante.

Tabla 7. Matriz de codificación de entrevistas individual

| Entrevistas | EEAB | PFC | MDPP | MEU | BDBE | CSEU | SUMA |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| E1 | 5 | 3 | 6 | 5 | 1 | 3 | 23 |
| <i>*E2</i> | <i>7</i> | <i>5</i> | <i>3</i> | <i>*7</i> | <i>1</i> | <i>1</i> | <i>24</i> |
| E3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 15 |
| <i>*E4</i> | <i>8</i> | <i>*7</i> | <i>*7</i> | <i>1</i> | <i>*3</i> | <i>1</i> | <i>27</i> |
| E5 | <i>*9</i> | 6 | 2 | 4 | 1 | 1 | 23 |
| E6 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 18 |
| E7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 16 |
| E8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 |
| E9 | 6 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 16 |
| E10 | 5 | 4 | 4 | 5 | 2 | 1 | 21 |
| E11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 7 |

Tabla 7 (continuación)

| Entrevistas | EEAB | PFC | MDPP | MEU | BDBE | CSEU | SUMA |
|-------------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| E12 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 12 |
| E13 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 12 |
| E14 | 2 | 5 | 3 | 2 | 1 | 4 | 17 |
| E15 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 15 |
| E16 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 | 17 |
| Total | 61 | 58 | 52 | 45 | 24 | 30 | 270 |

Nota. Análisis con el software MAXQDA V2022.

Cuando un código se asigna con mayor frecuencia, esto se refleja en un número más alto al final de cada fila, que indica el total de códigos por entrevista. Por otro lado, en el resumen o sumatoria de las columnas, se muestra el número de codificaciones por código. Es importante destacar que todos los temas codificados recibieron respuesta por parte de los entrevistados.

En el análisis de los datos se observan correspondencias significativas de los profesores en las unidades de EEAB (*Estrategias, recursos y metodologías de enseñanza*), PFC (*Programas de Formación continua*), MDPP (*Modelos de Desarrollo profesional docente*), MEU (*Modelos de enseñanza Universitaria*), CSEU Emociones (*Competencias socioemocionales*), y BDBE (*Bases disciplinares de la Neurociencia Cognitiva*). Así, prevaleciendo en orden descendente de asociación, reconocimiento y relacionamiento. Además, en la figura 1, se aprecia la codificación creativa en un mapa de agrupación con la definición categorial establecida.

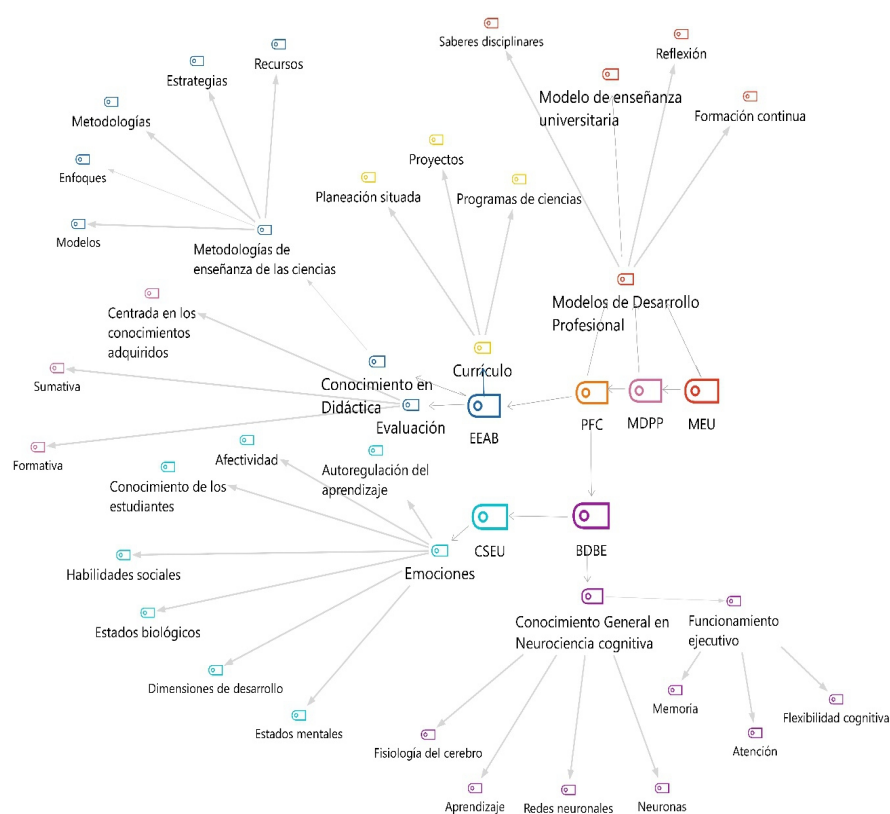


Figura 1. Codificación creativa de la asociación categorial MAXQDA 2022

Al considerar la relación de códigos de forma decreciente, se establece en primer lugar la percepción del valor de la intervención en términos de sus condiciones de posibilidad, aplicación y mejora para la enseñanza de las ciencias, así como su contribución al desarrollo profesional. Posteriormente, es importante identificar los componentes del conocimiento didáctico que los profesores poseen, dado que la mayoría cuenta con una formación disciplinar diferente a la Pedagogía, lo que resulta en frecuencias relativamente bajas en todos los segmentos analizados. Sin embargo, es factible establecer las relaciones y la articulación de los componentes que configuran un marco de conocimiento didáctico del contenido general del grupo de profesores como pudo apreciarse en la segmentación de las unidades de análisis recurrentes.

De igual manera, se destaca la conexión entre las respuestas sobre la utilidad de programas de formación continua en el campo de la Neurociencia Cognitiva desde sus bases disciplinares, esto deriva en cómo el conocimiento del cerebro podría vincular aspectos del dominio socioafectivo, lo que a su vez lograría coadyuvar al proceso de autorregulación del aprendizaje.

En suma, es importante señalar que, ante las preguntas orientadas hacia el deseo de participar en un proceso de formación basado en estos contenidos y, la posible relación con la enseñanza de las ciencias, se aplicó un análisis de sentimiento automático y como resultado se identificó un marcado interés, porque se obtuvieron clasificaciones positivas en la totalidad de los entrevistados, lo que advierte la articulación interdisciplinaria, ya que señalaron la importancia de conocer cómo se conectan los aspectos fisiológicos del cerebro en torno a las funciones biológicas, psicológicas y sociales para explicar los mecanismos de adquisición de aprendizaje, su relación con el entorno y así fortalecer la enseñanza, como aspectos diferenciales en su CDC.

Cuestionario pre-test y pos-test de conocimiento sobre Neurociencia Cognitiva

Para el análisis de este instrumento, se aplicó la prueba de Kolmogorov- Smirnov y se obtuvo que ambas muestras no provenían de poblaciones normales. Se rechazó la hipótesis nula (H_0) para todas las variables, ya que los valores obtenidos fueron inferiores al nivel de significación del 5% ($p < 0,05$). En consecuencia, se realizó la prueba de hipótesis no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para evaluar las diferencias entre antes y después de la intervención. Los resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba de Hipótesis con rangos de Wilcoxon

| Hw | P | Media (M) | Desviación (SD) | Potencia ($1 - \beta$) | d (Wilcoxon Test) |
|-----------|----------|------------------|------------------------|--|--------------------------|
| 101.433 | 0.001* | 37.12 (6.043) | 53.44(3.183) | 0.999 (muy alta) | 337 (muy fuerte) |

Nota. Análisis con el software SPSS V27.

En la Tabla 8, se observa un valor de ($p = 0.001$), lo que indica que la intervención tuvo un impacto significativo y que las diferencias fueron muy robustas. Esto confirma que los docentes lograron un desempeño sobresaliente en la prueba como resultado del programa de formación. Además, el valor de la potencia ($1 - \beta = 0.999$) obtenido es muy alto, lo que indica una progresión significativa en el conocimiento de los contenidos asociados con Neurociencia. Se obtuvieron porcentajes superiores en cada ítem, lo que refleja una mejora sustancial en la comprensión de los conceptos.

A continuación, en la Figura 2 se presentan los conceptos en porcentaje de la prueba aplicada en 2019, lo que reveló un desconocimiento significativo en algunos enunciados de

Neurociencia, ya que se obtuvieron valores porcentuales que superaron la probabilidad de error.

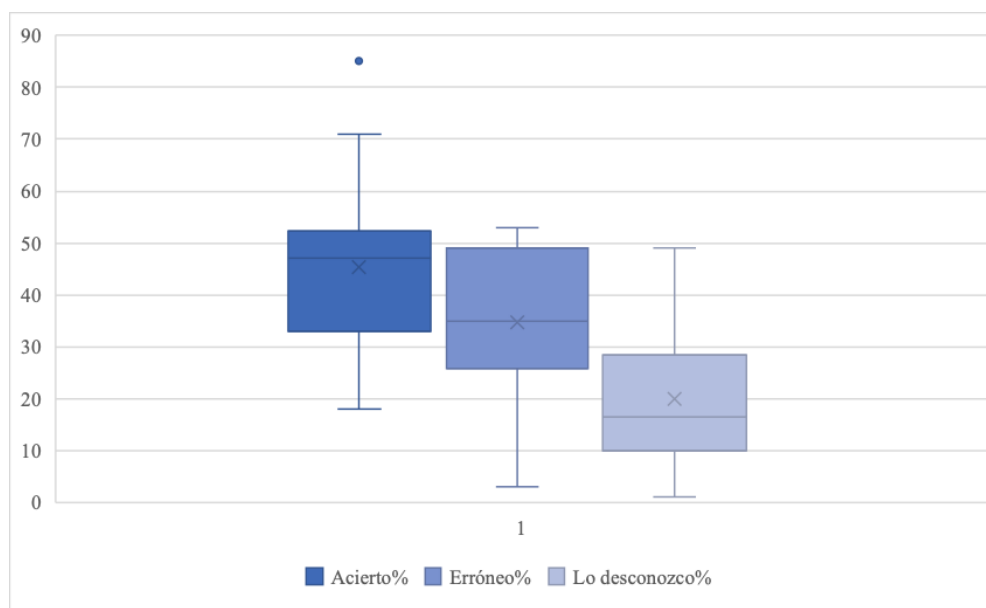


Figura 2. Comparación de las respuestas del Pre-test

En el Pre-test se puede observar que no hubo mayor diferencia entre los valores de las respuestas acertadas y erróneas, siendo las respuestas de lo desconozco más superiores en esta fase.

En la Figura 3, se observa un aumento en el porcentaje de aciertos del cuestionario y una disminución en las respuestas erróneas, lo que indica que los profesores adquirieron conocimientos teóricos y prácticos a través de la intervención y desarrollo de estrategias metodológicas, evaluativas y curriculares, implementadas en sus planeaciones. En la Figura 4, se muestra el porcentaje de aciertos antes y después del proceso de formación, y se observa una notable progresión en los valores porcentuales, lo que confirma la eficacia del programa de formación en el grupo.

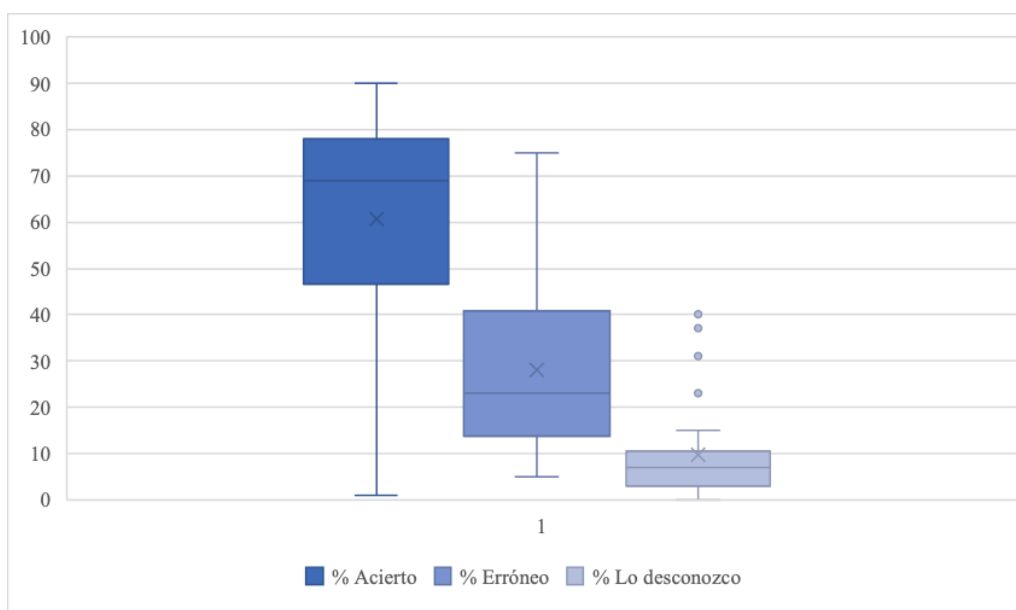


Figura 3. Comparativo de resultados del Pos-test 30 enunciados

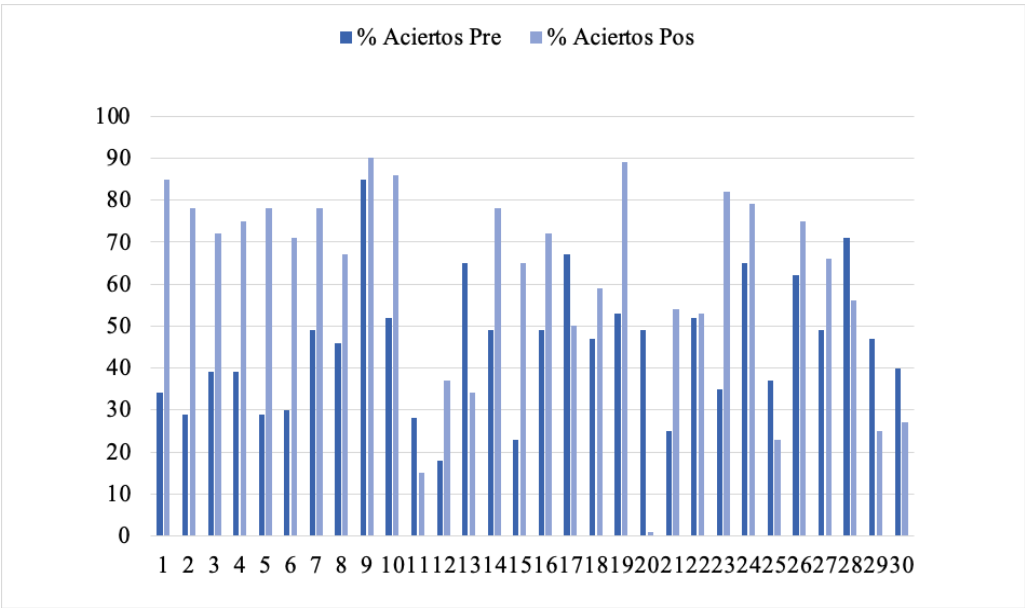


Figura 4. Comparativo de aciertos entre el Pre y Pos-test

En conclusión, se observa un notable aumento en el porcentaje de respuestas acertadas, lo que supera algunas creencias falsas sobre el funcionamiento del cerebro y su influencia en el proceso de aprendizaje. Teniendo en cuenta estos resultados, se solicitó a los docentes universitarios que identificaran los enunciados del cuestionario que contribuyeron a su labor docente e investigativa, fortaleciendo, modificando y/o potenciando su proceso de enseñanza de las ciencias. En este sentido, los profesores seleccionaron los enunciados que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Enunciados elegidos

| Conceptos | Número | Ítems |
|---|--------|--|
| Neurofisiología, Aprendizaje, Técnicas de Neuroimagen | 5 | La dopamina es un neurotransmisor que interviene en las acciones de recompensa. |
| | 6 | Las emociones tienen un desarrollo neurofisiológico. |
| | 8 | La memoria semántica relaciona hechos y la memoria episódica recuerdos. |
| | 9 | El aprendizaje está mediado por las conexiones sinápticas que requieren de los potenciales de acción para la liberación de neurotransmisores. |
| | 11 | Sin el hipocampo no existe la memoria activa. |
| | 14 | La retroalimentación o feedback es un proceso necesario para consolidar aprendizajes más eficientes. |
| | 19 | El cerebro se moldea sobre la base de la información y la experiencia, más que por un determinismo ontogenético. |
| | 20 | La transformación de las capacidades biológicas en habilidades, constituyen la posibilidad del conocimiento. |
| | 25 | A mayor cantidad de redes neuronales, mayor sería la capacidad de desarrollar procesos cognitivos superiores. |
| | 29 | La fMRI permiten observar una “arquitectura de los procesos cerebrales” en contraste con las regiones donde no se presenta respuesta cortical. |
| | 30 | El aprendizaje y/o la adquisición de nuevo conocimiento aumenta la actividad cerebral en respuesta a los estímulos de la experiencia. |

Cabe destacar que los enunciados elegidos estaban en los presentados de manera correcta. De los 16 profesores, 12 eligieron los ítems (5, 6, 8, 11, 20, 29, 30) y los 4 restantes eligieron los ítems (9, 14, 19, 25).

Además, como se indica en la Figura 5, 10 profesores incluyeron en sus actividades de planificación y diseño curricular:

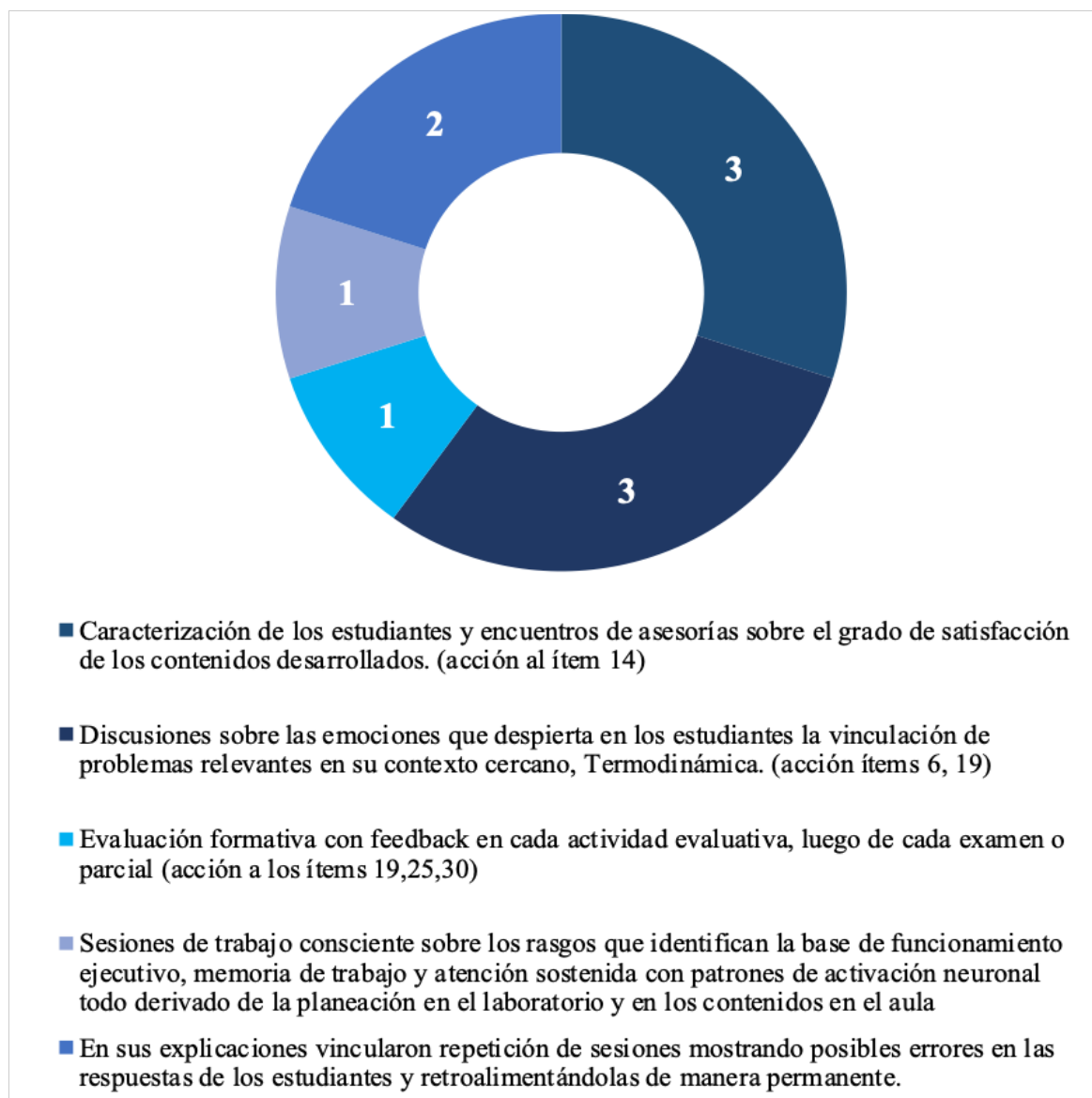


Figura 5. Adecuaciones Didácticas de las planeaciones generadas por los docentes, el número representa los docentes del estudio que incluyeron dicho ajuste a sus planeaciones.

Estas adaptaciones requieren una reflexión sobre la aplicación práctica, orientada a mejorar el desarrollo profesional desde un modelo deseable en transición hacia un enfoque que supere los métodos tradicionales de enseñanza, a fin de involucrarse en enfoques que incluyan la resolución de problemas desde una perspectiva sociocientífica. Esto implica, al mismo tiempo, una transición hacia un modelo centrado más en el estudiante.

Discusión y conclusiones

Como se ha podido comprobar en este estudio, los docentes participantes antes de comenzar la intervención centraban sus actuaciones didácticas en la retención memorística y acumulativa de los contenidos, a pesar de que algunos tenían formación disciplinar en Biología, si bien ninguno consideraba las bases subyacentes a nivel morfofisiológico del aprendizaje en sus prácticas de aula, ni tampoco dimensionaban de manera formal acciones de su CDC. Ahora bien, después de la intervención y a través de la aplicación del Pos-test y el periodo de observación en el aula, los resultados obtenidos sugieren que el diseño e implementación del programa de formación en contenidos sobre Neurociencia Cognitiva y Didáctica de las Ciencias Experimentales, para el grupo de docentes universitarios, tuvo una incidencia significativa en sus prácticas de aula y en el fortalecimiento de sus actuaciones didácticas. En este sentido, generaron alternativas novedosas a nivel metodológico y evaluativo, lo que resalta la influencia positiva de la intervención en sus enfoques de enseñanza. Además, el diseño transdisciplinar del programa como lo sustentan Palgath et al. (2017), permitió exponer la necesidad de integrar métodos de diversas disciplinas para abordar problemas, incluyendo los relacionados con la educación. Estos resultados pudieron darse presuntamente por los tiempos de intervención (Desimone, 2009) y el diseño metodológico que guio el programa, al incluir preguntas de corte indagatorio.

Por otro lado, es importante destacar la escasez de estudios que identifiquen cambios en el desarrollo profesional de docentes universitarios de ciencias experimentales, especialmente aquellos que se basen en la Neurociencia cognitiva y que se realicen de manera longitudinal a lo largo de dos años de observación de la práctica docente. Esta carencia subraya la relevancia de comprender los contenidos asociados al diseño del programa, ya que pone de manifiesto la necesidad de investigaciones que aborden esta temática de forma más amplia y a largo plazo. Este hecho concuerda con el estudio de Díaz-Cabriales (2021), quien identificó el componente neuro educativo en programas de formación y profesionalización docente en México, estableciendo que la mayoría de dichos contenidos se relacionaban con licenciaturas y poco menos con ofertas de maestrías o doctorados, además de no contemplarse un diseño para formación continua hacia docentes de carreras afines a las ciencias experimentales como plan de mejoramiento.

Se destaca que, los programas de formación con un enfoque específico en el campo de la Neurociencia pueden fortalecer el conocimiento disciplinar de los docentes en educación superior, ya que según Howard-Jones et al. (2020), proporcionan a los docentes una comprensión de cómo en el cerebro, el proceso de aprendizaje puede generar efectividad en las estrategias pedagógicas y didácticas para la enseñanza.

En este sentido, la aproximación hacia una mejor comprensión didáctica del contenido fue fundamental para enriquecer la labor docente de los profesores, ya que hay un viraje entre su conocimiento disciplinar y las estrategias de enseñanza de los contenidos referentes al campo de la neurociencia, y, en este caso, cada uno pudo acercarse a modelos más centrados en el aprendizaje de sus estudiantes, lo que concuerda con los resultados de Anderson et al., (2018), quienes reportaron mejoras positivas estadísticamente significativas en las acciones pedagógicas focalizadas en los modelos de aprendizaje de éstos.

Otro hallazgo significativo fue el de poder asociar conceptos relevantes del proceso que subyace al aprendizaje y reconocer que la actividad neuronal mantiene la información en

línea en la memoria de trabajo (Roelfsema, 2005; Roelfsema et al., 2000; Zylberberg et al., 2011), logrando interesantes adecuaciones curriculares de asignaturas a partir de actividades de atención, memoria y registro de trabajos cooperativos. Esto concuerda con investigaciones previas (Ansari et al., 2012; Howard-Jones, 2014) quienes propenden por el diseño de programas basados en las Neurociencias orientadas hacia la mejora del rendimiento y las habilidades académicas, entrenando funciones ejecutivas como la atención y la memoria o el desarrollo de intervenciones basadas en la evidencia para su uso en el aula, proporcionando recursos para la colaboración entre educadores y neurocientíficos.

Otro de los resultados fue las adecuaciones en los mecanismos evaluativos que permiten, como lo exponen Loughran et al., (2003), la posibilidad de que los profesores puedan documentar y reflexionar sobre sus objetivos de enseñanza y se conviertan en práctica de aula de manera permanente, potenciando su desarrollo profesional. Las evaluaciones comenzaron a tener una identidad diferencial al considerar no solo los obstáculos epistemológicos que permean las creencias iniciales de los estudiantes, sino también, las ausencias de vinculación que éstas tienen con los problemas relevantes por ser tradicionalmente abordadas de manera acumulativa y contenidista.

También hay que destacar que los docentes que generaron cambios a nivel didáctico en su práctica fueron quienes trataron de potenciar tareas del orden metacognitivo, esto fue, planear, supervisar y evaluar de manera más consciente, a través de la elección y realización de actividades concretas y descritas como las que se indican en la figura 5, pues se precisa de un proceso reflexivo para acercarse al aprendizaje para potenciar cambios en la enseñanza (Gaskins y Elliot, 2005).

Adicionalmente, la articulación disciplinaria entre Neurociencia y Educación precisa el que se reconozcan nuevas actitudes conducentes al fortalecimiento de la práctica docente (Butterworth y Tolmie, 2017), al comprender mecanismos que subyacen al aprendizaje con una nueva funcionalidad curricular y evaluativa e incorporar acciones metacognitivas basadas en su conocimiento didáctico con otras disciplinas, y, de manera específica, al incorporar nuevo conocimiento o reforzar el previo sobre los procesos sinápticos, con las bases disciplinares abordadas y poder articularlas con su CDC. En tal virtud, se destaca el foco que dieron a los problemas relevantes a nivel socio-científico al diseñar ciertos casos prácticos y contextuales, este hecho concuerda con un modelo enfocado hacia la resolución de problemas expuesto por García y Martín (2017).

Consecutivamente, el diseño longitudinal del programa de formación contempló la necesidad de desarrollar actividades de repetición con ejemplos, preguntas mediadoras, diversidad de materiales, específicamente los relacionados con Neurofisiología y aprendizaje para superar la condición de retención memorística, ya que el papel del lóbulo temporal medial y, especialmente el hipocampo en la memoria episódica está bien establecido (Moscovitch, et al., 2016). Así, los contenidos desarrollados eran reafirmados no solo por la retención de la información recibida, sino por su puesta en ejercicio en la práctica educativa.

Resumiendo, el efecto del programa de formación que partió de la motivación e interés por el fortalecimiento del desarrollo profesional y la mejora de la enseñanza de las ciencias en el contexto universitario fue evidente, puesto que potenció el conocimiento asociado que traían consigo el grupo de docentes, específicamente los referidos a Neurociencia cognitiva en las categorías establecidas desde el sistema.

Sin embargo, es importante señalar que durante el tiempo de confinamiento derivado por la emergencia sanitaria por Covid-19, en su dimensión socioafectiva, supuso para los docentes un aumento de los niveles de estrés, falta de motivación e incertidumbre, lo que influyó en el manejo de sus emociones y, por ende, en el desarrollo de sus actuaciones académicas y profesionales. Este hallazgo, como el de muchos otros, ha dejado en evidencia los problemas que ha ocasionado la pandemia (Cooker et al., 2021; Medina-Gual et al., 2021; Pozo, 2020), lo cual puede considerarse una limitación importante del estudio.

Referencias

- Anderson, R. K., Boaler, J. y Dieckmann, J. A. (2018). Achieving elusive teacher change through challenging myths about learning: A blended approach. *Education Sciences*, 8(3), 98. <https://doi.org/10.3390/educsci8030098>
- Ansari, D. y Coch, D. (2006). Bridges Over Troubled Waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.02.007>
- Ansari, D., Coch, D. y De Smedt, B. (2011). Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where will the journey take us? *Educational Philosophy and Theory*, 43(1), 37-42. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00705.x>
- Ansari, D., De Smedt, B. y Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation –a critical overview of an emerging field. *Neuroethics*, 5(2), 105-117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Barrón Tirado, M. C. (2015). Concepciones epistemológicas y práctica docente. Una revisión. *REDU - Revista de Docencia Universitaria*, 13 (1), 35-56. <https://doi.org/10.4995/redu.2015.6436>
- Berry A., Depaepe F. y Van Driel J. (2016). Pedagogical Content Knowledge in Teacher Education. En J. Loughran y M. Hamilton (Eds.), *International Handbook of Teacher Education* (pp. 347-386). Singapur: Springer.
- Buttelmann F. y Karbach J. (2017) Development and plasticity of cognitive flexibility in early and middle childhood. *Frontiers Psychol*, 8(1040). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01040>
- Blakemore S. J. y Frith U. (2005). The learning brain: Lessons for education: A precis. *Developmental Science*, 8, 459–465. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00434.x>
- Butterworth, B. y Tolmie, A. (2017). Introduction. En D. Mareschal, B. Butterworth y A. Tolmie (Eds.). *Educational Neuroscience* (pp. 1-13). Chichester: John Wiley y Sons.
- Brault 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, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Bruer, J. T. (1997) Education and the Brain: A bridge too far, *Educational Researcher*, 26(8), pp.4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X026008004>
- Cardoso-Leite, P., Ascher, P. y Bavelier, D. (2012). Brain plasticity: Paradoxical case of a neurodegenerative disease? *Current biology*, 22(20), R884-R886. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.017>

- Cantor, P., Osher, D., Berg, J., Steyer, L. y Rose, T. (2018). Malleability, plasticity, and individuality: How children learn and develop in context. *Applied Developmental Science. The science of learning and development* (pp. 3-54). Routledge. <https://doi.org/10.1080/10888691.2017.1398649>
- Cooker, L., Cotton, T. y Toft, H. (2021). *Transforming Teaching: Global Responses to Teaching Under the Covid-19 Pandemic*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003150596>
- Coch, D. y Daniel, D.B. (2020). Lost in Translation: Educational Psychologists as Intermediaries Between Neuroscience and Education. *Frontiers in Education*, 5(618464). <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.618464>
- Creswell, J.W. y Clark, V.L.P. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications.
- Desimone, L.M. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher*, 38(3), 181-199. <https://doi.org/10.3102/0013189X08331140>
- Díaz-Cabriales, A. (2021). La neuroeducación en los programas de formación y profesionalización docente en México. *Ciencia y Educación*, 5(2), 63-78. <https://doi.org/10.22206/cyed.2021.v5i2.pp63-78>
- Dubinsky J.M. (2010). Neuroscience Education for Prekindergarten–12 Teachers. *Journal of Neuroscience*, 30, 8057–8060. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2322-10.2010>
- Dundar, S. y Gunduz, N. (2016). Misconceptions regarding the brain: The neuromyths of preservice teachers. *Mind, Brain, and Education*, 10, 212-232 <https://doi.org/10.1111/mbe.12119>
- Elouafi, L., Said, L. y Talbi, M. (2021). Progress report in neuroscience and education: experiment of four neuropedagogical methods. *Education Sciences*, 11(373). <https://doi.org/10.3390/educsci11080373>
- Ezquerro, A. y Ezquerro-Romano, I. (2019). Using neuroscience evidence to train pre-service physics teachers on the concepts of heat and cold. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287, 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012038>
- Fraser, S. (2016). Pedagogical Content Knowledge (PCK): Exploring its Usefulness for Science Lecturers in Higher Education. *Research in Science Education*, 46 (1), 141-161. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9459-1>
- García, M.B. y Martín, S.S. (2017). Identificación de concepciones de profesores universitarios sobre la enseñanza y la evaluación. *Revista Docencia Universitaria*, 18(1),81-103.<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistadocencia/article/view/7316>
- Gaskins, I. y Elliot, T. (2005). *Como enseñar estrategias cognitivas en la escuela. El manual Benchmark para docentes*. Buenos Aires: Paidós.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and Education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1–14. <https://doi.org/10.1348/000709904322848798>
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 406–411. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>

- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. En Berry, A., Friedrichsen, P., Loughran, J. (Eds) *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge.
- Howard-Jones, P. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Horvath, J. C. y Donoghue, G. M. (2016). A Bridge Too Far – Revisited: Reframing Bruer’s Neuroeducation Argument for Modern Science of Learning Practitioners. *Frontiers in Psychology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00377>
- Kirschner, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gess-Newsome, J. y von Aufschnaiter, C. (2016). Developing and evaluating a paper-and-pencil test to assess components of physics teachers’ pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 38(8), 1343-1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1190479>
- Loughran, J., Mitchell, I. y Mitchell, J. (2003). Attempting to document teachers’ professional knowledge. *Qualitative Studies in Education*, 16(6), 853-873. <https://doi.org/10.1080/09518390310001632180>
- Mauro, A. (2020). El Programa Mente Cerebro Educación: Un estudio epistemológico. *Síntesis*, 10, 199–220.
- Medina-Gual, L., Chao-Rebolledo, C., Garduño-Teliz, E., González-Videgaray, M. C., Baptista-Lucio, P., Montes-Pacheco, L. C., ... y Ojeda-Núñez, J. A. (2021). *Educación en contingencia*. <https://educarencontingencia.net>
- Moscovitch, M., Cabeza, R., Winocur, G. y Nadel, L. (2016). Episodic memory and beyond: the hippocampus and neocortex in transformation. *Annual review of psychology*, 67, 105. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143733>
- Palghat, K., Horvath, J. C. y Lodge, J. M. (2017). The hard problem of ‘educational neuroscience’. *Trends in Neuroscience and Education*, 6, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2017.02.001>
- Posner, M.I. y Rothbart, M.K. (2005). Influencing Brain Networks: Implications for education. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.007>
- Pozo, J. I. (2020). *¡La escuela está desnuda! Lo que deberíamos aprender de la escuela confinada*. España: Biblioteca Innovación Educativa
- Pickering S. J. y Howard-Jones P. A. (2007). Educators’ views on the role of neuroscience in education: Findings from a study of UK and international perspectives. *Mind, Brain, and Education*, 1, 109–113. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00011.x>
- Retana Alvarado, D. A. (2018). *El cambio en las emociones de maestros en formación inicial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basada en la indagación*. Tesis doctoral. Recuperado de: <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/21456>
- Roelfsema, P. R. (2005). Elemental operations in vision. *Trends in cognitive sciences*, 9(5), 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.012>

- Roelfsema, P. R., Lamme, V. A. y Spekreijse, H. (2000). The implementation of visual routines. *Vision research*, 40(10-12), 1385-1411. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00004-3)
- Salvado Ortega, J. J. (2020). Las potencialidades del uso del lenguaje positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, (15), 81-103. <https://doi.org/10.51302/tce.2020.369>
- Seymour, E. (2002). Tracking the processes of change in U.S. undergraduate education in science, mathematics, engineering, and technology. *Science Education*, 86, 79-105 <https://doi.org/10.1002/sce.1044>
- Sigman, M., Peña, M. y Goldin, A. (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, 17, 497-502. <https://doi.org/10.1038/nn.3672>
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.2307/1175860>
- Schwartz, M. S., Hinesley, V., Chang, Z. y Dubinsky, J. M. (2019). Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices. *Teaching and Teacher Education*, 83, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.04.002>
- Stern, E. (2005). Pedagogy Meets Neuroscience. *Science*, 310, 745. <https://doi.org/10.1126/science.1121139>
- Tan, Y. S. M. y Amiel, J. J. (2022). Teachers learning to apply neuroscience to classroom instruction: case of professional development in British Columbia. *Professional Development in Education*, 48(1), 70-87. <https://doi.org/10.1080/19415257.2019.1689522>
- Valk, S. L., Bernhardt, B. C., Trautwein, F. M., Böckler, A., Kanske, P., Guizard, N., Collins, D. L. y Singer, T. (2017). Structural plasticity of the social brain: Differential change after socio-affective and cognitive mental training. *Science Advances*, 3(10), e1700489. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700489>
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. y Mellado Jiménez, V. (2007). El desarrollo profesional del profesorado de ciencias como integración reflexión y práctica. La Hipótesis de la Complejidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 372-393. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i3.01
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., Mellado, V. y Taboada, M. (2012). The process of change in a science teacher's professional development: A case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education*, 96(2), 337-363. <https://doi.org/10.1002/sce.20474>
- Vázquez-Bernal, B., Mellado Jiménez, V. y Jiménez-Pérez, R. (2021). The long road to shared PCK: A science teacher's personal journey. *Research in Science Education*, 51(5). <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10028-4>
- Zylberberg, A., Dehaene, S., Roelfsema, P. R. y Sigman, M. (2011). The human Turing machine: a neural framework for mental programs. *Trends in cognitive sciences*, 15(7), 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.05.007>

Anexo 1. Formato de la entrevista

1. ¿Por qué consideraría útil participar en un programa de formación sobre Neurociencia y qué le aportaría a su práctica docente?
2. ¿Cómo relacionaría dichos contenidos con la enseñanza de las ciencias en situaciones y problemas socialmente relevantes?
3. ¿Qué elementos ha introducido para el desarrollo de su actividad académica en términos metodológicos, curriculares y evaluativos?
4. ¿Ha diseñado algún tipo de estrategia pedagógico-didáctica y/o metodológica para vincular a sus estudiantes en su proceso educativo? De ser así, ¿cuáles fueron?
5. ¿Qué conocimientos específicos tiene sobre el proceso de aprendizaje y cree que son suficientes fundamentos para su comprensión?
6. ¿Ha diseñado algún tipo de actividad para caracterizar a sus estudiantes y reconocer sus habilidades socioemocionales y cuáles han sido? Mencionarlas.
7. ¿Cuáles cree que serían los aspectos didácticos que le ayudarían a potenciar su labor docente para la enseñanza de contenidos y prácticas científicas?
8. ¿Cómo explica o considera que se da el proceso de aprendizaje en los seres humanos?
9. ¿De qué manera articula su desarrollo profesional con la investigación educativa y disciplinar para su labor en el aula?
10. ¿Podría señalar algún método para comprender el funcionamiento ejecutivo y/o neuronal de adultos jóvenes?
11. ¿Reconoce algún estilo de enseñanza? Si es así, ¿de qué manera lo hace y qué estrategias utiliza con esa información para su desarrollo docente?
12. ¿Qué tipo de emociones experimenta en su trabajo como docente universitario?

Anexo 2. Cuestionario de conocimiento previo y adquirido sobre las bases biológicas de la Neurociencia Cognitiva: Funcionamiento del cerebro y algunos conceptos desarrollados en el programa de formación.

Bloque I. Diligenciar los siguientes datos.

P1-R-PRE-POS: ID de sujeto participante

P2-R-PRE: ID de género

P3-R-PRE: Rango de edad

P4-R-PRE: Máximo nivel educativo

P5-R-PRE: Área de conocimiento profesional

P6-R-PRE: Tiempo de experiencia universitaria en años

Bloque II. Lea las siguientes afirmaciones y basado en su conocimiento, elija entre las siguientes opciones, la que considere para cada una: 1 (acertada) 2 (errónea), 3 (Lo desconozco). [PRE-POS]

P7-NEU1: El cerebro anterior es vital para las funciones más elevadas: lenguaje, memoria, emoción, pensamiento.

P8-NEU2: El cuerpo celular es el resultado de un número de dendritas y éstas se ramifican muy poco en todas las neuronas.

P9-NEU3: La producción de mielina en el axón es fundamental para la transferencia de información entre neuronas.

P9-NEU3: La producción de mielina en el axón es fundamental para la transferencia de información entre neuronas.

P10-NEU4: El lenguaje se desarrolla en el hemisferio izquierdo del cerebro.

P11-NEU5: La dopamina es un neurotransmisor que interviene en las acciones de recompensa.

P12-NEU6: Las emociones tienen un desarrollo neurofisiológico.

P13-NEU7: Las hormonas influyen en el estado interno del cuerpo, no en la personalidad de una persona.

P14-NEU8: La memoria semántica relaciona hechos y la memoria episódica recuerdos.

P15-AP9: El aprendizaje está mediado por las conexiones sinápticas.

P16-NEU10: La pérdida de una región del cerebro jamás será soportada por otra, causando un daño total al órgano.

P17-NEU11: Sin el hipocampo no existe la memoria activa.

P18-NEU12: Las neuronas motor de la médula espinal también hacen parte del desarrollo sináptico.

P19-NEU13: La percepción es la apreciación inconsciente de los estímulos sensoriales.

P20-AP14: La retroalimentación o *feedback* es un proceso necesario para consolidar aprendizajes más eficientes.

P21-NEU15: Mientras más grande sea el cerebro de una especie, mayor ha de ser el número de neuronas en su corteza.

P22-NEU16: Gracias a la secuenciación y evolución, el cerebro se ha mantenido constante a pesar de los cambios en el entorno.

P23-AP17: La corteza cerebral es indispensable para desarrollar un comportamiento complejo y flexible, sin ella no podría desarrollarse el conocimiento.

P24-AP18: Un cerebro evolucionado es poco flexible para ser más complejo y así facultar comportamientos diferenciales.

P25-AP19: El cerebro se moldea sobre la base de la información y la experiencia, más que por un determinismo ontogenético.

P26-AP20: La transformación de las capacidades biológicas en habilidades, constituyen la posibilidad del conocimiento.

P27-AP21: Hacer ejercicio y dormir bien, se constituyen en mitos sobre el mejoramiento en las condiciones de aprendizaje.

P28-AP22: La cantidad de neuronas es inversamente proporcional a la generación de capacidades cognitivas y al desarrollo de nuevo conocimiento.

P29-NEU23: Las neuronas presentan un tamaño estandarizado en el cerebro humano.

P30-NEU24: Las células gliales o glías son más pequeñas que las neuronas.

P31-AP25: A mayor cantidad de redes neuronales, mayor sería la capacidad de desarrollar procesos cognitivos superiores.

P32-NEU26: Las funciones ejecutivas son procesos que se adquieren desde el nacimiento.

P33-AP27: El sueño es inoperante en el aprendizaje, ya que cuando se duerme el cerebro descansa.

P34-TNI28: Las técnicas de neuroimagen permiten observar el total funcionamiento de cada región del cerebro, todo ello utilizando EEG.

P35-TNI29: La fMRI permiten observar una “arquitectura de los procesos cerebrales” en contraste con las regiones donde no se presenta respuesta cortical.

P36-AP30: El aprendizaje y/o la adquisición de nuevo conocimiento aumenta la actividad cerebral en respuesta a los estímulos de la experiencia.

Bloque III. De los 30 enunciados presentados en el cuestionario, señale aquellos que contribuyeron con su labor docente e investigativa y cuya información fortaleció, modificó y potenció su proceso de enseñanza de las ciencias.

Nota. P: Pregunta, PRE: Previo, POS: Adquirido, R: Requerido, NEU: Neurobiología, AP: Aprendizaje, TNI: Técnicas de Neuroimagen.
