

Neurociencias Cognitivas en la Formación de Profesores de Matemática

Cognitive Neuroscience in Mathematics Teachers Training

Karly B. Alvarenga, António Domingos, Diana O. Cabrera Zuñiga

Fecha de recepción: 18/11/2021

Fecha de aceptación: 7/04/2022

| | |
|------------------------|---|
| <p>Resumen</p> | <p>El objetivo principal de este trabajo es presentar algunas directrices relacionadas a la Neurociencia Cognitiva, en la formación de profesores de Matemática. El presente estudio forma parte de una investigación teórica cualitativa, basada en artículos (21) y libros (4) relacionados dentro del período 2006-2021. El análisis apuntó a 4 categorías emergentes, agrupadas según las temáticas encontradas en las respuestas a la pregunta: ¿dónde y cómo es posible encontrar en la literatura sobre Neurociencias Cognitivas aspectos que versan sobre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas y, en particular, la formación de profesores de matemáticas? Los resultados muestran la necesidad de incluir aspectos de neurociencia sobre el estudio del funcionamiento cerebral en el acto de aprender matemáticas como parte de la formación de profesores, incluyéndose temas como las emociones, la ansiedad, el don, la cultura, la plasticidad cerebral entre otros con el propósito de integrarlos a esa formación. Asimismo, se hacen necesarias más investigaciones colaborativas entre estas áreas para obtener un mejor diálogo y entendimiento entre ellas para mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje escolar</p> <p>Palabras clave: formación de profesores, matemáticas, neurociencias cognitivas</p> |
| <p>Abstract</p> | <p>The main objective of this work is to present guidelines of the inclusion of topics regarding the Cognitive Neuroscience to be considered in the training of Mathematics teachers. This study is part of a qualitative theoretical investigation based on articles (21) and books (4) related to the subject dated from 2006 to 2021. The analysis pointed 4 emerging categories, organized according to the themes found in the answers to the question: where and how is it possible to locate in the literature on Cognitive Neurosciences aspects that deal with the teaching and learning of mathematics and, mainly, in training of mathematics teachers? The results show the need to include themes related to brain functioning in the act of studying mathematics, such as emotions, anxiety, gift, culture, brain plasticity, among others to the training curricula. However, more collaborative research in these areas is required to consolidate the dialogue between cognitive neurosciences and education, and as a result</p> |

| | |
|---------------|---|
| | <p>acquire a greater dialog and understanding about school teaching and school learning in order to improve the quality of them. Keywords: teacher training, mathematics, cognitive neuroscience</p> |
| Resumo | <p>Este trabalho tem por objetivo principal apresentar indicações sobre a inclusão de temas a respeito de Neurociências Cognitivas na formação de professores de matemática. Ele é fruto de uma investigação teórica qualitativa realizada em artigos (21) e livros (4) datados no período de 2006 a 2021. A análise realizada apontou 4 categorias emergentes, agrupadas segundo as temáticas encontradas em respostas à questão: onde e como é possível localizar na literatura sobre Neurociências Cognitivas aspectos que tratam do ensino e da aprendizagem de matemática e, em específico, da formação de professores de matemática? Os resultados apontam para uma necessidade de incluir nos currículos de formações, temas relacionados ao funcionamento cerebral no ato de aprender matemática, como as emoções, a ansiedade, o dom, a cultura, a plasticidade cerebral dentre outras. São necessárias mais pesquisas colaborativas entre essas áreas para consolidar o diálogo entre as neurociências cognitivas e a educação, e conseqüentemente, obter mais entendimento sobre o ensino e a aprendizagem escolar. Palavras-chave: formação de professores, matemática, neurociências cognitivas</p> |

1.El fenómeno de la Enseñanza y del Aprendizaje

El cómo el ser humano aprende siempre inquietó e inquieta a muchos investigadores como filósofos, educadores, psicólogos, biólogos y otros estudiosos. Inicialmente, la base del aprendizaje era focalizada en las costumbres, tradiciones y se aprendía a través de imitaciones u observaciones a los de mayor experiencia. En la edad media, el aprendizaje fue direccionado hacia temas religiosos, pero, al final de esa era, debido a las modificaciones que ocurrieron con la llegada del Humanismo y de la Reforma Protestante en el siglo XVI y, la repercusión de la Revolución Francesa, las teorías de enseñanza y aprendizaje tomaron nuevos caminos. Hubo indicaciones que el aprendizaje se daba por la vía del condicionamiento; otros, creían que este sucedía mediante procesos mentales sin la influencia externa; unos sustentaban que este tenía lugar en la influencia del medio ambiente, otros en la predisposición innata del individuo y otros creían en los procesos de asimilación y acomodación de las estructuras cognitivas. Además, también hubo educadores a considerar la influencia del lenguaje, la edad del alumno y las creencias espirituales, entre otras variables.

Para Alvarenga y Domingos (2021) es cierto que en tiempos pasados las teorías del aprendizaje eran elaboradas solamente por observaciones del comportamiento del individuo y también, por aquellas realizadas a los animales, no existiendo ningún otro medio para la colección de datos que nos llevara a la elaboración de una respuesta a la pregunta ¿Cómo es que el alumno aprende? Desde el inicio de la escolarización, todo lo relacionado al proceso de adquirir conocimientos intriga a educadores y a otros profesionales como médicos, psicólogos, sociólogos, antropólogos y filósofos. Las instituciones escolares

seleccionaban los temas que irían a ser enseñados; así, organizaban y elaboraban metodologías de enseñanza que ayudasen a la adquisición de aquellos conocimientos y después, se llegaba al acuerdo de analizar si ellos eran realmente adquiridos en los salones de clases.

Sin embargo, las preocupaciones con la adquisición del aprendizaje hicieron que se generaran más y más investigaciones porque muchos resultados de las evaluaciones indicaban que los contenidos escolares no habían sido aprendidos. Preguntas como ¿Será que no es efectivo nuestro método de enseñanza? ¿Será que los alumnos no estaban aptos para aprenderlos? ¿Qué sucede allí, en aquella situación donde no hubo aprendizaje? ¿Cómo se está formando el profesor de las matemáticas? (Alvarenga y Domingos, 2021).

El fenómeno de *enseñanza y aprendizaje* es complejo y necesita constantes estudios pues, es dinámico y debería seguir el curso del desarrollo de la humanidad donde entran en escena diversos factores como el cultural, el social, el económico, el político, el familiar, el tecnológico, el económico, el biológico y, los intereses predominantes de una sociedad.

En medio de ese intrigante fenómeno repleto de variables que, envuelven el *enseñar y el aprender escolar* se destaca la variable *formación inicial y continua del profesor*. La misma, ¿Debería ser repensada y reformulada constantemente? ¿Tendría que estar relacionada con los cambios científicos, tecnológicos, culturales, ambientales e incluso biológicos de una sociedad? Asumiendo que la respuesta sea sí a esas preguntas, nuestro objetivo aquí es presentar algunos puntos basados en las publicaciones seleccionadas para generar una reflexión sobre la inclusión de temáticas relacionadas a las Neurociencias Cognitivas en la formación de profesores de Matemática.

Al final de la década de 70, la Educación Matemática se forma por medio de varias áreas como la psicología, la matemática, la didáctica, la sociología, la antropología, la etnografía, la epistemología, la semiótica y la historia. Además, surge una nueva área a ser incluida en esta lista que es la Neurociencias Cognitivas (el nombre de esta nueva área cambia según los investigadores; así tenemos: Neuroeducación, Neurodidáctica, Neurocognición, Neurociencia Educativa, Neuroaprendizaje, entre otros). A lo largo de este trabajo usaremos también dichos términos para enfatizar la diversidad.

Para Alvarenga y Domingos (2021) en 1985, la idea de un "neuroeducador" fue presentada por Jocelyn Fuller y James Glendening; ellos consideraron el llevar a cabo el desarrollo de una ciencia de naturaleza interdisciplinar en la cual se destacaría la importancia de una enseñanza utilizando el conocimiento de las estructuras biológicas y del funcionamiento del cerebro. A partir de entonces, hubo un aumento significativo en el número de investigaciones sobre el rol de las Neurociencias Cognitivas en la Educación (Leikin et al., 2014; Pizyblski et al., 2009; Smedt y Verschaffel, 2010; Obersteiner et al., 2010; Alvarenga, 2020 y otros). Paralelamente, hubo también un sinnúmero de descubrimientos, innovaciones y avances en relación al conocimiento del cerebro. A pesar de esto, muchos profesores no he tenido conocimiento sobre cómo son estas investigaciones. Un ejemplo puede ser visto en Leikin et al. (2014), que con el auxilio de electrodos dispuestos (Figura 1), obtuvieron el mapeo de áreas activadas en la resolución de

tareas matemáticas de adolescentes entre 16 y 17 años, algunos con buen desempeño y otros, superdotados.

Las neuronas consumen oxígeno, como las otras células, suministrado por la sangre. Los cambios en el nivel de oxígeno en la sangre en una región del cerebro indican actividad neuronal: cuanto más activo, mayor es el consumo de oxígeno. Los cambios en los niveles se miden y visualizan mediante una técnica llamada Resonancia Magnética Funcional. En el caso de los electrodos (Figura 1), se miden mediante pequeños campos eléctricos que surgen de las comunicaciones entre las neuronas. La suma de estos campos se registra colocando los electrodos debajo del cuero cabelludo, una técnica llamada Electroencefalografía. Ella registra la actividad de la corteza.

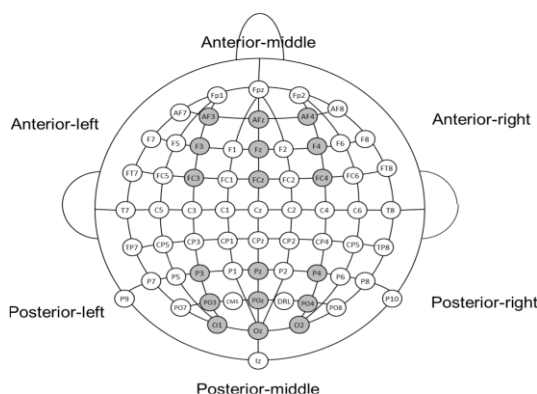


Figura 1: Bosquejo de la localización de electrodos para realizar una ERP. Electrodo anterior o frontales: AF3, AFz y AF4; frontales: F3, Fz y F4; fronto-centrales: FC3, FCz y FC4; parietales: P3, Pz y P4; parieto-occipitales: PO3, POz y PO4; occipitales: O3, Oz y O4; posteriores derechos (PR): P4, PO4, O2; media posterior (PM): Pz, POz, Oz; posteriores izquierdos (PL): P3, PO3, O1; anteriores derechos (AR): AF4, F4, FC4; medios anteriores (MA): AFz, Fz, FCz; anteriores izquierdos (AL): AF3, F3, FC3. **Fuente:** Leikin et al. (2014, p. 43)

Conocer el proceso de construcción del conocimiento matemático se refleja en la mejor comprensión del mismo. En la era contemporánea, Poincaré, en 1905 publicó *'Intuition and Logic Mathematics'* y reflexionó sobre cómo la intuición matemática ocurre y cómo se procesa su lógica y, la creatividad del pensamiento matemático. En 1945, Haddamad expresó lo importante que era que un matemático fuese también psicólogo o viceversa; de serlo, el tema sería mejor abordado y comprendido. En esa época, jamás se iría a imaginar que un equipo interdisciplinar provisto de un equipamiento tecnológico basado en herramientas electromagnéticas, de radiofrecuencia entre otras, se sumergirían en los caminos difíciles y llenos de percances, para comprender cómo la mente aprende matemáticas.

La investigación aquí presentada forma parte de una más amplia, que sigue desde 2018 y cuyo objetivo general de ella es analizar las Neurociencias Cognitivas a la enseñanza y al aprendizaje de las matemáticas, principalmente en la universidad. En Alvarenga y Domingos (2021) fue destacado las conexiones de la Neuroeducación y formación de profesores, pero aquí profundizamos con enfoque directo a los aspectos más importantes de las Neurociencias Cognitivas para la formación de los profesores de matemáticas. En Alvarenga (2021) es presentado maneras de avanzar el pensamiento matemático en la educación básica con

respaldos de las Neurociencias. Y basados en Alvarenga y Domingos (2021) presentamos de comienzo algunas de las características cerebrales.

2. El funcionamiento del Cerebro

Comprender el funcionamiento del cerebro es un desafío. Él es parte del encéfalo (Figura 2) además del diencefalo, el cerebelo y el tronco encefálico.

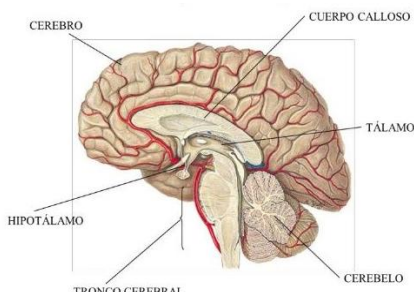


Figura 2: Partes del encéfalo. **Fuente:** <https://www.pinterest.es/pin/675469644085788225/>

Al final del siglo XIX, Golgi y otros explicaron, de modo superficial, que la información es procesada y transmitida a toda la extensión del sistema nervioso desde el momento en que llega, la misma, a los receptores sensoriales, localizados en la superficie del cuerpo, hasta su inserción a las estaciones finales localizadas en la corteza cerebral (Delgado, 2017) (Figura 3).

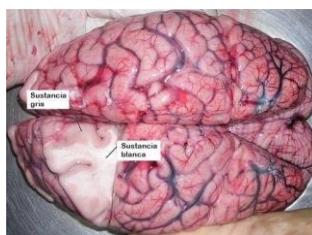


Figura 3: Corteza cerebral, parte interna (en color gris); fibras de mielina (en color blanquecino). **Fuente:** <https://www.lifeder.com/sustancia-gris/>

La corteza cerebral, se asocia con el procesamiento de la información, es una membrana fina, de 6 capas aproximadamente (de 1mm a 4 mm) que cubre el cerebro con múltiples enlaces entre sí, los cuales, tienen una variedad de tamaños y formas geométricas diversas. Presenta un color agrisado y cubre todos los surcos y circunvalaciones con un área en torno a 0,22 m². Su parte interna contiene la coloración blanquecina y está formada por las fibras de mielina, por donde son transportadas las informaciones (Figura 3). Allí se instalan las células gliales y las neuronas en un número aproximado a 90 billones. La corteza está dividida en dos hemisferios, el izquierdo y el derecho, ambos subdivididos en lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital (Figura 4).

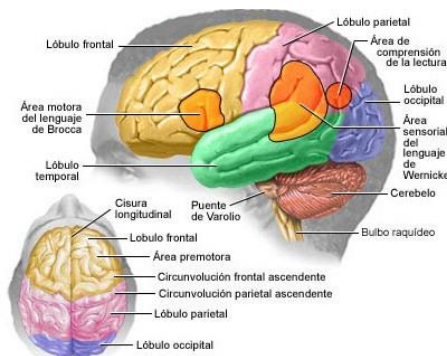


Figura 4: Divisiones de la corteza cerebral. **Fuente:** <https://www.youbioit.com/es/article/20971/lobulos-y-areas-del-cerebro>

Para un aprofundamiento al respecto de las áreas de activación cuando se estudia las matemáticas se puede consultar Alvarenga (2020) y Leikin et al. (2016)

La Neocorteza es la parte más desarrollada del cerebro y, es la responsable por nuestra razón y discernimiento. Existen varios proyectos de investigación con el objetivo de profundizar el conocimiento sobre ese órgano tan misterioso. Por ejemplo, el *Blue Brain Project* (europeo) y el *Initiative Brain* (americano), cuyos objetivos son conseguir una mejor simulación del cerebro humano con ayuda de una supercomputadora.

2.1. Transmisión de Informaciones a Nivel Neuronal

El contexto biológico de la transmisión neuronal de informaciones es esencial para comprender mejor el proceso de aprendizaje (Figura 5).

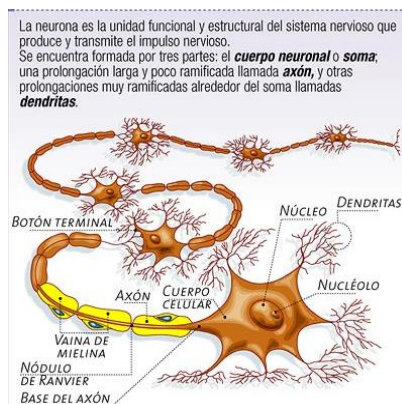


Figura 5: Transmisión de las informaciones entre las neuronas. **Fuente:** <https://www.monografias.com/trabajos14/neuronas/neuronas.shtml>

Cada parte de la neurona, esto es, el cuerpo celular, las dendritas, los axones y sus terminaciones sinápticas, es responsable por una función específica (Figura 6). La dendrita recibe la información la cual pasa por el cuerpo de la neurona para luego transmitirla hacia otra, a través de su axón. La membrana celular juega un papel fundamental que, consiste en permitir que una neurona se comunique con su entorno externo y transmita señales.

La sinapsis es el proceso que permite la comunicación entre los aproximadamente 28 mil millones de neuronas de nuestro sistema nervioso. Se produce mediante señales químicas y eléctricas y se lleva a cabo en los botones sinápticos, situados en cada extremo de las ramificaciones del axón. En el interior de cada botón sináptico existen pequeños depósitos llenos de una sustancia

química llamada neurotransmisores, que ayudan a traspasar la información de una célula hacia otra. (Anónimo, 2009)

Para que el impulso eléctrico se transmita, los iones positivos de sodio que, están fuera de la neurona en estado de descanso, traspasan la membrana celular. Al interior de la neurona, la carga eléctrica es negativa. Cuando los iones positivos de sodio ingresan a la neurona, cambian la carga interna de negativa a positiva (Figura 6). En la medida que el impulso avanza por la membrana, su interior recobra la carga negativa. De esta forma, el impulso pasa de una neurona hacia otra (Anónimo, 2009).

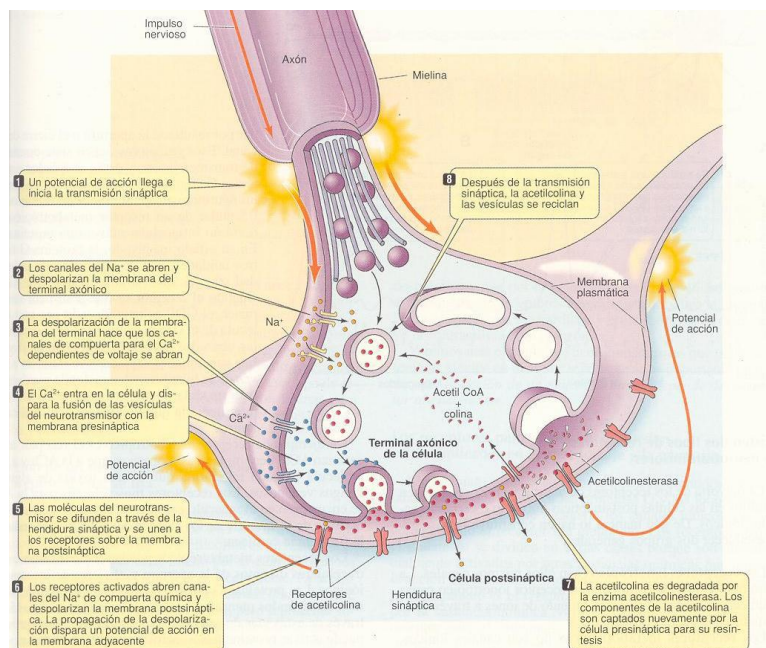


Figura 6: Bosquejo de la transmisión de la información. **Fuente:** <https://www.pinterest.com/pin/180003316346376908/>

3. Bases Metodológicas de la Investigación

Después de varios cursos impartidos y de una mirada en los contenidos de graduaciones en carreras para docentes y de los posgrados de cuatro universidades brasileñas e dos portuguesas que involucran Educación Matemática hemos observado que en general, no son impartidos temáticas relacionadas con las Neurociencias Cognitivas y aprendizaje matemática. Así, dimos inicio a un análisis cualitativo a partir de estudios empíricos y bibliográficos que reflejasen la inclusión de la Neuroeducación en la formación docente, teniendo como eje direccionador la pregunta: *¿Cómo los trabajos elegidos tratan el tema de la Neurociencias Cognitivas y Formación de Profesores de matemática?*

Hicimos una búsqueda en el sitio *Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior del Ministério da Educação*, brasileño, por medio de los descriptores, en inglés y en portugués: neuroscience and mathematics; brain and mathematics; mathematics, teacher and neuroscience. Destacamos 21 artículos y acrescentamos 4 libros (Tabla 1), desde el 2006 hasta el 2021. Los priorizamos según: Formación de Profesores de Matemáticas y estudios cerebrales relacionados al proceso de aprender y autores de diferentes instituciones. Leemos todos y los agrupamos en cuatro categorías: Aspectos

cerebrales inherentes al aprendizaje; Aspectos Neuroeducativos de las Matemáticas; Sugerencias explícitas para la Introducción de Contenidos Biológicos-Cerebrales en la Formación del Profesor; y Investigaciones Colaborativas entre Educación Matemática y Neurociencias Cognitivas. Los libros fueron necesarios para el mejor entendimiento de los aspectos biológicos y los impactos de ellos en el aprendizaje.

| 2006 | | 2008 | | | |
|---|--|---|--|---|--|
| Chen, C., Wu, T., Cheng, M. <i>Prospective demonstration of brain plasticity after intensive abacus-based mental calculation training: An fMRI study</i> | | Goswami U. <i>Principles of Learning, Implications for Teaching: A Cognitive Neuroscience Perspective.</i> | | | |
| 2009 | | | | | |
| Radford L.; André M. <i>Cerebro, Cognición y Matemáticas</i> | | Pizyblski L. M.; Santos Junior G.; Pinheiro N. A. M. <i>Relações entre o Ensino da Matemática e a Neurociência</i> | | | |
| 2010 | | | | | |
| Rato J. R. ; Caldas A. C. <i>Neurociências e educação: Realidade ou ficção</i> | | De Smedt B. y Verschaffel L. <i>Traveling down the road: from cognitive neuroscience to mathematics education ... and back</i> | | | |
| Obersteiner A., Dresler T., Reiss K., Vogel, A. C. M, Pekrun R. ; Fallgatter A. <i>Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research</i> | | | | | |
| 2011 | | | | | |
| Hammes de Carvalho F. H. <i>Neurociências e Educação: Uma Articulção Necessária na Formação Docente.</i> | | De Smedt B., Ansari D., Grabner H., Hannula-Sormunen M., Schneider M. y Verschaffel L. <i>Cognitive neuroscience meets mathematics education: It takes two to Tango</i> | | | |
| Ansari, D.; Coch D.; De Smedt B. <i>Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where will the journey take us</i> | | | | | |
| 2012 | | 2014 | | 2016 | |
| Nouri A.; Mehrmohammadi M. <i>Defining the Boundaries for Neuroeducation as a Field of Study</i> | | Anderson J.R; Lee H. S. B; Fincham J.M. <i>Discovering the structure of mathematical problem solving.</i> | | Leikin, M.; Waisman, I.; Shaul, S.; Leikin, R. <i>Brain Activity Associated with Translation from a Visual to a Symbolic Representation in Algebra and Geometry</i> | |
| Amalric M.; Dehaene S. <i>Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians.</i> | | | | | |
| 2017 | | | | | |
| *Delgado, C. <i>El nuevo cerebro humano: críticas, reflexiones y nuevos descubrimientos.</i> | | Kelly C. <i>The Brain Studies Boom: Using Neuroscience in ESL/EFL Teacher Training.</i> | | Nouri A. <i>The Neuro-cultural bases of learning and development: Towards a culturally responsive education</i> | |
| 2018 | | | | | |
| *Boaler J. <i>Mentalidades Matemáticas: Estimulando o Potencial dos Estudantes por Meio da Matemática Criativa, das Mensagens Inspiradoras e do Ensino Inovador</i> | | Feiler J. B. ; Stabio M. E. G. <i>Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature</i> | | Kucian K.; Mccaskey U.; Tuura R. O. ; Von Aster M. <i>Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children.</i> | |
| Gomes, A. R.; Colombo Junior P. D. <i>Diálogos necessários: emoções e a formação inicial de professores</i> | | Mo J. H., Yu Z. S. y Wei L.Y. <i>Research on Mathematical Education and Teaching Design</i> | | | |
| 2019 | | | | | |
| *Lent, R. <i>O Cérebro Aprendiz - neuroplasticidade e educação.</i> | | | *Magrini, M. <i>Cérebro - Manual do Utilizador</i> | | |
| 2021 | | | | | |
| Alvarenga, K. <i>Maneiras de Avançar o Pensamento Matemático na Educação Básica com Respaldo das Neurociências</i> | | | | | |

Tabla 1: Autores y títulos elegidos. Los libros están enmarcados con *. Fuente: Los autores

4. Resultados

Las categorías mencionadas conforman un conjunto de conocimientos que pueden y deben estar presentes en los cursos de preparación de docentes en matemáticas para ayudarlos a ampliar sus conocimientos, agregar saberes más amplios y modernos sobre el desarrollo del aprendizaje matemático.

4.1 Aspectos cerebrales inherentes al aprendizaje de las matemáticas

Con miras a obtener una interpretación más refinada de los resultados presentamos esta sección subdividida en: El Don; Las Emociones; La Cultura; La Ansiedad y La Plasticidad Cerebral. A pesar de que ellas no cubren todos los aspectos cerebrales correspondientes al aprendizaje y a la enseñanza, las mismas contribuirán al desarrollo de debates productivos en torno a la inclusión de los temas neuroeducacionales en la formación de profesores.

4.1.1. El Don

Las personas, receptoras de diversos mensajes positivos y enseñanzas adecuadas, pueden tener éxito en matemática y tener altos niveles de conocimiento en esta área. Hay niños que tienen necesidades educativas especiales las cuales interfieren o dificultan su entendimiento o comprensión matemática, pero para la mayoría de los ellos, alrededor del 95% cualquier nivel de matemática escolar está a su alcance. Boaler (2018) cuando ofreció una conferencia a un grupo de maestros, uno de ellos estaba claramente 'perturbado' por esa idea. Él dijo: "No me estás diciendo que cualquier estudiante del último año de educación primaria en mi escuela podría hacer cálculos del último grado de educación secundaria, ¿verdad?" Cuando ella respondió: "Eso es exactamente lo que estoy diciendo", se dio cuenta de que estaba realmente incómodo por la idea, aunque no la rechazaba de plano.

A veces nos resulta difícil aceptar el hecho de que, cualquiera puede aprender matemáticas a niveles altos, especialmente si han pasado muchos años decidiendo quién es o, quién no es capaz de aprender matemáticas y enseñar conforme a eso. Tal vez, muchos alumnos de sexto año de educación primaria han tenido experiencias o mensajes negativos desde su nacimiento que retrasaron su aprendizaje.

Hay alumnos que, a pesar de tener menor conocimiento en matemáticas, pueden alcanzar los niveles más altos en esta materia, caso tengan buenas experiencias matemáticas. Boaler (2018) afirma que el potencial de la plasticidad cerebral en el nacimiento puede ser eclipsada o disminuida por las experiencias positivas de aprendizaje. Cuando los estudiantes son inmersos en ambientes estimulantes con mensajes positivos, los mismos son capaces de aprender muchas cosas. Innumerables evidencias científicas sugieren que la diferencia entre los profesionales de éxito y los que no lo son, no radica en los cerebros con los que nacieron sino, en la manera de ver a vida, en los mensajes que recibieron sobre su potencial y, en las oportunidades que tuvieron para aprender. Las mejores oportunidades para aprender suceden cuando las personas creen en sí mismos. El aprendizaje de muchos de ellas queda obstaculizado por aquellos mensajes que recibieron sobre su potencial, haciéndoles creer que no eran buenos en relación a sí mismos e, incluso, inferiores a otros.

No existe la idea de un "cerebro matemático" o "don matemático", como muchos creen; las personas tampoco nacen con el mismo tipo de cerebro. Nadie nace sabiendo matemáticas y, nadie nace sin la capacidad de aprender matemáticas. Desafortunadamente, las concepciones de 'don' son predominantes. Los investigadores se han manifestado recientemente sobre las concepciones de los profesores universitarios que, concebían esa idea del 'don' y encontraron algo notable: la matemática fue la asignatura en que esos docentes tenían ideas más fijas sobre quién podía o no aprender dicha materia (Boaler, 2018).

4.1.2. Las Emociones

Las emociones desempeñan un papel decisivo en el aprendizaje y en el sistema límbico (unidad responsable por las emociones y comportamientos sociales) formado por el tálamo, amígdala, hipotálamo e hipocampo. Ese sistema evalúa las informaciones decidiendo qué estímulos deben ser mantenidos o descartados, dependiendo de la retención de la información en el cerebro, además de la intensidad de la impresión provocada en él. La conciencia de la experiencia vivida es aflorada cuando la misma es comparada con otras experiencias y reflexiones del pasado que, pasaron por la corteza cerebral. Así, cuando conseguimos establecer una conexión entre la información nueva y la preexistente, son liberadas sustancias neurotransmisoras como la acetilcolina y la dopamina que aumentan la concentración y generan satisfacción (Lent, 2019; Magrini, 2019 y otros). Es de esta manera que tanto emoción y motivación influyen en el aprendizaje.

Los sentimientos, intensifican la actividad de las redes neuronales y fortalecen sus conexiones sinápticas, pudiendo estimular la adquisición, la retención, la evocación y la articulación de las informaciones en el cerebro. Por ello, necesitamos incentivar y destacar la importancia de contextos que provean a los individuos los prerequisites necesarios en cualquier tipo de aprendizaje: interés, alegría y motivación. En verdad, hasta la razón es fuertemente relacionada con la emoción. De un modo o de otro, nuestros actos y pensamientos son siempre influenciados por emociones.

Hammes de Carvalho (2011) completa la idea de que en el salón de clase, lo que se habla y cómo se habla constituyen elementos desencadenadores de pensamientos y razonamientos lógicos. Tomando como referencia las informaciones visuales y auditivas transmitidas por medio de recursos didácticos, incluidos en las prácticas docentes, se pueden crear circunstancias capaces de configurar una determinada identidad emocional, en virtud a los pensamientos adquiridos o memorias, que evocan o, generan recuerdos que a su vez direccionan y dan soporte a las interpretaciones de la mente. Las emociones y el estado de ánimo interfieren en la formación y en la evocación de memorias y, como cualquier función cognitiva que envuelve el proceso de sinapsis, cuanto mayor el número de estímulos condicionados a esa memoria, mayor es la retención o la evocación de una información dada.

De acuerdo con Gomes y Colombo Junior (2018) y Hammes de Carvalho (2010) en relación a la óptica de la neurociencia, las emociones son reacciones fisiológicas y psicológicas que tienen influencia sobre la comprensión, el conocimiento y el desarrollo del individuo. Boaler (2018) realza que el grado de emociones negativas que los profesores del nivel de enseñanza fundamental tenían en relación a las matemáticas, predecía el desempeño de las niñas en sus clases

mas, no así el de los niños. Esa diferencia de género probablemente ocurre porque las niñas se identifican con sus profesoras, sobre todo en la enseñanza elemental. Además, la autora resalta que las niñas asimilan rápidamente los mensajes negativos de las profesoras como es el caso de: “Sé que es muy difícil, mas vamos a intentar hacerlo” o “Yo era mala en matemáticas en la escuela” o “Nunca me gustaron las matemáticas”.

Entendemos que la integración entre las neurociencias, el estudio de las emociones y, la formación de profesores es necesario y no termina con estas reflexiones. Las emociones de los profesores y la de sus estudiantes pueden y deben ser analizadas para ayudar a un direccionamiento donde se propicie un ambiente agradable y con emociones positivas, con motivaciones buenas y sorpresivas y, descubrimientos dentro del proceso de aprendizaje, etc. Así, la temática de las emociones, también debería formar parte del currículo de formación de profesores, en especial de matemáticas. Además, podemos agregar que, dentro de las señales de comunicación no verbal, las expresiones faciales se destacan por tener el papel de transmitir de manera complementaria, informaciones particulares por medio de expresiones emocionales.

4.1.3. La Cultura

Otra conexión entre el aprendizaje y neurocognición indica que el cerebro se adapta continuamente al ambiente cultural cambiando su estructura y su función, dependiendo de la experiencia. Las variaciones neurales y comportamentales entre las culturas son causadas por la interacción de factores genéticos, fisiológicos y, culturales. Los recientes descubrimientos en el campo del cerebro y de la cultura, también sugieren que la experiencia cultural desempeña un papel significativo en la formación y desarrollo de mecanismos cerebrales subyacentes a la cognición. En relación a esto, el desarrollo emocional también es dramáticamente afectado por la calidad del contexto cultural (Nouri, 2017).

4.1.4. La Ansiedad

La matemática es frecuentemente asociada al estrés, a la frustración y a conflictos que se derivan de tareas que exigen estado de alerta. Verdaderamente, cualquier curso puede provocar ansiedad en los niños. Descubrimientos (Kucian et al., 2018) muestran que la ansiedad matemática está relacionada a la estructura cerebral alterada (Figura 8). En particular, el patrón estándar normal del volumen de la amígdala fue reducido en individuos con gran ansiedad matemática. Tal tipo de sentimiento dificulta, en los niños, su desarrollo aritmético el cual está asociado a la estructura cerebral alterada en áreas relacionadas al procesamiento del miedo. El considerar estos factores emocionales, ayudaría a estar en alerta sobre las consecuencias de la influencia de dichos factores en la cognición matemática y, esto a su vez, podría contribuir a alentar a educadores e investigadores a realizar estudios orientados a evitar que, el desempeño escolar sea vea perjudicado, así como también la calidad de vida de los alumnos, especialmente aquellos con discalculia (Alvarenga, 2021). Observemos que un cerebro que está bajo menos presión o estrés, está más apto para aprender. La Figura 8, presenta la neurona animal sob o no estrés.

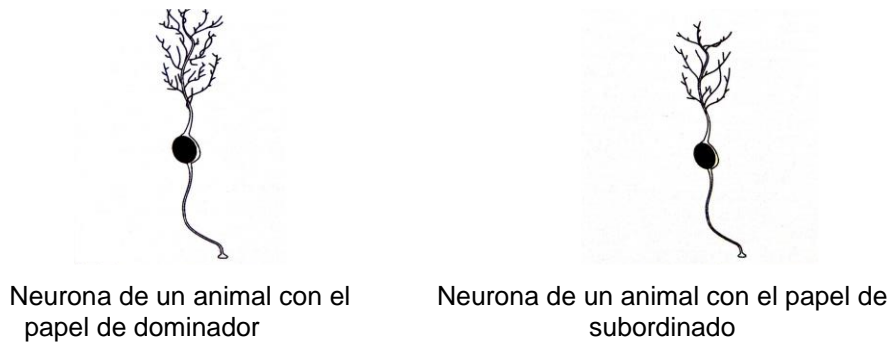


Figura 8: Imágenes de la neurona de un animal que provoca el estrés (lado izquierdo) en la neurona de otro animal que recibe el estrés (lado derecho). **Fuente:** (Jensen, 2002: 87)

4.1.5. La Plasticidad Cerebral

A pesar de que el término, plasticidad cerebral, es utilizado tanto en Psicología como en Neurociencia, dicho término no ha sido definido con carácter último. El presente trabajo toma en cuenta que, tal plasticidad es definida como la facultad que tiene el cerebro para recuperarse y reestructurarse. Desde el punto de vista de la educación, no podemos explorar y/o obtener información de todo el potencial de la plasticidad cerebral sin considerar la influencia que la cultura o el medio ambiente ejercen en el desarrollo del alumno.

En gran medida, la enseñanza tradicional de la matemática hace que el alumno invierta su tiempo solamente resolviendo ejercicios usando papel y lápiz, pero aislados en sus pupitres. Las informaciones que se tienen en relación a la madurez del cerebro nos invitan a intentar concebir la enseñanza y el aprendizaje de manera diferente. ¿Cuál sería la otra manera de enseñar y de aprender matemática? El conocimiento conceptual matemático es prácticamente 'corporificado'; es decir, es un conocimiento íntimamente relacionado al funcionamiento de nuestro sistema sensoriomotor. Desde esta perspectiva, este sistema no ofrece solamente una base para adquirir el contenido conceptual que el alumno pudiera desarrollar posteriormente, como supone la teoría del desarrollo cognitivo de Piaget sino también, se refiere al contenido semántico de los conceptos en función de las influencias tanto de nuestro cuerpo como aquellas provenientes del mundo exterior (Radford y André, 2009).

La flexibilidad del cerebro para reaccionar a las demandas del ambiente es descrita en el proceso de la sinaptogénesis, donde se forman nuevas conexiones y sinapsis entre las células cerebrales. A la misma, se le suma el hecho de que el conocimiento es codificado en los enlaces entre las neuronas como resultante de la actividad cíclica del cerebro al momento de aprender. En tal actividad, la plasticidad cerebral hace posible que se modifique la química, la anatomía y la fisiología del cerebro a partir de ciertas alteraciones en las redes neuronales. De ese modo, es imprescindible ofrecer situaciones de aprendizaje fundamentadas en experiencias ricas en estímulos y fomentar, además, actividades intelectuales que puedan promover la activación de nuevas sinapsis.

Una información recibida puede, por el desorden que genera, llevar a que se produzca un conocimiento particular en el individuo pues, para adquirir tal conocimiento se requiere que se desarrollen ciertas estrategias cognitivas a fin de

reorganizar y retomar el equilibrio que servirá de base en para la construcción del mismo. Se considera que, tal información es obtenida por medio de un proceso dinámico y recursivo el cual, está presente en la reconstrucción del propio acto previo a la adquisición del conocimiento. El aprendizaje, aunque envuelva la formación de sustratos físicos estructurados, se caracteriza por estar inmerso en el proceso de continua innovación el cual es maleable por naturaleza, además de flexible y dinámico.

Para finalizar, formulamos la reflexión sobre si el conocimiento de un docente, tanto en formación inicial como continua, debiera contar con estas informaciones neuroeducacionales. Si cuenta con ellas, ¡en buena hora! Pues, estamos seguros que las mismas podrán ayudarlos tanto a nivel personal como profesional. Si no contara con estos conocimientos, se hace necesario el considerar que los mismos tengan acceso a estos estudios para que mejoren el desarrollo su formación profesional.

4.2. Aspectos Neuroeducativos de las Matemáticas

Aquí, presentamos cuatro puntos para fortalecer el debate sobre el enfoque de los aspectos del cerebro en la formación de maestros que enseñan matemáticas. Son: El Contexto, Símbolos y Lenguaje Matemático; Cálculos Numéricos; Resolución de Problemas y, Lengua materna y La Matemática.

4.2.1. Contexto, Símbolos y Lenguaje Matemático

Basado en el trabajo de Mo, Yu y Wei (2018) la fusión de la contextualización y la simbolización requiere un estudio exhaustivo de la cognición matemática en la ciencia del cerebro. Dicha contextualización está enfocada en resolver problemas matemáticos en contextos específicos de la vida y, está estrechamente relacionada con la comprensión de las funciones cerebrales del habla mientras que, la simbolización se centra más en el procesamiento de símbolos, de cantidades y del razonamiento en el cálculo numérico. El mecanismo cerebral del contexto matemático está relacionado con el lóbulo temporal, el frontal, el hipocampo y otras regiones y, el mecanismo de simbolización se encuentra principalmente en la región del lóbulo parietal. En cognición matemática, algunas regiones del cerebro tienen conexiones funcionales cercanas. Por lo tanto, las actividades matemáticas, donde es utilizado el lenguaje matemático pueden verse como resultado de la acción conjunta de varias regiones del cerebro.

Consideramos que es necesario el estar conscientes de la necesidad de combinar, estableciendo interrelaciones, los elementos de la terna: lenguaje matemático, la matemática contextualizada y el lenguaje simbólico en la enseñanza y el aprendizaje y luego, incorporarla en la práctica docente y, también en el proceso de planificación de la educación matemática, en la que además se debería hacer más hincapié en otros tres aspectos: estimular la capacidad del espacio visual, impulsar el sistema de memoria cerebral y ejercitar las habilidades de cálculo de estimación. La función espacial visual está relacionada con el lóbulo parietal superior izquierdo en el proceso de cálculo, por ejemplo. Experiencias con expertos del ábaco mostraron resultados que, indican mayor activación en las regiones del cerebro anteriormente citadas lo cual, sugiere que mientras más se usen ambas, funciones, la espacial y la visual, mejor se tornará el poder de cálculo de los alumnos (Chen et al., 2006).

Los mismos autores también señalan que, la enseñanza de la matemática debería estar centrada en la práctica del sistema de la memoria. Los resultados de las investigaciones muestran que la activación de las regiones cerebrales involucradas en los cálculos matemáticos, cambia con la edad y la práctica. Y, las regiones parietales de los estudiantes con fuertes habilidades de cálculo están completamente desarrolladas y parecen tener más materia gris en la región derecha del surco intraparietal. Estos hallazgos proporcionan información importante sobre el desarrollo de habilidades matemáticas. Por lo tanto, la capacidad de procesar y almacenar información numérica es especialmente importante para la educación matemática. En el proceso de enseñanza en el salón de clase, el ejercicio de la memoria en los estudiantes para efectuar cálculos puede ser estimulada por medio la manipulación abstracta de los números para activar sus capacidades para extraer información aritmética de la memoria a largo plazo.

Finalmente, la educación matemática debería promover el fortalecimiento de las habilidades de estimación numérica de los estudiantes. La investigación muestra que las tareas actuariales dependen de representaciones lingüísticas específicas, mientras que las tareas de estimación dependen de la representación espacial y visual de los números. La región del cerebro activada por tareas actuariales, se superpone significativamente al área del lenguaje y, la tarea de estimación está estrechamente relacionada con las áreas relacionadas a la percepción física y, a la espacial. Por lo tanto, la adquisición de habilidades de estimación debe estar relacionada con habilidades de percepción espacial, visual y motora (Mo, Yu y Wei, 2018).

4.2.2. Cálculos Numéricos

De acuerdo con Pizyblski et al. (2009) la valorización de las situaciones-problema por la escuela actual, incluyendo los problemas geométricos, es válida en el aprendizaje y, por lo tanto, no debe suceder antes de que el alumno no sea capaz de realizar mentalmente las operaciones básicas aritméticas. En este caso, la práctica del cálculo mental facilita la resolución de problemas influenciando positivamente el razonamiento lógico. Los problemas geométricos y los de laberinto, dados el esfuerzo de interpretación y de razonamiento lógico, activan más el cerebro. Sin embargo, solo activan el hemisferio derecho del mismo y no los dos como se pensaba y; al contrario, los de cálculo simple, es decir, los de adición de números con apenas un dígito, activan ambos hemisferios intensamente.

En una investigación realizada por esos autores, alumnos del nivel de enseñanza fundamental y universitario fueron sometidos a cálculos de adición y substracción. Los cerebros de los universitarios, en la región del lóbulo frontal, tanto en el hemisferio derecho, como el izquierdo, presentaron intensa actividad; lo mismo sucedió con los niños del nivel de Enseñanza Fundamental. Esto significa que los patrones cerebrales difieren un poco en el adulto, más las regiones activadas de ambos, permanecen iguales. Se constató que cálculos básicos y simples activaron los cerebros de los niños, de los universitarios e incluso el de los profesores en varias regiones del cerebro, pero específicamente en el hemisferio derecho.

La región del cerebro que trabaja con los números, y que se sitúa en la corteza temporal inferior es también, el área que controla el pensamiento. En las dos situaciones, esto es, aquella en que se trabaja con los números como aquella en la que se controla el pensamiento, fueron las más activas cuando las personas

realizaban cálculos. Cuando resolvían situaciones-problema, la única diferencia fue el aumento de la región del lóbulo occipital, que controla la visión. Este estaba más activo debido a las exigencias de lectura y análisis. De esta forma, los cálculos deben ser incentivados incluso, en cursos de nivel superior pues esa actividad genera la activación de las regiones cerebrales, las cuales son importantes para la resolución de otras tareas (Pizyblski et al.,2009).

4.2.3. La Resolución de Problemas

Los investigadores Anderson et al. (2014) presentan las etapas de la resolución de problemas matemáticos, los factores que influyen en la duración de las mismas y, cómo ellas están relacionadas al aprendizaje de una nueva competencia matemática. Usando una combinación de análisis multivariante de patrones y el modelo oculto de Markov, descubrieron que los participantes pasaban por cinco fases principales en la resolución de problemas elaborados específicamente para esa investigación y resueltos con ayuda del computador. Estas fases son: una de definición – en la que se identifica el problema a ser resuelto; otra, de codificación – en la cual se codifican las informaciones necesarias; una de cálculos - donde se ejecutan los cálculos aritméticos necesarios; otra, de transformación – en la cual se ejecutan transformaciones matemáticas y, finalmente otra de respuesta - donde se ‘insiere’ una posible respuesta. La duración de los cálculos y la fase de transformación fueron las únicas que variaron con las condiciones del problema. Dos características diferenciaron las tentativas de resolución de un nuevo problema donde la duración de la fase final fue mayor y, hubo aumento de la activación en la corteza pre-frontal y en el rostro lateral, así como en el giro angular y, las regiones asociadas a la metacognición.

4.2.4. La Lengua Materna y La Matemática

El trabajo de Amalric y Dehaene (2018) aborda un problema de mucho tiempo sobre el relacionamiento entre matemáticas y lenguaje. ‘Escaneando’ a través de resonancias magnéticas, el cerebro de algunos profesionales del área de Matemática, quedó mostrado que el razonamiento de los mismos reposa en el conjunto de áreas que no son las clásicas regiones del hemisferio izquierdo envueltos en el procesamiento del lenguaje o de la semántica. En vez de eso, los dominios de la matemática (álgebra, análisis, geometría y topología) activan una red bilateral de regiones temporales pre-frontales, parietales e inferiores. Tales regiones, también son activadas cuando matemáticos o no matemáticos consiguen manipular los números mentalmente. Los resultados sugieren que un alto nivel de pensamiento matemático hace uso mínimo de áreas de lenguaje y, además hace uso de circuitos cerebrales inicialmente envueltos en el estudio de los conceptos de espacio y número. Esto puede explicar el porqué el conocimiento de número y espacio, durante la primera infancia, predice de algún modo el éxito matemático de los alumnos.

4.3. Sugerencias Explícitas para la Introducción de Contenidos Biológicos-Cerebrales en la Formación de Profesores

En esta categoría se muestran algunas sugerencias para que se incluyan, en la formación docente, la inclusión de contenidos biológicos-cerebrales. Así, en el artículo de Ansari et al. (2011), se argumenta, por un lado, que es crucial que la capacitación de profesores incluya aspectos de neurociencia cognitiva como parte fundamental en su formación. Por otro lado, se argumenta que aquellos estudiantes

de Neurociencias que incursionen en el área educativa, deban integrar sus conocimientos con aquellos provenientes de asuntos educacionales también. Tal conocimiento integrado ayudará tanto a neurocientíficos como a docentes a comprender mejor el desarrollo educativo de los niños y, los factores biológicos que ejercen influencia en los procesos de aprendizaje. Aquellos que ya estén abordando este tema, deberán direccionar sus investigaciones a las inquietudes o problemas que los educadores presenten y formulen en sus prácticas docentes.

La formación de profesores debería incluir, por lo tanto, las metodologías de investigación relacionadas a las limitaciones de los métodos comportamentales y cerebrales que, además midan la actividad del cerebro. No menos importante también es evaluar críticamente los resultados científicos y su publicación en los medios populares, especialmente porque ya existe una gran proliferación de los llamados "neuromitos" en publicaciones dirigidas a los profesores. Hay un creciente cuerpo de materiales pedagógicos respecto a esta literatura que dice estar "basada en el estudio del cerebro" (Obersteiner et al., 2010; De Smelt et al., 2011 y otros) y, no es así. Por lo tanto, ha de tenerse especial cuidado con la 'literatura' de este tipo de informaciones.

Los docentes necesitan "alfabetizarse en neurociencias"; y del mismo modo, los que realizan estudios neurocerebrales y cognitivos necesitan "alfabetizarse en educación" para crear lazos fuertes de comunicación entre tales áreas. Así, para ayudar a crear tales lazos, las fronteras académicas tradicionales necesitan ser superadas en un ambiente de respeto mutuo desarrollado, además a partir de una base común del estudio de los contenidos compartidos. Eso también exigirá que los departamentos de educación reduzcan su resistencia a la investigación neurocientífica, la cual es más empírica y cuantitativa. Al mismo tiempo, los departamentos de Neurociencias, deberían 'abrazar' la importancia de la investigación cualitativa, que es algunas veces considerada por ellos, inferior (Nouri y Mehrmohammadi, 2012; Ansari, Coch y De Smedt, 2011; Feiler y Stabio, 2018; Magrini, 2019, y otros).

¿Cuántos profesores saben que un simple estudio de los diferentes tipos de textos exige diferentes niveles de oxigenación del cerebro? ¿Y, que cuando más compleja la actividad propuesta es, en la medida que se eleve el grado de raciocinio, el flujo sanguíneo en el cerebro es más intenso? ¿El profesor tiene noción de que, su acción pedagógica desencadena en el organismo del alumno reacciones neurológicas y hormonales que, pueden tener influencia en su motivación para aprender? ¿Cómo siendo tan importante lo anterior, puede el profesor desconocer la dinámica relación entre la mente y el cerebro? El análisis de esas preguntas merece gran atención para que se dé importancia a las informaciones provenientes del área de la neurociencia en la educación y consecuentemente formular mejores metodologías de enseñanza.

4.4. Investigaciones Colaborativas entre Educación Matemática y Neurociencias Cognitivas

El objetivo de esta sección es presentar algunas ideas provenientes de investigaciones colaborativas entre ambas áreas. Para De Smedt et al. (2011), ese campo debe ser concebido como una vía doble con múltiples interacciones bidireccionales y recíprocas entre investigación educativa y neurociencia cognitiva. Por un lado, las Neurociencias Cognitivas pueden contribuir a que se

desarrollen mejores métodos de investigación en educación matemática (a) contribuyendo para una mejor comprensión del desarrollo numérico y matemático atípico, (b) abriendo caminos para la creación de experimentos comportamentales y (c) generando descubrimientos sobre aprendizaje e instrucción que no puedan ser descubiertos apenas por la investigación comportamental. Por otro lado, la investigación educacional puede influir positivamente en la investigación en la neurociencia cognitiva (a) ayudando a definir las variables de interés y (b) investigando los efectos de la instrucción en los correlatos del aprendizaje del aspecto neuronal. Ese esfuerzo interdisciplinar permitirá una mejor comprensión de cómo las personas aprenden (De Smedt et al., 2011).

Del trabajo de De Smedt y Verschaffel (2010) se destaca que las Neurociencias Cognitivas ofrecen un punto de apoyo relevante para los investigadores del área educativa quienes podrían acceder al mismo para elaborar sus propias herramientas metodológicas de investigación. Eso podría complementar y ampliar el conocimiento obtenido en base a los datos comportamentales con un enfoque común en la investigación educativa. Al mismo tiempo, se observa que los estudios neurocientíficos existentes investigaron el desempeño matemático, pero este estuvo aislado del contexto educacional. Las características de dicho contexto tienen, sin embargo, una gran influencia en el desempeño matemático y la actividad cerebral relacionada al mismo, lo que constituye una inquietud que debería ser abordada en investigaciones futuras.

Del mismo modo, Obersteiner et al. (2010) resaltan que investigaciones en educación matemática y en neurociencias usan, tradicionalmente e inherentemente, métodos distintos. Un problema que surge al respecto es que al combinar investigaciones de ambas áreas, los métodos neurocientíficos requieran de un ambiente artificial, mientras que la enseñanza, en el salón de clase, ocurre en un ambiente natural con un gran número de factores que tienen influencia en los procesos de aprendizaje. De este modo, en Educación, los estudios generalmente coleccionan datos de pruebas más convencionales, por ejemplo, de aquellas que realizan los alumnos usando papel y lápiz o, de observaciones hechas en el salón de clase. Los investigadores en educación matemática podrían argumentar que coleccionar datos de alumnos durante una resonancia magnética en la posición horizontal en un ambiente ruidoso, es muy diferente a resolver tareas con papel y lápiz en el salón de clase.

Por medio de una revisión sistemática de la literatura Feiler y Stabio (2018) apuestan por una colaboración conjunta e indican nombres de instituciones tales como el *Center for Educational Neuroscience* y el *Royal Society*, que promuevan un trabajo interdisciplinar para el desarrollo de las áreas de neurociencias y educación matemática. Ellos abordaron esa inquietud por medio de una revisión sistemática de la literatura y del análisis por temas de todas las definiciones y afirmaciones en base a tres puntos: aplicación de los resultados de las investigaciones, interdisciplinariedad entre las dos áreas y, traducción del lenguaje de un área, para la otra. Estos tres puntos son considerados grandes desafíos para el estudio conjunto entre estas áreas.

5. Reflexiones finales

De acuerdo con Gomes y Colombo Junior (2018), en las últimas décadas se han intensificado las discusiones e investigaciones sobre los avances de las

neurociencias vinculados a los procesos de enseñanza y aprendizaje en el ámbito educacional. Y, han crecido exponencialmente los debates sobre la formación inicial de profesores frente a las nuevas demandas de la sociedad. Los rápidos y continuos cambios de perfiles de los estudiantes se presentan como desafíos a ser enfrentados en la formación de profesores y, afectan directamente el pensar en ser profesor.

A donde este viaje nos lleve puede ser imprevisible, o a priori, pero es relativamente cierto que no se progresará sin esfuerzos conjuntos para marcar un camino que nos conduzca hasta allí. Los estudios de neurociencias son caros, con costos de magnitud superior a los estudios educacionales tradicionales. Para atraer financiamiento y evitar desperdiciar experimentos orientados a la educación; ellos deben ser planeados para que haya una buena chance de que resulten eficaces y, por tanto, estén por encima del 'nivel de ruido'. Con ello se busca también que los debates en torno a estos temas, sean fructíferos. Además de eso, las dificultades técnicas exigen que el proyecto experimental sea bastante perspicaz y direccionado hacia los objetivos del mismo para tener una buena oportunidad de éxito. (Quinn, 2010)

Es necesario quebrar los "neuromitos" y concepciones antiguas. Por ejemplo, Rato y Castro-Caldas (2011) advierten que están en circulación un sinnúmero de concepciones falsas sobre el cerebro. A partir del momento en que las potencialidades del cerebro se vuelvan motivo de noticia en periódicos y revistas de grado generalista, se hará importante separar lo que es científico de aquello que es pura especulación. Algunos mitos como: usamos apenas el 10% del cerebro (no podría estar más equivocada); otro mito es que el funcionamiento cerebral izquierdo y derecho son independientes (hoy, sabemos que los mismos trabajan interconectados)

Corroboramos en base a la reflexión de Nóvoa (2009) que una nueva perspectiva de aprendizaje debe ser generada y fomentada con una serie de estudios y contribuciones de diversos campos científicos y culturales. Muchas de esas contribuciones no llegaron a ser implementadas en las teorías educativas y, mucho menos, en las prácticas escolares. Los resultados recientes de las neurociencias sobre la importancia de las emociones, los sentimientos y consciencia del individuo de su propio aprendizaje, tampoco llegaron a serlo. Las investigaciones que han resaltado el papel de la memoria y de la creatividad, y el impacto de las nuevas tecnologías cumplen un rol importantísimo en el aprendizaje de las matemáticas. Sin embargo, las mismas tampoco han llegado a las teorías y prácticas del aprendizaje.

Así, sugerimos que Neuroeducación es un tema que necesitaría ser incluido en los currículos de los centros de formación de profesores de Matemática, sea de graduación o posgrado en Educación Matemática. Tal tema y sus repercusiones pueden de ser estudiados, discutidos y analizados tanto a nivel teórico como práctico para que sirva de guía de apoyo o referencia útil para los profesores en cada etapa de la enseñanza y estudio de los mismos. Esperamos que esta investigación sirva de motivación para otras donde el conocimiento de las áreas de Educación Matemática, de las Matemáticas Puras e las Aplicadas u otras ciencias, pueden dialogar y contribuir a la educación en beneficio de los estudiantes.

Referencias

- Alvarenga K. B. (2020). Neurociência cognitiva e matemática. En Pina R. & Dörr R. (Eds). *Cenários de Pesquisa em Educação Matemática*. Paco Editorial.
- Alvarenga K. B. & Domingos, A. (2021). Conexões Entre Neuroeducação e Formação de Professores. *Revista Internacional em Formação de Professores*. (en evaluación).
- Alvarenga K. (2021). Maneiras de Avançar o Pensamento Matemático na Educação Básica com Respaldo das Neurociências. En *A Educação Matemática na Escola: Pesquisas e Práticas Goianas* [E-book]. (Org.) Faria, E.C.; Gonçalves Júnior M.A. & Moraes, M. G. Cegraf UFG, 183 p.
- Amalric M. & Dehaene S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *PNAS*. 113(18), 4909–4917.
- Ansari, D, Coch D. & De Smedt B. (2011). Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where will the journey take us? *Educational Philosophy and Theory*, 43,1-2.
- Anderson J.R; Lee H. S. B. & Fincham J.M. (2014). Discovering the structure of mathematical problem solving. *NeuroImage*. 97,163–177.
- Anónimo (2009). *Las Neuronas*. <http://www.icarito.cl/2009/12/60-6926-9-las-neuronas.shtml/>.
- Boaler J. (2018) *Mentalidades Matemáticas: Estimulando o Potencial dos Estudantes por Meio da Matemática Criativa, das Mensagens Inspiradoras e do Ensino Inovador*. Penso.
- Chen, C., Wu, T. & Cheng, M. (2006). Prospective demonstration of brain plasticity after intensive abacus-based mental calculation training: An fMRI study. *Nuclear Inst & Methods in Physics Research A*, 569(2), 567- 571. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2006.08.101>
- De Smedt B., Ansari D., Grabner H., Hannula-Sormunen M., Schneider M. & Verschaffel L. (2011) Cognitive neuroscience meets mathematics education: It takes two to Tango. *Educational Research Review*, 6, 232–237.
- De Smedt B. & Verschaffel L. (2010). Traveling down the road: from cognitive neuroscience to mathematics education ... and back. *ZDM Mathematics Education*, 42,649–654.
- Delgado, C. (2017). *El nuevo cerebro humano: criticas, reflexiones y nuevos descubrimientos*. Grupo Z.
- 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.
- Grabner R. & Ansari D. (2010) Promises and potential pitfalls of a ‘cognitive neuroscience of mathematics learning’. *ZDM Mathematics Education*, 42, 655–660
- Goswami U. (2008). Principles of Learning, Implications for Teaching: A Cognitive Neuroscience Perspective. *Journal of Philosophy of Education*, 42, 3-4,
- Gomes, A. R. & Colombo Junior P. D. (2018). Diálogos necessários: neurociência, emoções e a formação inicial de professores. *Revista Iberoamericana de Educación* ,78 (1).
- Hammes de Carvalho F. H. (2011). Neurociências e Educação: Uma Articulação Necessária na Formação Docente. *Trab. Educ. Saúde*, 8 (3), 537-550.
- Jensen E. (2002). *O Cérebro, a bioquímica e as aprendizagens*. Trad. Joana Pinto. Portugal: Asa Editores.

- Kelly, C (2017). The Brain Studies Boom: Using Neuroscience in ESL/EFL Teacher Training. *Innovative Practices in Language Teacher Education: Spanning the Spectrum from Intra- to Interpersonal Professional*. Development (Springer).79-102.
- Kucian K., Mccaskey U., Tuura R. O. & Von Aster M. (2018) Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. *Translational Psychiatry*,8, 273-282.
- Leikin, M.; Waisman, I.; Shaul, S.& Leikin, R. (2014) Brain Activity Associated with Translation from a Visual to a Symbolic Representation in Algebra and Geometry. *Journal of Integrative Neuroscience*, 13(1),35-59.
- Lent, R. (2019). *O Cérebro Aprendiz: neuroplasticidade e educação*. Atheneu.
- Magrini, M. Cérebro. Manual do Utilizador. Desassossego, 2019.
- Mo J. H., Yu Z. S. & Wei L.Y. (2018). Research on Mathematical Education and Teaching Design. *Educational Sciences: Theory & Practice Based on Brain Science*. 18(5), 1432-1439.
- Nóvoa A. (2009). Educação 2021: Para uma história do futuro. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/670>.
- Nouri A. & Mehrmohammadi M. (2012). Defining the Boundaries for Neuroeducation as a Field of Study. *Educational Research Journal*. 27(1,2), 2-23.
- Nouri A. (2017).The Neuro-cultural bases of learning and development: Towards a culturally responsive education. *Journal of Curriculum Studies*,11 (43), 1-20.
- Obersteiner A., Dresler T., Reiss K., Vogel, A. C. M, Pekrun R. & Fallgatter A. J. (2010). Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM Mathematics Education*. 42, 541–554.
- Pizyblski L. M.; Santos Junior G. & Pinheiro N. A. M. (2009) Relações entre o Ensino da Matemática e a Neurociência. In *Atas do I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*. Paraná.
- Quinn F. (2010). *Cognitive Neuroscience and Mathematics Education*. <https://pdfs.semanticscholar.org/1150/997b6518793d64a92859973e07c1cab4da39.pdf>
- Radford L. & André M. (2009). Cerebro, Cognición y Matemáticas. *Relime*, 12(2), 215-250.
- Rato J. R. & Caldas A. C. (2010) Neurociências e educação: Realidade ou ficção? *Atas do VII Simpósio Nacional de Investigação em Psicologia*. Universidade do Minho. Portugal.

Karly B. Alvarenga. Profesora doctora del Instituto de Matemática e Estatística (IME) en la Universidade Federal de Goiás (UFG - Brasil). Trabaja en el Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática (UFG) y en el Programa de Pós-Graduação PROFMAT. Goiás. Goiânia. Brasil. karly@ufg.br. orcid.org/0000-0001-7670-8548

António Domingos. Profesor doctor del Departamento de Ciências Sociais Aplicadas y coordinador del Programa Doutoral em Educação y del Grupo de Educação Matemática en la Universidade Nova de Lisboa. Portugal. amdd@fct.unl.pt. orcid.org/0000-0002-5362-5691

Diana O. Cabrera Zuñiga. Es mestre en Educación. Lecturer of Mathematics at British Public Colleges. Bristol. Inglaterra. dianacabreraz@yahoo.co.uk. orcid.org/0000-0002-0079-3253