

Neurociencia educativa: aportes aplicados a la educación formal

Una revisión de la literatura

Álvaro López Mayorga

Juan Diego Vargas

Universidad El Bosque

Facultad de Educación

Programa de Especialización en Docencia Universitaria

Colombia, Bogotá D.C

Abril-2021

Neurociencia educativa: aportes aplicados a la educación formal

Una revisión de la literatura

Álvaro López Mayorga

Juan Diego Vargas

Trabajo de grado para optar el título de
Graduado en Especialización en Docencia Universitaria

Directora

Dra. Monica Sandoval Sáenz

Universidad El Bosque

Facultad de Educación

Programa de Especialización en Docencia Universitaria

Colombia, Bogotá D.C

Junio- 2021

Artículo 37

Ni la Universidad El Bosque, ni el jurado serán responsables de las ideas propuestas por los autores de este trabajo.

Acuerdo 017 del 14 de diciembre de 1989

Agradecimientos

A todos y cada uno de los miembros del cuerpo docente de la especialización en Docencia Universitaria y a todos nuestros compañeros de clase.

Resumen

La neurociencia educativa es un campo interdisciplinario entre las neurociencias y la educación dadas para el favorecimiento de la comprensión y aplicación de conocimientos y metodologías educativas. La educación formal es un modelo educativo sistemático, organizado, estructurado y tiene un conjunto de características bien definidas. El presente estudio expone las aportaciones aplicadas que la neurociencia ha efectuado a los escenarios de formación reglada, así como también las limitaciones y alcances que estas contribuciones tienen efecto en la relación enseñanza-aprendizaje

Summary

Educational neuroscience is an interdisciplinary field between neurosciences and education given to promote the understanding and application of educational knowledge and methodologies. Formal education is a systematic, organized, structured educational model and has a well-defined set of characteristics. This study exposes the applied contributions that neuroscience has made to regulated training scenarios, as well as the limitations and scope that these contributions have an effect on the teaching-learning relationship

Tabla de contenido

Tabla de contenido	4
Introducción	5
Planteamiento de Investigación	7
Pregunta de investigación	9
Objetivos de Investigación	9
Objetivo General	9
Objetivos específicos	9
Justificación	10
Referentes Teóricos	11
Metodología	17
Nivel de riesgo	18
Consideraciones Éticas	19
Conflicto de Interés	19
Resultados: Aportes de La Neurociencia a La Educación	19
Neurociencia y Trastornos del aprendizaje	20
Neurociencia y Diseño de Currículo	22
Neurociencia y Diseño de la clase	25
Neuromitos en la educación	26
Retos y limitaciones	31
Conclusiones	32
Referencias	33

Introducción

El presente documento plantea establecer las contribuciones de la neurociencia y en especial de la *neurociencia educativa* en los contextos educativos. Se realizará una revisión sistemática que propone la síntesis de la evidencia disponible (Manterola, Astudillo, Arias, & Claros, 2013) en torno al eje *cerebro-educación*. En virtud de los hallazgos proporcionados por las ciencias del cerebro en tanto la comprensión en diferentes niveles de organización (desde la molécula a las interacciones sociales) y de cómo los organismos vivos con sistema nervioso, específicamente los humanos (para el caso de este documento) se configura, entiende, percibe, recuerda, comunica y aprende, procesos que no son desconocidos por las ciencias de la educación, dado que, tradicionalmente algunos de ellos han conformado como objeto de estudio nuclear explícitamente el aprendizaje. Por lo tanto, en la confluencia cerebro-educación se plantean relaciones para que los procesos educativos sean favorecidos por uno de los destinatarios más relevantes: El cerebro de quien aprende. Es claro que, al conocer los principios de la neurociencia educativa, los propósitos de la relación enseñanza-aprendizaje, las metodologías y estrategias pedagógicas permitirán obtener mejores herramientas para los

docentes e incluso para los diseñadores de currículum y políticas públicas en educación (Watagodakumbura, 2017). Diseño de currículo que abordará más adelante.

A medida que la neurociencia cognitiva continúa desarrollándose, la investigación del cerebro tiene una creciente lista de aplicaciones. Sin embargo, antes de adoptar estrategias Howard-Jones *"Basadas en el cerebro"* y su uso para guiar la práctica profesional, se necesitan evaluar cuidadosamente los desafíos prácticos y filosóficos.

En palabras de Dekker (2012) citado por Howard-Jones (2014), inherente a la aplicación de la neurociencia a los diferentes campos, quizás en ningún otro se ha cristalizado más que en la educación, donde los profesores adoptan rutinariamente estrategias instructivas basadas en interpretaciones erróneas o extrapoladas de descubrimientos de la neurociencia en sus intentos de mejorar la enseñanza y aprendizaje (Dekker, 2012; Howard-Jones, 2014). Aunque en contraposición Goswami (2006) resalta la inmensa buena voluntad que los profesores y educadores tienen por la neurociencia y lo interesados que están por ella, y sienten que los neurocientíficos tienen el potencial para hacer importantes descubrimientos sobre el aprendizaje humano y que están ansiosos por aprender sobre estos descubrimientos y aportar ideas y sugerencias.

De hecho, cómo facilitar el uso práctico de la neurociencia por parte de los profesores se ha convertido en una cuestión central dentro del campo de la educación. Neurociencia (Howard-Jones, 2014; Fischer, 2010). En favor de lo anterior, este estudio plantea una revisión de las aportaciones aplicadas que ha hecho la neurociencia en los los escenarios educativos de formación reglada, sus contribuciones, entre otros, a la formulación de currículo, diseño de

clase, comprensión de trastornos del aprendizaje y comprensiones de cómo el cerebro de los estudiantes aprenden, esto mediante la metodología de la revisión de la literatura.

Planteamiento de Investigación

Las ciencias, tanto en áreas básicas como aplicadas, crean dispositivos de producción de conocimiento circunscritas a una metodología de investigación, cuando el acervo de calidad y cantidad de un saber en específico reflejada, por ejemplo; en el alto número de publicaciones, es preciso recurrir a mecanismos ya no de elaboración de nueva información, sino de organización, selección y sistematización. A lo que al respecto Uman (2011) indica:

Con una plétora cada vez mayor de estudios que se publican en las ciencias de la salud¹, es un desafío, si no imposible, para los médicos e investigadores ocupados mantenerse al día con la literatura. Las revisiones que resumen los resultados de varios ensayos de intervención son, por lo tanto, un método extremadamente eficiente para obtener el "resultado final" sobre lo que funciona y lo que no. (p.57)

Es prioritario, que el conocimiento construido y/o producido, redunde en utilidad y enriquecimiento de las disciplinas que lo puedan componer. En este sentido; el método de revisiones sistemáticas, entendidos como resúmenes claros y estructurados de la información disponible (Letelier, Manríquez & Rada, 2005) están constituidas por múltiples artículos y fuentes de información, representando el más alto nivel de evidencia dentro de la jerarquía de la evidencia (Moreno,2018) y se caracterizan por tener y describir el proceso de elaboración

¹ Sentencia que puede ser aplicada a las demás ciencias en general.

transparente y comprensible para recolectar, seleccionar, evaluar críticamente y resumir toda la evidencia disponible (Letelier, Manríquez & Rada, 2005, Manterola et al, 2013). La revisión sistemática resuelve un problema de organización y facilitación de divulgación del conocimiento de una disciplina.

Dado el contexto anterior, la neurociencia educativa, requiere que su producción de conocimiento sea sujeta de sistematización y organización para favorecer los diálogos entre los saberes que concursan en ella, ésto en la coyuntura establecida por Feiler & Stabio (2018) donde uno de los tres pilares de la neurociencia educativa es su vocación interdisciplinaria.

En términos fácticos actuales, ciertas ciencias, ya cuentan con el aprendizaje consolidado para revisarse periódicamente en sus vetas de conocimiento, las consecuencias de no ejercer esta operación redundarían, de una parte en dificultades para obtener información estructurada, limitando su divulgación, debate, y aprendizaje. Por otro lado, la extensión de tiempo transcurrido de un conocimiento básico para trasladarse a un campo de aplicación se hace mucho más tardío y con el riesgo que este escenario pudiera no presentarse.

La presente revisión plantea el ejercicio periódico y necesario dentro de las dinámicas científicas formales, cuya utilidad inmediata es posibilitar y facilitar los hallazgos en neurociencia educativa en contextos de la educación basada en el aula. Para la actual revisión, tomamos en cuenta las definiciones educación formal o formación reglada como la que corresponde a un modelo educativo sistemático, organizado, estructurado y administrado según un conjunto de leyes y normas, presentando un currículo de orientación rígida en cuanto a objetivos, contenidos y metodología. La educación formal tiene un conjunto de características bien definidas (Melnic, 2014). Otro operador dentro del estudio es la neurociencia educativa como el campo interdisciplinario entre las neurociencias y la educación para configurar un

favorecimiento de la comprensión y aplicación de conocimientos y metodologías en el entorno de la enseñanza-aprendizaje, conceptos que serán abordados con mayor amplitud más adelante en los referentes teóricos.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las contribuciones de la neurociencia educativa en la educación formal?.

Objetivos de Investigación

Objetivo General

- Identificar las contribuciones aplicadas de la neurociencia educativa en la educación formal

Objetivos específicos

- Identificar los aportes de la neurociencia educativa en un contexto de aplicación en escenarios educativos de formación reglada
- Describir las posibles herramientas que la neurociencia ha ofrecido a la educación formal
- Revisar críticamente las contribuciones de la neuroeducación a los escenarios educativos formales

Justificación

La neurociencia cognitiva está constituida por áreas de conocimiento de un espectro que van desde las ciencias biológicas, en especial las neurociencias, hasta las ciencias de la educación. Cuando se analizan las prácticas realizadas, se puede decir que la neurociencia educativa construye un puente entre mente y cuerpo (Campbell, 2011). Para que estas prácticas se vean reflejadas en un escenario concreto del aula, es preciso disponer de un conocimiento estructurado que favorezca la implementación práctica de los hallazgos neurocientíficos.

La neurociencia tiene mucho que aportar a la educación, y en el futuro aún tendrá mucho más que aportar a este campo tan importante del desarrollo social, cognitivo y emocional del ser humano (Martín-Loeches, 2015), por ello; la presente revisión se insta a favorecer la divulgación y sistematización del conocimiento en el área de la neurociencia educativa, esto, entre otros escenarios, permite al docente dirigir a los alumnos hacia su máximo potencial mejorando la creatividad, la sabiduría y la conciencia para que su capacidad biológica, les ayudan a ser mejores tomadores de decisiones en situaciones de la vida cotidiana, y no solo a desarrollar un conjunto limitado de habilidades en un área profesional más específica (Watagodakumbura, 2015).

Una de las ventajas resultantes es que la síntesis de la literatura actualizada en neurociencia educativa junto con un decantamiento refinado de la información, favorecen los procesos enseñanza-aprendizaje en el aula implementados por los docentes/neuroeducadores. Por ejemplo, se constituye por hallazgos en neurociencia que la mayor parte de nuestro aprendizaje es implícito, es decir; retener inconscientemente los rastros de la memoria de la entrada

consciente (Berry & Dienes, 1993) por lo que los estudiantes hacen sus inferencias subjetivas basadas en sus redes neuronales individuales existentes (Watagodakumbura, 2015).

y de tal vía los métodos pedagógicos deben ser considerados.

Con esto, se cubre la necesidad de implementar nuevas actualizaciones dados los continuos hallazgos en la neurociencia educativa. La presente propuesta de investigación aporta ventajas para la comunicación interdisciplinar en neurociencia educativa que incluye: (biología, ciencias del cerebro, psicología, pedagogía), ofrece una contribución en los aspectos teóricos propios del campo de conocimiento, y alimenta los métodos en los cuales se materializan tales conocimientos en el aula, además de fortalecer un lenguaje con validez interna y acoplado a otras ciencias.

El presente estudio se dirige a realizar una síntesis vía revisión de la literatura de las neurociencias educativas para favorecer la divulgación y sistematización del conocimiento en esta área, además, dada la necesidad de implementar nuevas actualizaciones dados los continuos hallazgos en la neurociencia educativa aportando ventajas para la comunicación interdisciplinaria.

Referentes Teóricos

Para el presente estudio se deben señalar los parámetros teóricos en los que se mueve el campo de la neuroeducación, en primera medida ésta emerge de la convergencia entre

neurociencia y las ciencias de la educación, la primera de ellas se puede entender como el estudio científico del sistema nervioso, que incluye contenidos como: neuroanatomía, neurobiología, neuroquímica, neurofisiología y neurofarmacología, y sus aplicaciones en psicología, psiquiatría y neurología (APA, 2021), es una disciplina relativamente nueva que ha logrado grandes avances en los últimos 100 años, durante los cuales se han comprendido muchos aspectos de la fisiología, bioquímica, farmacología y estructura del cerebro de los vertebrados. (Goswami, 2004). A su vez, en la actualidad, la educación se basa en una variedad de disciplinas fundamentales que incluyen las ciencias sociales y psicológicas, así como la filosofía (Lovat, 2003). Se habla de ciencias de la educación, en plural, porque el desarrollo interdisciplinar ha provocado que la Pedagogía no sea la única ciencia responsable en los procesos formativos y existan otras de gran importancia también, como por ejemplo, la Psicología, la didáctica, la historia y la sociología, la interdisciplinariedad constituye una manifestación evidente y preponderante en las investigaciones educativas, como resultado del desarrollo científico contemporáneo en general y de las ciencias de la educación en particular (Ortiz, 2012).

En ese mismo sentido, Beauchamp y Beauchamp (2013), relacionan la neurociencia educativa con las dos principales disciplinas que están involucradas, es decir, neurociencia, las ciencias de la educación, así como la práctica educativa.

La neurociencia educativa desde sus primeras publicaciones indican su naturaleza mixta tanto en teorías como en metodologías, un ejemplo de ello es lo propuesto por Fuller y Glendening (1985) que plantean desde el título de su artículo: *El neuroeducador: El profesional del futuro*, el desarrollo de un campo de la ciencia que sería de naturaleza interdisciplinaria y que destaca la importancia de una buena enseñanza utilizando el conocimiento de la estructura y la

función del cerebro. El papel del neuroeducador sería estudiar y comprender las relaciones conocidas del cerebro/conducta y aplicar esas relaciones al proceso de aprendizaje. Éste individuo integraría las contribuciones de múltiples disciplinas con el fin de prescribir programas educativos de precisión para el niño con dificultades de aprendizaje, así como del niño superdotado (Fuller, 1985). Este campo floreciente se llamaría posteriormente neurociencia educativa, o en algunos círculos académicos neuroeducación. Siendo la revista *Mente, Cerebro y Educación* (Mind, Brain, and Education) establecida en 2007 como el diario oficial de la Sociedad Internacional de Mente, Cerebro y Educación. Mostrándose como una de las publicaciones destinada estrictamente al trabajo de las relaciones entre cerebro y educación. Pese a lo anterior, el desarrollo del campo ha sido intensamente discutido y debatido por múltiples académicos (Feiler y Stabio, 2018). Por lo que la literatura encontrada en el presente estudio es pletórica en este sentido.

Las neurociencias en general y la neurociencia educativa en particular se han nutrido de los hallazgos dados sobre el sistema nervioso y uno de los dispositivos que promovió el avance de este conocimiento fue el proyecto “*Década del cerebro*” iniciativa patrocinada por la Biblioteca del Congreso (LC) fecha y el Instituto Nacional de Salud Mental (NIMH) fecha de los Estados Unidos. Su objetivo primordial era dar cuerpo a los objetivos propuestos en la resolución 174 del Congreso. Públicamente presentada el 17 de Julio de 1990 por el entonces presidente de los Estados Unidos de Norteamérica George W. Bush. La década del cerebro alcanzó pronto la primera plana en el medio académico internacional. El tema central de la resolución era el fortalecimiento de una toma de conciencia general sobre los beneficios del estudio científico del cerebro. Esta tiene cuatro puntos principales, un primer aspecto el incremento en la aparición de

enfermedades cerebrales y mentales de tipo degenerativo, traumático y congénitas; por otro lado, los avances tecnológicos en microscópica y neuroimágenes; los avances conceptuales en la comprensión de algunos procesos patológicos así como en el desarrollo de algunas ciencias básicas, por ejemplo, la genética o la bioquímica; avances en disciplinas intermedias como la biología molecular o la genética molecular. Este esfuerzo multi institucional y multidisciplinar permitió, en otros campos, que la neurociencia educativa se favoreciera. Por lo en ese periodo de tiempo, fue donde los grupos comerciales reconocieron el gran interés del público por neurociencias y la educación identificada como sector profesional donde la investigación del cerebro tenía aplicaciones en el mundo real (OECD, 2002). La expansión de la neurociencia educativa se ha visto respaldada por un mayor interés entre los profesores, los responsables políticos y los medios de comunicación en lo que a menudo se denomina educación basada en el cerebro (Busso y Pollack, 2015). Por consiguiente, una "industria basada en el cerebro" permite rápidamente, programas de marketing para educadores que afirman utilizar la neurociencia para mejorar la enseñanza y el aprendizaje (Howard-Jones, 2007). La Neurociencia recurrió a los profesores por las mismas razones que acudió al público en general, pero su capacidad para informar la práctica le dio inmediatez en educación. La lógica era simple, los profesores que entendieran mejor el cerebro, podrían promover un mejor aprendizaje en sus estudiantes, rápidamente, administradores y maestros que buscan mantenerse a la "vanguardia" de la investigación, comenzaron a adoptar programas como Brain Gym y el modelo audio-cinestésico (Geake, 2008; Pasquinelli; 2012).

Desafortunadamente, encontraron que estos programas a menudo se basaban en datos falsos o en gran medida sobre extrapolados. Creencias sobre la función cerebral que los investigadores denominaron "neuromitos". (OECD, 2002; Geake, 2008)

Por lo mencionado previamente con respecto a los cuestionamientos dentro de la neuroeducación, se advierten líneas de pensamiento, desde sus inicios, donde la neurociencia educativa se encuentra entre los subcampos de la investigación neurocientífica y psicológica. Sin embargo, permanece distante de cuestiones y temas que son prominentes en la literatura de investigación educativa. Parte del problema es que la literatura de neurociencia educativa existente es más una literatura metacientífica que una científica. Es una literatura más sobre la promesa y las trampas de aplicar la neurociencia a la educación que de las aplicaciones de la neurociencia a la educación (Breuer, 2015).

La idea de un profesional que se encargue y aplique esas relaciones cerebro-educación se ha visto fragmentada pues, la complejidad que reviste la idea educativa bajo la traza neurocientífica sobrepasa los ámbitos teóricos, metodológicos y aplicados. Al respecto se muestran diferentes posiciones de la utilidad del conocimiento neurocientífico en el aula de clase; de otro modo, Goswami (2006) sostiene que los neurocientíficos deberían trabajar en colaboración con los profesores para desarrollar preguntas de investigación que son relevantes para la educación y también pueden ser abordados por neurocientíficos (Almarode, Daniel, 2018)

En consecuencia con lo anterior, Battro y Cardinali (1996) definieron la neurociencia educativa desde una perspectiva más integradora y pedagógica como "*una nueva*

interdisciplina y transdisciplina que promueve una mayor integración de las ciencias de la educación con aquellas que se ocupan del desarrollo neurocognitivo de la persona humana” (Battro & Cardinali, 1996, en Pallarés-Dominguez, 2016, p. 1) y a su vez, la investigación en neurociencia educativa tiene como objetivo desarrollar prácticas educativas más basadas en la evidencia (Fischer et al., 2010). La investigación en neurociencia educativa asume, por lo tanto, que la educación basada en la evidencia requiere investigación de las ciencias naturales y principalmente investigación experimental sobre procesos neuronales y cognitivos. Al hacerlo, los investigadores afirman luchar por interacciones recíprocas entre profesores e investigadores (Hruby, 2012). La neurociencia busca comprender el cerebro mientras que la educación busca desarrollar una práctica eficaz para la enseñanza y el aprendizaje en el aula (Devonshire y Dommett, 2010 en Almarode, Daniel, 2018).

Un ejemplo de esta relación entre psicología cognitiva y neurología en el aprendizaje del lenguaje escrito, son las investigaciones sobre la percepción visual de las letras y palabras, efectuadas por Dehaene, Cohen, Sigman y Vinckier (2005). Observaron que en la región occipital-temporal izquierda del cerebro, se configura un área que denominaron *región de la forma visual de las palabras* que registra el lenguaje escrito (Dehaene, 2007, p. 96). Este hallazgo fue confirmado por Brem et al. (2010), quienes estimaron que la adquisición de la lectura desarrolla a nivel neural una nueva red funcional, a medida que los niños aprenden a asociar los sonidos del lenguaje con las características ortográficas. Esta red neural está localizada en la corteza izquierda occipito-temporal y la denominaron *Visual word-form system (español)*, la que se activa en los lectores al percibir las palabras escritas (Brem et al., 2010).

En consideración a todo lo anteriormente señalado, la neurociencia y la educación son entendidas como matrices de conocimiento interdependientes para la conformación de un campo de estudio en evolución establecido con neurociencia educativa.

Metodología

El presente estudio es una revisión sistemática de la literatura considerando las recomendaciones del modelo PRISMA (2021), y la listas de chequeo PRISMA (2020), tanto versión básica como extendida. Para la selección y sistematización de los artículos se ha utilizado la plataforma online Rayyan (2021) y los criterios del Joanna Briggs Institute, JBI (2021). Se realizó una búsqueda en las bases de datos especializadas tanto en neurociencias, ciencias de la salud, como en educación. Pubmed, Eric, Google Scholar, y el motor de búsqueda CRAI de la Universidad del Rosario. Los términos ingresados fueron:

Tabla 1

Términos ingresados

Idioma Ingles	Idioma español
“Neurosciences and education”	“Neurociencia y educación”
“Neuroeducation and education”	“Neuroeducación”
“Educational neuroscience”	“Neurociencia del aprendizaje”
“Neurosciences and educational sciences”	
“Neuroscience of learning”	

Se tuvieron en cuenta los resultados en idioma inglés y español, otras lenguas no fueron consideradas en el estudio. Se delimitó la búsqueda desde 01/1990 hasta 04/2021. Se encontraron 122 publicaciones entre las cuales se incluyen artículos de revista y capítulos de libro. En la depuración preliminar se obtuvieron 99 títulos que incorporan una relación entre la neurociencia y la educación. Fueron 48 artículos los seleccionados donde el establecimiento de estas categorías se determinaban con mayor robustez debido a su contenido. Los 51 artículos fueron desechados debido a que, si bien su contenido incluye las palabras clave, su contenido carecía de pertinencia, ya fuera que se trataba de estudios de aprendizaje en modelos animales, o que tenían un enfoque predominantemente clínico o una aplicación en contextos empresariales. Con los artículos seleccionados se constituyó una matriz que clasifica los temas de mayor redundancia, de lo cuales surgieron las categorías señaladas en los resultados. La epistemología del presente estudio está enmarcado dentro del modelo empírico analítico.

Nivel de riesgo

Describa el nivel de riesgo de su investigación de acuerdo con la Resolución No. 8430 de 1993 del Ministerio de Salud. Explique porque considera que pertenece a dicho nivel.

- Estudio de naturaleza documental y que según se consagra en el ARTÍCULO 11 de la Resolución, esta investigación se clasifican en la categorías de Investigación sin riesgo. *(Son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias*

clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta)

Consideraciones Éticas

- Por las características enmarcadas en la investigación, los datos obtenidos por medio de la revisión de documentos no considera intervención o modificación de tipo biopsicosocial. Por lo tanto, la participación de consentimientos informados o asentimientos no son requeridos o procedentes. Los datos sociodemográficos y de condiciones clínicas (si da a lugar) de las poblaciones referenciadas no son objeto del presente estudio y tal información es desconocida para los investigadores.

Conflicto de Interés

Los autores declaran no poseer conflicto de interés alguno.

Resultados: Aportes de La Neurociencia a La Educación

Dentro de los artículos encontrados y revisados, persiste una tensión en posiciones críticas frente a los aportes que la neurociencia de manera práctica ha suministrado a la educación. No obstante, es ampliamente reconocido el papel que el funcionamiento del sistema nervioso le ha aportado a los docentes y a la comprensión de su quehacer.

El entendimiento del funcionamiento del sistema nervioso central (SNC) ha permitido tanto la comprensión de las patologías cerebrales como el discernimiento del comportamiento motor, cognitivo y emocional. Sus alcances en aplicación han ido desarrollándose en un amplio espectro, que pueden vincular casi cualquier actividad humana e incluso la formación de redes neuronales artificiales capaces de aprender. Los hallazgos neurocientíficos en los diferentes niveles de organización biológica, conductual y social también han contribuido a que modelos de aplicación emerjan, entre ellos los planteamientos de cómo se forma y consolidan los aprendizajes, o qué debe pasar para que un recuerdo se mantenga en el tiempo, que de manera directa también son preguntas de interés para las ciencias de la educación.

En esta intersección, los procesos de adquisición, transmisión de conocimientos, habilidades y creencias entre otros, se realiza por medio de una compleja interrelación de variables en donde necesariamente participan los sistemas nerviosos de los individuos. Por lo que la conexión neurociencia y educación empiezan a instaurar un campo interdisciplinar convergente.

En el interior de los hallazgos del presente documento se cuentan: La neurociencia en los trastornos del aprendizaje, la neurociencia en el diseño de currículo, neurociencia y diseño de la clase, y los neuromitos en la educación, los cuales serán abordados a continuación

Neurociencia y Trastornos del aprendizaje

La neurociencia en función de los trastornos del aprendizaje se caracteriza por la dificultad para aprender a leer y lograr una competencia lectora normal, algunos factores de

desarrollo consistentes parecen ser comunes, genes de riesgo descritos tienen funciones en el sistema nervioso central y juegan un papel en la migración neuronal a la corteza (Peschansky et al., 2010). Investigaciones indican que el trastorno de la migración neuronal a la corteza puede estar asociado con una conectividad cortico-cortical anormal y un mapeo acústico anormal en la corteza cerebral. De la misma forma, otras investigaciones relacionadas han demostrado que la anatomía y fisiología cortico-cortical anormales pueden ser el factor crucial subyacente a los déficits en el procesamiento fonológico y de sonido en la dislexia (Galaburda, 2011)

De las primeras y más importantes contribuciones de la neurociencia a la educación lo constituyen las estrategias educativas y terapéuticas que generó en torno a los trastornos del aprendizaje y del desarrollo. Así, hay áreas específicas implicadas en cada uno de los trastornos del aprendizaje, y se han llevado a cabo estrategias de intervención concretas para cada una de ellas. Por ejemplo, en la dislexia se pueden encontrar déficits de percepción, disartrías cerebelosas, lesiones neurológicas, cuadros psicopatológicos asociados, entre otras, que se expresan en omisiones, problemas de comprensión global, lectura silábica, etc. (Fonticiella, 2007 en Gago Galvagno, 2018).

Ha habido algunos intentos de crear modelos que intentan retratar el proceso de investigación traslacional, desde el campo de la neurociencia básica hasta el campo de la educación aplicada. Uno de estos modelos (Gabrieli, 2016) propone una organización de neurociencia educativa, que se combina con la ciencia del comportamiento para motivar intervenciones experimentales que sí son efectivas, se pueden escalar a la práctica generalizada en el aula. En tal modelo, la consideración de las necesidades educativas inspira direcciones de investigación básica para priorizar el desarrollo de intervenciones (Dresler, 2018)

Neurociencia y Diseño de Currículo

Según el Ministerio de Educación Nacional el currículo es el conjunto de criterios, planes de estudio, programas, metodologías, y procesos que contribuyen a la formación integral y a la construcción de la identidad cultural nacional, regional y local, incluyendo también los recursos humanos, académicos y físicos para poner en práctica las políticas y llevar a cabo el proyecto educativo institucional. En este entorno, se plantea la incursión del conocimiento de las neurociencias para participar en los diseños curriculares que en palabras de Watagodakumbura (2017) el plan de estudios guiará a los alumnos a mejorar la sabiduría y la conciencia, fenómenos que hacen uso de los lóbulos frontales del cerebro para integrar redes neuronales de conocimiento en las múltiples regiones cerebrales. Este mismo autor señala algunos de los factores a tener en cuenta en el diseño de currículo que a continuación se indican en esta tabla:

Construcción curricular siguiendo los conceptos de la neurociencia educativa	
Expectativas de un plan de estudios basado en los aportes de la neurociencia educativa	<p>Los planes de estudio deben enviar a los alumnos esencialmente por un camino hacia un aprendizaje de orden superior o procesos de pensamiento divergentes e inductivos.</p> <p>Permitir la transferencia de conocimiento como si los sensores neuronales sobresalientes de los alumnos estuvieran esperando a ser conectados a cualquier conocimiento o aplicación relacionada.</p> <p>El resultado del plan de estudios no es un fin en sí mismo, sino un medio por el cual los alumnos pueden establecer más conexiones o redes neuronales de conocimiento en el futuro a medida que se exponen a más conocimientos y experiencias en un viaje de por vida</p> <p>Se minimizan, produciendo un entorno educativo más justo en general en una sociedad neurodiversa (Armstrong, 2011; Watagodakumbura, 2016 en Watagodakumbura 2017</p>

Decidir sobre el contenido que se introducirá en un plan de estudios	Ceñirse a un libro de texto seleccionado que proporcione a los estudiantes una dirección más clara sobre el alcance de los contenidos y el plan de estudios y la conveniencia de no tener que saltar entre diferentes fuentes. El objetivo de un plan de estudios es crear recuerdos duraderos o conexiones neuronales de conocimiento para una mayor conectividad en el futuro, se debe ahorrar tiempo a los alumnos para ensayos elaborativos, que es la base para formar redes de conocimiento útiles.
Tomar conciencia del tiempo limitado disponible para llevar a cabo un plan de estudios y la necesidad de ajustar los contenidos en consecuencia	Considerar el tiempo disponible para llevar a cabo el desarrollo del plan de estudio (sin prisas) Un plan de estudios no es el fin del aprendizaje en sí mismo, es el medio por el cual se despierta el interés en los estudiantes con mentes abiertas para promover su conocimiento o redes neuronales en el camino hacia un nivel superior de desarrollo humano (Maslow, 1968, 1993; Dabrowski, 1970, 1972, 1977; Watagodakumbura, 2016 en Watagodakumbura 2017).
Decidir y diseñar el material/documentos de aprendizaje que se ponen a disposición de los estudiantes	Poner a disposición de los estudiantes resúmenes de conceptos importantes de alto nivel ² para su referencia. La inclinación o capacidad del cerebro humano para agrupar información se respalda cuando se resaltan conceptos abstractos o de alto nivel.
Presentar resúmenes de contenidos o conceptos de alto nivel de manera adecuada en los documentos de apoyo al aprendizaje proporcionados (diseño instruccional basado en neurociencia educativa)	Evitar las oraciones parciales en forma de puntos, ya que carecen de información que pueda conectarse fácilmente con el contexto Proporcionar oraciones contextuales completas en lugar de piezas aisladas de información ayudará a los estudiantes a establecer conexiones entre piezas de conocimiento o redes neuronales, incluso cuando revisen el contenido después de un lapso de tiempo prolongado.
Decidir y diseñar los componentes de evaluación de un plan de estudios	La evaluación se debe dirigir a los alumnos por un camino hacia un aprendizaje de orden superior. Se les debe animar a identificar nuevas conexiones entre las redes neuronales de conocimiento existentes y las recién introducidas de una manera idiosincrásica o creativa al dar sentido y significado.
Decidir cómo equilibrar la teoría y los componentes prácticos (si corresponde)	La intención de introducir un componente práctico es exponer a los alumnos a experiencias o aplicaciones relevantes de la vida real. La exposición a estas aplicaciones o experiencias permitirá a los

² Los conceptos de alto nivel y las generalizaciones hacen parte de la memoria semántica que involucran hechos sobre nosotros, el mundo y otros conocimientos que compartimos dentro de una comunidad y son independientes del contexto espacial y temporal en el que fueron adquiridos (Watagodakumbura, 2017)

	alumnos comprender o generalizar mejor las teorías o conceptos abstractos subyacentes. Mientras que algunos estudiantes, especialmente los orientados al hemisferio derecho, aprenden conceptos abstractos más fácilmente, otros con una orientación hemisférica izquierda se beneficiarán de la exposición práctica para mejorar la comprensión de las teorías abstractas.
Consideraciones o sugerencias adicionales para el diseño y la construcción del plan de estudios	Fomentar la independencia y el descubrimiento de los alumnos que preparen a los alumnos para el viaje del aprendizaje permanente

Pese a lo descrito anteriormente, otros autores como Clement (2012) indican de manera concluyente y opuesta que hay poca evidencia que sugiera que la neurociencia se pueda aplicar directamente a la política y la práctica educativas. No obstante, su función descriptiva y explicativa, junto con los datos conductuales, ofrece una comprensión más completa de las potencialidades y limitaciones del aprendizaje. Por lo que en el ámbito del trabajo curricular el conocimiento neurocientífico debe traducirse en conocimiento utilizable porque es aquí donde los profesores aplican la teoría educativa a problemas prácticos. También en palabras de Clement (2012) el conocimiento neurocientífico debe ofrecerse en una forma accesible a los profesores; ser percibido por los profesores para abordar un problema práctico identificable; e incluir una práctica reflexiva por parte de los maestros con la ayuda de una comunidad profesional de apoyo.

En general, el diseño curricular basado en neurociencia considera el entendimiento básico del funcionamiento del sistema nervioso central, las diferentes modalidades de aprendizaje y memoria, y la manera de cómo la información es presentada y seleccionada para ser expuesta a los estudiantes con la finalidad que esta experiencia se consolida a largo plazo y ser

susceptibles de ser interconectadas con otros aprendizajes. Sin embargo, el uso del conocimiento neurocientífico dista en la evidencia de ser un escenario aplicado.

Neurociencia y Diseño de la clase

De los dispositivos de mayor relevancia en la educación se encuentra *la clase*, escenario que cuenta con numerosas versiones, interpretaciones y métodos. Por lo tanto, es la herramienta estandarte de la enseñanza-aprendizaje. Dentro de los hallazgos de la actual revisión, resaltan la reducida producción de literatura alrededor de la neurociencia en relación al diseño de la clase, es Rigo (2017) que en la situación encontrada, hace un ejercicio que abarca las funciones ejecutivas en el plan de construcción de la clase, esto en el seno de un entorno explicativo y descriptivo. A pesar que el estudio retoma algunos hallazgos experimentales, como el uso de la realización de una lectura de una historia previa a una temática específica y que muestra mayores tasas de recordación (efecto novedoso). La formulación de lineamientos rigurosamente determinados son escasos. Y esto se debe se debe principalmente a que, como se discutió anteriormente, la neurociencia es esencialmente descriptiva o explicativa mientras que la educación es prescriptiva o normativa (Perkins, 2009). Por lo es redundante, la necesidad de ofrecer estrategias aplicativas para la práctica docente en tanto neurociencia.

Históricamente, las ciencias psicológicas y del desarrollo han mediado el conocimiento biológico relevante y la comprensión de la naturaleza del aprendizaje. Sin embargo, estos conductos tradicionales están en revisión a medida que los modelos cognitivos en los que se

basan se revisan a la luz de investigaciones recientes, incluida la investigación neurocientífica (Clement, 2012)

No es que la neurociencia no pueda dar cuenta de los fenómenos intrínsecos al aprendizaje (memoria, atención, lenguaje, funciones ejecutivas etc.) es la limitación para hacer un ejercicio traslacional del conocimiento a lo práctico.

Neuromitos en la educación

En los hallazgos de la presente revisión, se denota producción en la literatura de la neurociencia educativa en el fenómeno llamado *neuromito*, que son distorsiones sesgadas de hechos científicos asociados al cerebro, debido a esto, se produce una gran simplificación en términos de la función y estructura del cerebro. Estos mitos sobre el cerebro han persistido en todos los niveles cognitivos, sociales y ambientales, y a menudo se utilizan para justificar enfoques ineficaces de la enseñanza (Papatzikis, 2017). Son tomadas como confusiones concretas del funcionamiento cerebral, como una distinción entre 'cerebros izquierdos' y 'cerebros derechos', conceptos neurológicos erróneos (abstractos o confusiones teóricas, por ejemplo, una comprensión incorrecta de la relación entre el cerebro y la mente (Van der Meulen, 2015). Esto debido a que el conocimiento neurocientífico ha ganado interés entre los educadores de todo el mundo. Sin embargo, no todos los "hechos cerebrales" que creen los profesores están respaldados por la ciencia (Gleichgerrcht, 2015). Por ejemplo, la investigación sobre la especialización y el dominio hemisféricos ha dado lugar al mito de que las personas tienen un cerebro derecho e izquierdo, y que el equilibrio entre los dos es un efecto deseable, que de alguna manera no debe darse por sentado; luego se proponen formas especiales de

entrenamiento para llevar el cerebro a un equilibrio (Geake, 2008). En un estudio Gleichgerrcht (2015) con 3.451 docentes latinoamericanos encontró que se tenían importantes conceptos erróneos sobre la neurociencia, especialmente en lo que respecta a la información fáctica sobre su estructura y funcionamiento.

Generalmente, parece que los neuromitos también pueden aparecer debido a evidencia científica publicada de manera preliminar, que a nivel de recolección y análisis de datos primarios presentan una posible conexión de hechos, hechos que pueden quedar sin verificar debido a limitaciones de tiempo o financiación (Papatzikis, 2017), y que según los mecanismos de divulgación, usualmente medios masivos no especializados, pueden revestir versiones distorsionadas de estos hallazgos.

Tabla. 3

Papatzikis (2017) aborda algunos de los más divulgados		
Neuromito	Descripción	Explicación
El neuromito de los "Tres primeros años"	Sugiere que nuestro cerebro "solo es plástico para ciertos tipos de información durante "Períodos críticos". Por tanto, los primeros tres años de un niño son decisivos para su posterior desarrollo y éxito	Lo que hoy en día se considera válido se refiere a los períodos óptimos de desarrollo, lo que demuestra que si bien hay algunos períodos en los que las conexiones neuronales se pueden crear más fácilmente en el

		cerebro, es la neuroplasticidad la que se refiere a todo el ciclo vital
El neuromito de "Los entornos enriquecidos tempranos"	Sugiere que solo "los entornos enriquecidos mejoran la capacidad del cerebro para aprender", por lo tanto, los niños deben estar expuestos a estímulos ricos y diversos para desarrollarse, especialmente en los primeros tres años de vida.	Si bien se ha seguido este camino del desarrollo del cerebro y se ha verificado que es cierto para los roedores, aún no se ha verificado completamente para los humanos. Por el contrario, la investigación ha demostrado que incluso si alguien no está expuesto a un entorno enriquecido de estímulos en los primeros tres años de vida, aún puede lograr un alto nivel de rendimiento más adelante. Esto se debe a la capacidad del cerebro humano para desarrollar contactos sinápticos y circuitos neuronales incluso más allá de los primeros tres años de vida
El neuromito de "Los tipos de aprendizaje"	Este neuromito sugiere que "existe un tipo de aprendizaje visual, auditivo o háptico para los seres humanos". En consecuencia, aprendemos mejor el alfabeto, por ejemplo, al verlo en la pizarra, al escuchar las letras de un maestro o al tocar algunos juguetes con forma de letras	Si bien se ha afirmado repetidamente que el aprendizaje se produce a través de todos estos diferentes canales de percepción, también se ha insinuado falsamente que solo uno de los anteriores puede mejorar la eficacia del aprendizaje de un individuo. Afortunadamente, esto no es cierto, ya que el aprendizaje se produce a través del proceso intelectual que integra todo lo anterior. De hecho, los seres humanos necesitan percibir primero la información para iniciar el proceso de aprendizaje. Sin embargo, necesitan comprenderlo más adelante para adquirir conocimientos, consolidarlos y finalmente lograr el aprendizaje. Este último es un paso en el proceso que es más importante que cualquier nivel de

		percepción y va más allá de los sentidos mismos.
El neuromito del 10% .	Sugiere que usamos solo un 10% de nuestro cerebro y que solo algunos de nosotros somos capaces de usar un poco más a lo largo de nuestras vidas.	<p>1) Si solo usamos el 10% de nuestro cerebro, el daño a algunas partes de nuestro cerebro no debería tener ningún efecto en nosotros.</p> <p>2) Desde una perspectiva evolutiva, es muy poco probable que desarrollemos un órgano devorador de recursos, del cual solo usamos el 10%.</p> <p>3) Las imágenes cerebrales muestran que, incluso mientras duerme, no hay áreas en el cerebro que se apaguen por completo.</p> <p>4) Las partes del cuerpo que no se utilizan pronto se marchitan y mueren. Lo mismo ocurre con el cerebro. Cualquier neurona que no utilizáramos pronto se marchitaría y moriría.</p>
Lateralización derecha-izquierda de la actividad cerebral	Existe esta suposición común en el mundo que sugiere que las personas de cerebro derecho son más creativas, mientras que las de cerebro izquierdo son más prácticas, analíticas y lógicas en su vida. La idea detrás de esta suposición radica nuevamente en la actividad cerebral, afirmando que un hemisferio podría ser más activo, o inactivo que el otro.	<p>Nielsen et al. (2013) en Papatzikis (2017) recopilaron datos con la ayuda de la técnica de resonancia magnética (MRI) de más de 1000 personas y luego explicaron que "... simplemente no vemos patrones donde todo el cerebro izquierdo esté más conectada o toda la red del hemisferio derecho está más conectada en algunas personas". Los mismos resultados provienen de la investigación del dominio de la música, una actividad muy creativa según la mayoría de las personas. Lo anterior no significa que algunas personas no sean más creativas o más analíticas y lógicas que otras. La evidencia solo sugiere que es incorrecto</p>

		decir que las personas creativas son más "de cerebro derecho" o que las personas lógicas son más "de cerebro izquierdo".
El neuromito del "multilingüismo"	Este incluye tres subneuromitos que sugieren que: (a) dos idiomas compiten por los recursos cerebrales, (b) el conocimiento adquirido en un idioma no es accesible en el otro idioma, y (c) el primer idioma debe hablarse bien, antes que el segundo idioma se aprende.	Las tres partes del neuromito pueden refutarse con ejemplos en su mayoría simples y cotidianos. Por ejemplo, con respecto a la primera parte, todos sabemos que hay muchas personas que pueden hablar con fluidez más de 10 o incluso 15 idiomas. Por lo tanto, no tiene sentido defender el "espacio perdido" en el cerebro debido al multilingüismo. En cuanto a la segunda parte, es bien sabido que alguien que sepa calcular en un idioma, puede hacerlo en el segundo idioma adquirido. Las habilidades que se aprenden en un idioma no se pierden debido al cambio de código del idioma, por lo que no hay compartimentación del conocimiento en diferentes idiomas. Por último, con respecto a la tercera parte de este mito, la investigación ha demostrado que cuanto más aprende alguien idiomas, mejor se vuelve su comprensión en términos de las técnicas utilizadas para dominar el uso y la implementación de los idiomas. Por lo tanto, el multilingüismo no es de ninguna manera responsable de retrasos en el lenguaje o comprensión disfuncional.

Por lo señalado anteriormente, las principales conclusiones que surgen del argumento son que los profesores deben buscar una validación científica independiente antes de adoptar

productos basados en el cerebro en sus aulas. Un enfoque más escéptico de las panaceas educativas podría contribuir a mejorar la profesionalidad del campo (Geake, 2008) y cuestionar los llamados programas basados en el cerebro que carecen de un conocimiento científico de base (Goswami, 2006).

Retos y limitaciones

Se es redundante, y con la actual revisión se denota aún más las dificultades que persisten en la traducción de los hallazgos neurocientíficos a una práctica propiamente dicha y aplicada en el aula. Una manera hallada en laboratorio o en una situación experimental que promueve un aprendizaje más rápido (por ejemplo) no necesariamente será inmediatamente llevado a un grupo de estudiantes.

Por ejemplo, Bowers (2016a, 2016b) ha argumentado que es la ciencia psicológica la que proporciona una base científica para la educación, y la neurociencia rara vez proporciona información directa sobre el aprendizaje y la enseñanza. Además, Bowers argumentó que las medidas conductuales son superiores a las medidas neuronales para caracterizar el aprendizaje y el procesamiento cognitivo de los niños; por ejemplo, al decidir si la instrucción de recuperación debe apuntar a los déficits subyacentes o, en cambio, centrarse en el desarrollo de habilidades compensatorias no deterioradas.

Han y cols (2019) afirman que los esfuerzos futuros en neurociencia educativa deberían abordar el desafío de desarrollar herramientas teóricas y métodos de investigación que integren diferentes niveles de análisis que tradicionalmente existen únicamente en educación, neurociencia u otros dominios aislados. Y a medida que estas herramientas y métodos ganan impulso, también puede ser necesario un cambio para cambiar el nombre del campo de neurociencia educativa a un

término más inclusivo que realmente describa la naturaleza transdisciplinaria del campo y su poder integrador para transformar el panorama del aprendizaje. En si; la neurociencia busca comprender el cerebro mientras que la educación busca desarrollar una práctica efectiva para la enseñanza y el aprendizaje en el aula (Devonshire & Dommett, 2010).

Conclusiones

1. La neurociencia educativa/ neuroeducación dista de tener consensos en tanto su aplicación estricta en el aula.
2. Los conocimientos en neurociencia aportan un marco comprensivo a los docentes que se interesan en ellos en su ejercicio profesional
3. La neurociencia educativa es un campo de naturaleza eminentemente interdisciplinario en donde se encuentran tensiones metodológicas y epistemológicas frente a la generación de conocimiento y la subsecuente aplicabilidad de tal conocimiento generado en espacios educativos
4. La presencia de creencias científicas distorsionadas del sistema nervioso (neuromito) en los docentes puede derivar en un diseño sesgado de su clase

5. Pese a que hay recomendaciones desde la neurociencia para la formulación del currículo hay poca evidencia que sugiera que la neurociencia se pueda aplicar directamente a la política y la práctica educativas.

Referencias

Almarode, J. T., Daniel D. B, (2018) The Wiley Handbook of Teaching and Learning Chapter 7, pag 177.

American Psychological Association (2021) APA dictionary of psychology, <https://dictionary.apa.org/neuroscience>

Anderson Sarah J., Kent G. Hecker, Kent G. Hecker, Olave E. Krigolson, A Reinforcement-Based Learning Paradigm Increases Anatomical Learning and Retention—A Neuroeducation Study <https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.3389/fnhum.2018.00038>

Berry, D. C., & Dienes, Z. (1993). Essays in cognitive psychology. Implicit learning: Theoretical and empirical issues. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Beauchamp, C. and Beauchamp, M. H. (2013) Boundary as bridge: An analysis of the educational neuroscience literature from a boundary perspective, Educational Psychology Review, 25, 47–67. doi:10.1007/s10648-012-9207-x

Blakemore, U. Frith, The implications of recent developments in neuroscience, Institute of Cognitive Neuroscience, London, 2000 <http://prea2k30.scicog.fr/ressources/accesfichier/11.pdf> , Accessed date: 29 April 2018.

Bowers, J.S., The practical and principled problems with educational neuroscience, Psychol. Rev. (2016a), <https://doi.org/10.1037/rev0000025>.

Bowers, J.S., Psychology, not educational neuroscience, is the way forward for improving educational outcomes for all children: reply to Gabrieli (2016) and Howard-Jones et al. (2016b). *Psychol. Rev.* 123 (2016) 628–635, <https://doi.org/10.1037/rev0000043>.

Bruer, J. T. (2016). *Where Is Educational Neuroscience? Educational Neuroscience, 1*, 237761611561803. doi:10.1177/2377616115618036

Busso DS and Pollack C (2015) No brain left behind: Consequences of neuroscience discourse for education. *Learning, Media and Technology* 40(2): 168–186. <https://doi.org/10.1080/17439884.2014.908908>

Campbell, S. R. (2011). Educational Neuroscience: Motivations, methodology, and implications. *Educational Philosophy and Theory*, 43(1), 7-16. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00701.x>

Clement, N. D., & Lovat, T. (2012). Neuroscience and Education: Issues and Challenges for Curriculum. *Curriculum Inquiry*, 42(4), 534–557. doi:10.1111/j.1467-873x.2012.00602.x

Devonshire, I. M., & Dommett, E. J. (2010). Neuroscience: Viable applications in education? *Neuroscientist*, 16, 349–356. <https://doi.org/10.1177/1073858410370900>

Dresler, T., Bugden, S., Gouet, C., Lallier, M., Oliveira, D. G., Pinheiro-Chagas, P., ... Weissheimer, J. (2018). A Translational Framework of Educational Neuroscience in Learning Disorders. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 12. doi:10.3389/fnint.2018.00025

Feiler, J. B., & Stabio, M. E. (2018). Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education*, 13, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.001>

Fischer KW, Goswami U, Geake J and The Task Force on the Future of Educational Neuroscience (2010) The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education* 4(2): 68–80.

Fuller, J. K., & Glendening, J. G. (1985). The neuroeducator: Professional of the future. *Theory Into Practice*, 24(2), 135–137. doi:10.1080/00405848509543161

Gabrieli, J. D. (2016). The promise of educational neuroscience: comment on Bowers (2016). *Psychol. Rev.* 123, 613–619. doi: 10.1037/rev0000034

Gago Galvagno, L. G., & Elgier, Á. M. (2018). Trazando puentes entre las neurociencias y la educación. *Aportes, límites y caminos futuros en el campo educativo. PSICOGENTE*, 21(40). doi:10.17081/psico.21.40.3087

Galaburda, A., (2011) *Neuroscience, Education, and Learning Disabilities, Human Neuroplasticity and Education*. Pontifical Academy of Sciences, *Scripta Varia* 117, Vatican City 2011 www.pas.va/content/dam/accademia/pdf/sv117/sv117-galaburda.pdf

Geake, *Neuromythologies in education*, *Educ. Res.* 50 (2008) 123–133, <https://doi.org/10.1080/00131880802082518>.

Gleichgerricht, E., Lira Luttges, B., Salvarezza, F., & Campos, A. L. (2015). Educational Neuromyths Among Teachers in Latin America. *Mind, Brain, and Education*, 9(3), 170–178. doi:10.1111/mbe.12086

Goswami, U. (2004). Annual review: Neuroscience and Education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1348/000709904322848798>

Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: from research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406–413. doi:10.1038/nrn1907

Han, Firat Soyly, D. Mona Anchan (2019) Connecting levels of analysis in educational neuroscience: A review of multi- level structure of educational neuroscience with concrete examples, <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100113>

Howard-Jones, S. Pickering, A. Diack, Perceptions of the role of neuroscience in education, *Sci. York.* 52 (2007), <https://doi.org/10.1039/b808160c>.

Hruby GG (2012) Three requirements for justifying an educational neuroscience. *British Journal of Educational Psychology* 82(1):1–23. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2012.02068.x>

E.G. Jones, L.M. Mendell, Assessing the decade of the brain, *Science* 284 (1999) 739, <https://doi.org/10.1126/science.284.5415.739>.

Letelier S, L. M., Manríquez M, J. J., & Rada G, G. (2005). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: ¿son la mejor evidencia? *Revista médica de Chile*, 133(2), 249. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872005000200015>

Lovat, T., & Smith, D. (2003). *Curriculum: Action on reflection* (4th ed.). Melbourne, Australia: Thomson, ISBN-13 : 978-0170181662

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009>

Martin-Loeches, M. (2015). Neuroscience and education: We already reached the tipping point, *Psicología Educativa* 21 (2015) 67-70. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pse.2015.09.001>

Martín Rodríguez, J.F., Cardoso-Pereira, N., Bonifácio, V. y Barroso Martín, J.M. (2004). La Década del Cerebro (1990-2000): algunas aportaciones. *Revista española de neuropsicología*, 6 (3-4), 131-170

Melnic, A., Botez, N. (2014) Formal, Non-Formal and Informal Interdependence in Education, Economy Transdisciplinarity Cognition, Volume 17, Issue 1/2014, 113-118

Ministerio de Educación Nacional, definición de currículo. <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-79413.html#:~:text=Curr%C3%ADculo%20es%20el%20conjunto%20de,las%20pol%C3%ADticas%20y%20llevar%20a>

Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral, 11(3), 184-186. <https://doi.org/10.4067/s0719-01072018000300184>

OECD, Understanding the Brain -Towards a New Learning Science, OECD Publishing, 2002, <https://doi.org/10.1787/9789264174986-en>.

Ortiz Torres., E. (2012) La interdisciplinaria en las investigaciones educativas Didáctica y Educación, ISSN-e 2224-2643, Vol. 3, N°. 1, 2012, págs. 1-12.

Pallarés-domínguez (2016) neuroeducación en diálogo: neuromitos en el proceso de enseñanza-aprendizaje y en la educación moral Daniel Universitat Jaume I de Castellón, DOI: [pen.v72.i273.y2016.010](https://doi.org/10.1016/j.pensamiento.2016.01.010), PENSAMIENTO, vol. 72 (2016), núm. 273, pp. 941-958

Papatzikis, E., (2017) Neuromyths in Education and Development: A Comprehensive Approach, European Scientific Journal January /SPECIAL/ edition ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431

Pasquinelli, Neuromyths: why do they exist and persist? Mind Brain Educ. 6 (2012) 89–96, <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01141.x>.

Peschansky, V.J., Burbidge, T.J., Volz, A.J., Fiondella, C., Wissner Gross, Z., Galaburda, A.M., et al. (2010). The effect of variation in expression of the candidate dyslexia susceptibility gene

homolog Ki- aa0319 on neuronal migration and den- dritic morphology in the rat. *Cereb Cortex*, 20(4), 884-897.

Perkins, D. (2009). On Grandmother Neurons and Grandfather Clocks. *Mind, Brain, and Education*, 3(3), 170–175. doi:10.1111/j.1751-228x.2009.01067.x

Rigo, D. Y., De la Barrera, M, L., Travaglia, P., (2017) Diseñar la clase aportes desde las Neurociencias y la psicología educacional, *Rev. Psicopedagogia* 2017; 34(105): 268-75.

Shravani Sur and V. K. Sinha¹, Event-related potential: An overview [10.4103/0972-6748.57865](https://doi.org/10.4103/0972-6748.57865)
PMCID: PMC3016705 PMID: 21234168

Schillinger Frieder L. Event-Related Potentials (ERPs) Reflecting Feedback and Error Processing in the Context of Education *Zeitschrift für Psychologie* (2016), 224, pp. 286-289. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000264>.

Tayyabah Yousaf , George Dervenoulas , Marios Politis. *Advances in MRI Methodology.Int Rev Neurobiol.* 2018;141:31-76.

Uman L. S. (2011). Systematic reviews and meta-analyses. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry = Journal de l'Académie canadienne de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent*, 20(1), 57–59.

Van der Meulen, A., Krabbendam, L., & de Ruyter, D. (2015). Educational Neuroscience: Its Position, Aims and Expectations. *British Journal of Educational Studies*, 63(2), 229–243. doi:10.1080/00071005.2015.1036836

Watagodakumbura, C. (2015). Reviewing the Purpose of Education and Challenges Faced in Implementing Sound Pedagogical Practices in the Presence of Emerging Evidence from Neuroscience. *World Journal of Education*, 5(6), 23-36. <https://doi.org/10.5430/wje.v5n6p23>

Watagodakumbura Ch, (2017) Principles of Curriculum Design and Construction Based on the Concepts of Educational Neuroscience, doi:10.5539/jel.v6n3p54