



UNIVERSIDAD A DISTANCIA DE MADRID  
(UDIMA)

*Facultad de Ciencias de la Salud y de la Educación  
Departamento de Educación*

*Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Bachillerato,  
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas*

***USO DE LA NEUROCIENCIA EN LA SELECCIÓN ESTRATÉGICA DE  
METODOLOGÍAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS  
MATEMÁTICAS EN EDUCACIÓN SECUNDARIA Y BACHILLERATO***

**Valentina Vallenilla Córdoba**

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

Bajo la dirección de:

Dr. Carlos Mayo del Río

MADRID  
Enero 2023

## ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. OBJETIVOS.....	7
4. MÉTODO.....	8
4.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE EN MEDIOS DIGITALES .....	8
4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DIDÁCTICAS.....	9
5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN .....	11
5.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA CEREBRAL EN EL APRENDIZAJE DE HECHOS MATEMÁTICOS BÁSICOS .....	11
5.2. FUNCIONAMIENTO NEURONAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y EL PAPEL DE LOS NEUROTRANSMISORES .....	15
5.3. LA FUNCIÓN DE LAS HORMONAS EN EL APRENDIZAJE.....	17
5.4. PROCESO DE APRENDIZAJE PASO A PASO.....	20
6. DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍAS DIDÁCTICAS BAJO LA ÓPTICA DE LA NEUROCIENCIA.....	23
6.1. CLASES MAGISTRALES .....	24
6.2. APRENDIZAJE POR MEDIO DE REPETICIONES.....	25
6.3. APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS .....	27
6.4. APRENDIZAJE CON MATERIAL MANIPULATIVO .....	28
6.5. APRENDIZAJE BASADO EN INSTRUCCIÓN POR PARES .....	30
6.6. APRENDIZAJE COOPERATIVO .....	32
6.7. APRENDIZAJE COLABORATIVO.....	33
6.8. GAMIFICACIÓN .....	35
6.9. CLASE INVERTIDA.....	37

6.10. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS.....	38
7. CONCLUSIONES Y VALORACIÓN CRÍTICA .....	40
7.1. ENTENDER EL CEREBRO HUMANO: MUCHO SE SABE, AÚN MÁS POR DESCUBRIR .....	41
7.2. EL APRENDIZAJE MATEMÁTICO: CEREBRO, EMOCIONES Y MEDIO AMBIENTE .....	42
7.3. CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	43
7.4. VALORACIÓN CRÍTICA.....	44
8. REFERENCIAS .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EJEMPLIFICACIÓN DEL MODELO DEL TRIPLE CÓDIGO. ....	12
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DEL MODELO DEL TRIPLE CÓDIGO EN LA ANATOMÍA CEREBRAL. ....	13
FIGURA 3. PROCESO DE APRENDIZAJE DE HECHOS ARITMÉTICOS BÁSICOS.....	14
FIGURA 4. RESPUESTA DEL ORGANISMO ANTE SITUACIONES DE ESTRÉS.....	18
FIGURA 5. PROCESO DE APRENDIZAJE.....	23

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El presente trabajo, parte de la necesidad de afrontar desde una perspectiva científica una de las tareas más demandantes de la labor docente en la especialidad de las matemáticas, como lo es la elección de las metodologías didácticas adecuadas para transmitir los contenidos a impartir y transformar ese *conocimiento a enseñar*, en *saber enseñado* de una forma eficaz que resulte motivante para los adolescentes y los comprometa a seguir el camino del aprendizaje continuo. A través de un análisis exhaustivo de estudios en el campo de la neurociencia, publicados en los últimos 10 años, enfocados en explicar el funcionamiento cerebral de adolescentes en edades comprendidas entre los 12 y 18 años, cuando ejecutan tareas matemáticas; se han recopilado los datos más relevantes que evidencian las áreas de la estructura cerebral que se activan ante ciertos estímulos de enseñanza. Todo esto, ha permitido llevar a cabo una descripción de las metodologías didácticas actuales según el nivel de estimulación cerebral que producen y, por ende, su nivel de efectividad en el logro del aprendizaje. Utilizando la descripción antes mencionada, el docente de matemáticas de educación secundaria y bachillerato podrá hacer una selección estratégica de las metodologías didácticas que más se adapten a las características del alumnado y a los contenidos a impartir; que garanticen una óptima estimulación cerebral, mayor comprensión de los conceptos y como consecuencia mejores resultados académicos.

**PALABRAS CLAVE:** neurociencia, matemáticas, enseñanza.

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la pedagogía de las matemáticas se ha concebido como un proceso multidisciplinar en el que convergen el pensamiento científico matemático, la pedagogía, psicología, sociología y neurociencia entre otras ciencias que estudian las mejores prácticas que favorezcan el aprendizaje de los alumnos.

Diferentes autores de las disciplinas antes mencionadas han generado cambios en la forma de transmitir los conocimientos a los aprendices basados en el análisis de este proceso desde la óptica de sus áreas de experticia.

En tal sentido, se encuentra por ejemplo en el trabajo de Montessori y Sanchidrián Blanco (2014) que recoge la obra de María Montessori con su propuesta de enseñanza basada en la *libertad*, entendiendo la naturaleza de los niños y valorando su capacidad de aprendizaje; también se puede hablar de la corriente conductista del psicólogo John Broadus Watson (1913), quien estudió el comportamiento de animales y humanos, y la relación estímulo-respuesta que modifican un comportamiento previo.

También está la corriente constructivista plasmada en el trabajo de Inhelder y Piaget (2016), con su propuesta de las *Etapas del Desarrollo Cognitivo*; y Lev Vygotsky (1978) con su postulado de la *Zona de Desarrollo Próximo*.

En los años 60's, surge el cognitivismo de la mano de Jerome Seymour Bruner (1971), con la *Enseñanza por Descubrimiento*.

Más recientemente, la importante influencia de Howard Gardner (1994), con su tan difundida teoría de *Inteligencias Múltiples*, que promulga que todos poseemos una mezcla de diferentes inteligencias y que el aprendizaje del alumno estará condicionado por estas.

Por último, no se puede dejar de mencionar al sociólogo Philippe Perrenoud (2004), quien propone una innovación en el modelo pedagógico a través de la educación por competencias.

Ahora bien, si se indaga en el campo de la neurociencia, han sido muchos científicos los que han tratado de explicar cómo se manifiesta el conocimiento matemático a nivel estructural y funcional en el cerebro humano, por ejemplo, Dehaene (1997) habla de un *sentido numérico* innato que permite realizar cálculos básicos.

Actualmente, debido a los avances tecnológicos en lo que respecta a la captación de imágenes en tiempo real de la actividad cerebral a través de las *resonancias magnéticas funcionales* (RMf), se han podido avalar las teorías de cómo se produce este conocimiento.

Moeller et al. (2015) a través del análisis de múltiples estudios pudieron confirmar la teoría propuesta por Dehaene et al. (2003) del Modelo de Triple Código, que atribuye tres códigos de representación para los números y sus asociados neuronales, al corroborar que el pensamiento matemático ocurre en una conexión de la corteza frontal y parietal donde también tienen un papel importante las conexiones entre la corteza cerebral, los ganglios basales y el hipotálamo.

El aporte de los autores y científicos antes mencionados en la enseñanza de las matemáticas, han proporcionado un abanico de diversas estrategias entre las que se encuentran desde las más tradicionales como las clases magistrales y el uso de material manipulativo, hasta las más modernas como aprendizaje cooperativo y colaborativo, clase invertida, gamificación, etc. Algunas técnicas han quedado en desuso por los resultados empíricos que les restan eficacia, y la validez de otras aún están en proceso de investigación.

Sin embargo, para los docentes resulta sumamente demandante decantarse por alguna metodología específica usando como criterios de selección los fundamentos teóricos detrás de cada corriente pedagógica, los resultados arrojados por algunas pruebas específicas de desempeño de estudiantes en ciertos países con contextos socioculturales ajenos, o influenciados por metodologías basadas en nuevas tecnologías.

En este sentido, ante la incertidumbre, muchos docentes continúan aplicando las clases magistrales en la enseñanza de los contenidos, o incluso utilizan metodologías seleccionadas de forma aleatoria sin conocer realmente la efectividad de estas, obteniendo como consecuencia alumnos que no logran comprender los conceptos, desmotivados, con cada vez peor rendimiento académico y una tasa en aumento de deserción escolar por dificultades en esta asignatura troncal.

Hoy en día, se pueden incorporar los resultados de los estudios de neurociencia como criterio de validación de las metodologías didácticas y adaptar las estrategias a fin de obtener una respuesta específica a nivel cerebral.

En esta línea, nuestro primer objetivo es recopilar los más recientes trabajos de investigación, con una vigencia no mayor de 10 años, en la especialidad de neurociencia que permitan entender *grosso modo* el funcionamiento del cerebro de los adolescentes en edades comprendidas entre los 12 y 18 años, durante la realización de tareas matemáticas.

El segundo objetivo será hacer una descripción de las diferentes metodologías según sea el nivel de estimulación cerebral que produce su aplicación, ofreciendo información relevante que le permita al docente seleccionar estratégicamente las que puedan ser más

efectivas de acuerdo con el contenido a impartir, las características del alumnado y los recursos disponibles en el centro.

A través del logro de estos objetivos, no solamente se quiere dotar a los docentes de una mayor comprensión de la función cerebral en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, sino que se busca proporcionarles un criterio de selección de metodologías basados en evidencias científicas que sustenten su aplicación.

Adicionalmente, en nuestro caso particular, donde el proceso de enseñanza-aprendizaje está dirigido hacia jóvenes en etapa adolescente, caracterizada por los cambios físicos, hormonales y psicológicos que los hacen más propensos a desanimarse ante las dificultades de aprendizaje de las matemáticas, se vuelve imperativo utilizar una estrategia de enseñanza que reduzca las posibilidades de fracaso de los estudiantes y los impulse a seguir aprendiendo.

Por esto, la descripción de metodologías didácticas propuesta serviría de guía para la adaptación de los diferentes contenidos a impartir en un modelo efectivo a nivel de estimulación cerebral, que se traduzca en una mayor comprensión de los conceptos, mejores resultados académicos que aumenten la autoestima de los aprendices, sintiéndose capaces de afrontar los retos académicos que se les presenten en el futuro.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, como producto de la globalización y el avance de las tecnologías, han surgido múltiples metodologías didácticas que transforman radicalmente la forma en que los docentes pueden transmitir los conocimientos a sus aprendices. Éstas, aunadas a las diferentes corrientes pedagógicas que durante siglos han estudiado cómo se produce el aprendizaje en los seres humanos y las mejores prácticas que benefician el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, convierten el proceso de planificación didáctica en una labor sumamente demandante.

Debido a la gran cantidad de información que se dispone a través de medios electrónicos, la selección de una determinada metodología para impartir una unidad didáctica basados en la investigación bibliográfica no ofrece una visión clara para el docente, ya que, si se consulta la bibliografía disponible sobre una determinada metodología se pueden encontrar documentos que la validan y muchos otros que ofrecen fuertes argumentos en contra de su efectividad.

En tal sentido, elegir una estrategia adecuada de enseñanza basados en fundamentos teóricos o en resultados de pruebas de desempeño, que en ocasiones no concuerdan con las

características socioculturales de los alumnos a los que se enseña, hacen a veces, que este proceso se convierta en un ensayo y error de metodologías, donde influyen las exigencias del sistema educativo y la aplicación de tecnologías de moda.

En muchas ocasiones, los docentes ante el desafío de aplicar metodologías que no conocen a profundidad, o de las que ignoran sus beneficios reales, se decantan por el uso de las tradicionales clases magistrales con las que fueron formados y con las que se sienten dentro de una zona de control, desestimando la importancia de ofrecer un sistema que potencie las capacidades de los estudiantes, involucrándolos de una forma activa.

En este sentido, este trabajo ampliará la perspectiva de discernimiento del docente dotándolo de un criterio adicional para la elección de las metodologías de trabajo sustentado en conocimientos de neurociencia.

En el campo de la neurociencia, los avances relacionados con la educación han sido exponenciales en los últimos años, pudiendo verse en tiempo real a través de las *Resonancias Magnéticas Funcionales* (RMf), aspectos sumamente interesantes que antes eran solo hipótesis, por ejemplo, en Moeller et al. (2015) se han analizado las áreas del cerebro comprometidas en la producción del conocimiento matemático; Zacharopoulos et al. (2021) estudiaron el efecto en la estructura cerebral en los jóvenes que estudian matemáticas en comparación con los que no lo hacen; Zacharopoulos, Sella, Cohen Kadosh, R. (2021), comprobaron la plasticidad cerebral y las variaciones que ocurren en distintas etapas del desarrollo con relación a los logros matemáticos; Rosenberg-Lee et al. (2014) identificaron una hiper conexión en áreas del cerebro que se producen como mecanismo compensatorio en niños con discalculia.

Son diversos los estudios que abarcan el análisis de los procesos más simples de ejecución de tareas, hasta otros muy complejos que buscan entender las particularidades en la estructura y el funcionamiento cerebral en individuos con condiciones especiales. Por esta razón, proporcionar un análisis exhaustivo de diferentes mecanismos de aprendizaje correlacionados con estudios que muestren su efectividad a nivel de estimulación cerebral, ofrecerá otra visión al educador de cara a la planificación de las actividades de enseñanza que más se adecuen a las necesidades de su alumnado.

Debido a la complejidad del funcionamiento cerebral en lo que respecta al procesamiento de los conocimientos matemáticos, donde intervienen múltiples variables como la edad, los conocimientos previos y la demanda cognitiva de la tarea que se ejecute, entre otras, se ha limitado este trabajo al estudio en jóvenes con neurodesarrollo típico, en

edades comprendidas entre los 12 y 18 años. También se ha tomado como objeto de análisis los trabajos más recientes, que se hayan publicado en los últimos 10 años.

Contrariamente a lo que se piensa, el cerebro en la adolescencia tiene una gran capacidad de modelar su desarrollo y presenta una mayor sensibilidad social con respecto a la etapa infantil; además ocurre una reducción en la cantidad de materia gris y un aumento en la materia blanca, que implica un cambio en el modo en que se procesa la información y a su vez involucra más regiones cerebrales, manifiestan Mills y Anandakumar (2020). Por tanto, es importante cambiar las metodologías de enseñanza usadas en la etapa infantil e implementar metodologías acordes al aprendizaje de los adolescentes, optimizando el proceso de enseñanza-aprendizaje a fin de favorecer el desarrollo de las habilidades de los alumnos y sacar provecho a su capacidad de análisis y conexión con el mundo que los rodea, promoviendo actividades de aprendizaje estimulantes, significativas, donde se sientan protagonistas de su aprendizaje y que aumenten el compromiso hacia su formación.

De aquí, la importancia del aporte de una descripción de metodologías de acuerdo con su efectividad en la estimulación del aprendizaje orientadas a jóvenes en etapa adolescente, que no solamente ayuden a facilitar la adquisición de conocimientos, sino también a generarles confianza en su capacidad de aprendizaje y consecuentemente fortalecer su autoestima en esta etapa.

Dicha descripción, confiere al docente la posibilidad de seleccionar conscientemente las metodologías de trabajo a fin de planificar las unidades didácticas de una forma estratégica y coherente, donde se puedan adaptar las actividades de acuerdo con los recursos disponibles en cada centro y a las características del alumnado, atendiendo a la diversidad, a fin de conseguir la estimulación cerebral requerida en cada etapa del proceso de aprendizaje.

Otro aspecto que cabe resaltar es el compromiso intrínseco como agente transformador de la sociedad, de la labor docente en la etapa de educación secundaria y bachillerato, ya que debe influenciar positivamente a los aprendices y motivarlos a continuar formándose a lo largo de la vida.

Zacharopoulos et al. (2021) demostró la reciprocidad entre el desarrollo cerebral y la educación, además de las consecuencias negativas de la falta de educación matemática; esto, aunado a los informes que relacionan el nivel educativo con el bienestar socio-emocional y con una mayor movilidad social de la población, como lo pone de manifiesto la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2009) “Las personas que han finalizado la educación secundaria superior, la educación postsecundaria no terciaria o la educación terciaria

disfrutaran de considerables ventajas en sus ingresos en comparación con aquellas del mismo sexo que no han finalizado la secundaria superior” (OCDE, 2009, p. 139).

En relación con este aspecto, tomando como premisa la validez de la observación en tiempo real de la actividad cerebral que se genera en los individuos durante la realización de las tareas matemáticas y el entendimiento del proceso de aprendizaje desde el punto de vista fisiológico, este trabajo con el logro de sus objetivos otorgará a los docentes argumentos contundentes para generar el cambio de paradigmas en cuanto a la forma de transmitir los conocimientos y de cómo estos son percibidos por el alumnado.

Siendo conscientes de las transformaciones que ocurren en la estructura cerebral adolescente y sus consecuencias a futuro, aumentará el compromiso en la adaptación de los contenidos a metodologías didácticas que beneficien a corto y largo plazo el desempeño de los aprendices.

Por último, el conocimiento de evidencias sustentadas por la ciencia, siempre constituyen importantes elementos de convicción que transmitidos a los estudiantes derriban barreras autoimpuestas y falsas creencias, que afectan negativamente su autoestima y actitud hacia las matemáticas. Otorgando a los adolescentes los conocimientos acerca del funcionamiento cerebral y de la importancia del conocimiento matemático, no solo a nivel social, sino también fisiológico, será esencial a la hora de justificar el uso de una determinada metodología, dándole valor científico a la misma se logrará la implicación del estudiante en su proceso de aprendizaje.

### 3. OBJETIVOS

Como se ha mencionado en apartados anteriores, este trabajo consta de dos objetivos principales.

El primero engloba toda la búsqueda, selección y análisis exhaustivo de material bibliográfico en la especialidad de neurociencias enfocado en el estudio del funcionamiento cerebral durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, de adolescentes con desarrollo neuro típico en edades comprendidas entre 12 y 18 años, publicados en los últimos 10 años.

Con la consecución de este objetivo se busca entender *grosso modo* el funcionamiento cerebral ante estímulos relacionados con la ejecución de tareas matemáticas. Principalmente se ha enfocado en dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Qué zonas de la estructura cerebral se activan durante la ejecución de operaciones matemáticas básicas y en la solución de problemas de mayor complejidad?

- ¿Cómo se produce el conocimiento y se consolida la memoria a largo plazo?
- ¿Qué reacciones ocurren en el cerebro como respuesta a diversos estímulos?

El segundo objetivo, es la elaboración de una descripción de las metodologías didácticas de acuerdo con el nivel de activación cerebral en las áreas relacionadas con el logro del conocimiento matemático.

En este segundo objetivo se contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles metodologías didácticas son más aptas para conseguir el aprendizaje matemático?
- ¿Es posible adaptar las metodologías para potenciar sus resultados?

Con esta estructura se ha concretado de la forma más clara posible un tema complejo que evoluciona a la par del avance de la ciencia, donde convergen por un lado las técnicas de investigación para el conocimiento del cerebro humano, y por otro el desarrollo de nuevas metodologías promovidas por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) usadas como medio de enseñanza.

#### 4. MÉTODO

La consecución de los objetivos planteados en el trabajo ha requerido establecer una metodología dividida en dos subapartados: el primero referente a la recopilación y análisis de datos, y el segundo acerca de la descripción de las metodologías didácticas.

##### 4.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE EN MEDIOS DIGITALES

A fin de garantizar la calidad y veracidad de los resultados de la búsqueda bibliográfica, se ha diseñado una estrategia que permita obtener los datos que se ciñan al objetivo deseado.

Primero, se ha realizado una lista de palabras clave de búsqueda que generasen los resultados necesarios para dar respuesta a las cuestiones planteadas. A las palabras propuestas en español se han adicionado su correspondiente traducción al idioma inglés.

Las palabras clave consultadas han sido las siguientes: neurociencia, enseñanza, aprendizaje, matemáticas, adolescentes, secundaria, neuroscience, teaching, learning, mathematics, adolescents, high school.

En los motores de búsqueda que permitían el uso de operadores booleanos se han ingresado las palabras seleccionadas adicionando los operadores *AND* y *OR* que permiten en

una misma búsqueda ampliar las opciones de los resultados sin perder la fidelidad al tema.

Con la adición de los operadores booleanos, se ha establecido la relación entre las palabras que necesariamente debían aparecer como resultado de la búsqueda y las palabras secundarias. En tal sentido, se ha determinado la palabra neurociencia y su traducción al inglés como condición *sine qua non* de los resultados y el resto de las palabras quedarían relacionadas con estas.

Como segundo paso, se han seleccionado los motores de búsqueda online y portales especializados a consultar. Para realizar esta selección, primero se han tomado en consideración las herramientas de búsqueda que ofrece la UDIMA en su Biblioteca Hipatia, ya que da libre acceso a material académico especializado, sin la necesidad de realizar una suscripción particular para su uso.

Los portales que se han escogido son los siguientes: Dialnet, E-libro, Ebook Central Proquest, ERIC Institute of Education Sciences, Europe PMC, Google Académico, Redalyc, Science Direct, Summon y World Wide Science.

Como tercer paso, se han filtrado los resultados a fin de obtener documentación acorde con el estudio, para esto se han utilizado los siguientes criterios:

- Fecha de publicación: últimos 10 años, desde el 2012 al 2022, ambos inclusive. En caso necesario se incluirán trabajos anteriores.
- Individuos objeto de estudios: jóvenes de ambos sexos con neurodesarrollo típico.
- Edad de los participantes en el estudio: de 12 a 18 años, ambos inclusive.
- Idiomas de los resultados: inglés y español.
- Fuentes de la publicación: libros, documentos científicos, textos académicos.

En el quinto paso, se ha procedido al análisis minucioso de los documentos, para esto se ha separado en dos categorías la información importante:

- a) Información referente al funcionamiento cerebral durante la ejecución de tareas matemáticas.
- b) Información referente a los procesos de enseñanza bajo criterios de la neurociencia.

Ya en el sexto paso, se ha volcado el producto del análisis llevado a cabo en el paso anterior en gráficos y tablas que permitan su fácil comprensión. Con la culminación de este paso se ha de dar cumplimiento al primer objetivo del estudio.

#### 4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DIDÁCTICAS

El primer paso de este subapartado ha consistido en realizar un listado de las

principales metodologías didácticas que se usan en la actualidad. Para esto se ha consultado la bibliografía proporcionada por la UDIMA para el estudio de la asignatura *Innovación Docente e Iniciación a la Investigación en la Especialidad de Matemáticas* en el *Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria*, de esta forma se han tomado en consideración metodologías tradicionales y metodologías innovadoras.

Dicho listado se ha limitado a 10 metodologías, por las restricciones en cuanto a la extensión del trabajo. Con la finalidad de obtener una representación de diferentes estímulos y formas de trabajo, se ha prestado atención a las siguientes características de las metodologías.

- Metodologías tradicionales.
- Metodologías innovadoras.
- Trabajo individual.
- Trabajo en pequeños grupos.
- Trabajo en gran grupo.
- Uso de materiales manipulativos.
- Uso de TIC's.

Como resultado se ha obtenido la siguiente lista de análisis:

- a) Clases magistrales.
- b) Aprendizaje por medio de repeticiones.
- c) Aprendizaje basado en problemas.
- d) Aprendizaje con material manipulativo.
- e) Aprendizaje basado en instrucción por pares.
- f) Aprendizaje cooperativo
- g) Aprendizaje colaborativo
- h) Gamificación
- i) Clase invertida
- j) Aprendizaje basado en proyectos

El segundo paso ha consistido en describir cada una de las metodologías listadas anteriormente según el tipo de estímulo que producen en el estudiante a nivel cerebral y las ventajas y limitaciones de su utilización, además de proporcionar algunas acciones de intervención que adapten las metodologías a los requerimientos de estimulación que favorezcan el aprendizaje.

Los criterios utilizados para determinar la idoneidad de las metodologías didácticas se han basado en la capacidad que tengan para mejorar las funciones ejecutivas de los

estudiantes, que se desarrollan en la corteza prefrontal del cerebro y que intervienen directamente con la consecución del conocimiento matemático.

Las funciones ejecutivas tomadas en consideración para el análisis son: atención, memoria, organización, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos, Según Moraine y Rivas Lorenzo (2016).

## 5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### 5.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA CEREBRAL EN EL APRENDIZAJE DE HECHOS MATEMÁTICOS BÁSICOS

Entender con claridad el funcionamiento del cerebro humano durante la realización de tareas matemáticas es una cuestión para la que actualmente no se tiene una respuesta única consensuada por el gremio científico, y que ésta pueda ser observable de igual manera en cualquier persona escogida al azar para que sea objeto de estudio.

Por ejemplo, en Berch et al. (2015) se ponen de manifiesto diversos factores que intervienen en la forma en que son procesados los datos que permiten el desarrollo de habilidades matemáticas, que van desde las diferencias en el uso de la simbología con la que representamos los números, la forma con la que comenzamos a usar los dedos para contar que varía completamente entre países y culturas, la edad y el conocimiento previo que se posea, además de condiciones especiales como la discalculia e inclusive la influencia genética que marca importantes diferencias entre individuos. Es por esto, que muchos de los estudios científicos llevados a cabo en la materia, más que mostrar un patrón exacto de comportamiento han evidenciado las variaciones que existen.

Sin embargo, dentro de la diversidad que engloba el tema, existe una teoría relativamente reciente que ha servido a los expertos como base o punto de partida sobre el que se han desarrollado estudios posteriores que han ampliado el conocimiento que actualmente se maneja y que nos permitirá en este trabajo entender a grandes rasgos el pensamiento matemático.

Para conocer esta teoría base, nos remontamos al año 1992 cuando el investigador científico francés Stanislas Dehaene propone una hipótesis neuro cognitiva del conocimiento matemático basada en el modelo de triple código, que luego se amplió en Dehaene y Cohen

(1995) y que consiste en tres tipos de códigos numéricos que se desarrollan en diferentes áreas del cerebro con comunicación bidireccional entre estas (Figura 1).

El primer código es el visual, consiste en el reconocimiento de los números arábigos, es decir, simplemente se identifican los dígitos sin que estos tengan un significado asociado.

Una vez identificado el número la información se transmite al código verbal donde se le da el nombre a la cifra que forma y por tanto cada dígito se asociará a la posición que ocupe (unidades, decenas, etc.).

El tercer código llamado analógico de magnitud interpreta el contenido semántico asociado a la información suministrada por los otros códigos, es solamente aquí donde el número cobra un significado de magnitud que puede ser comparable e interpretado dentro de un contexto determinado.

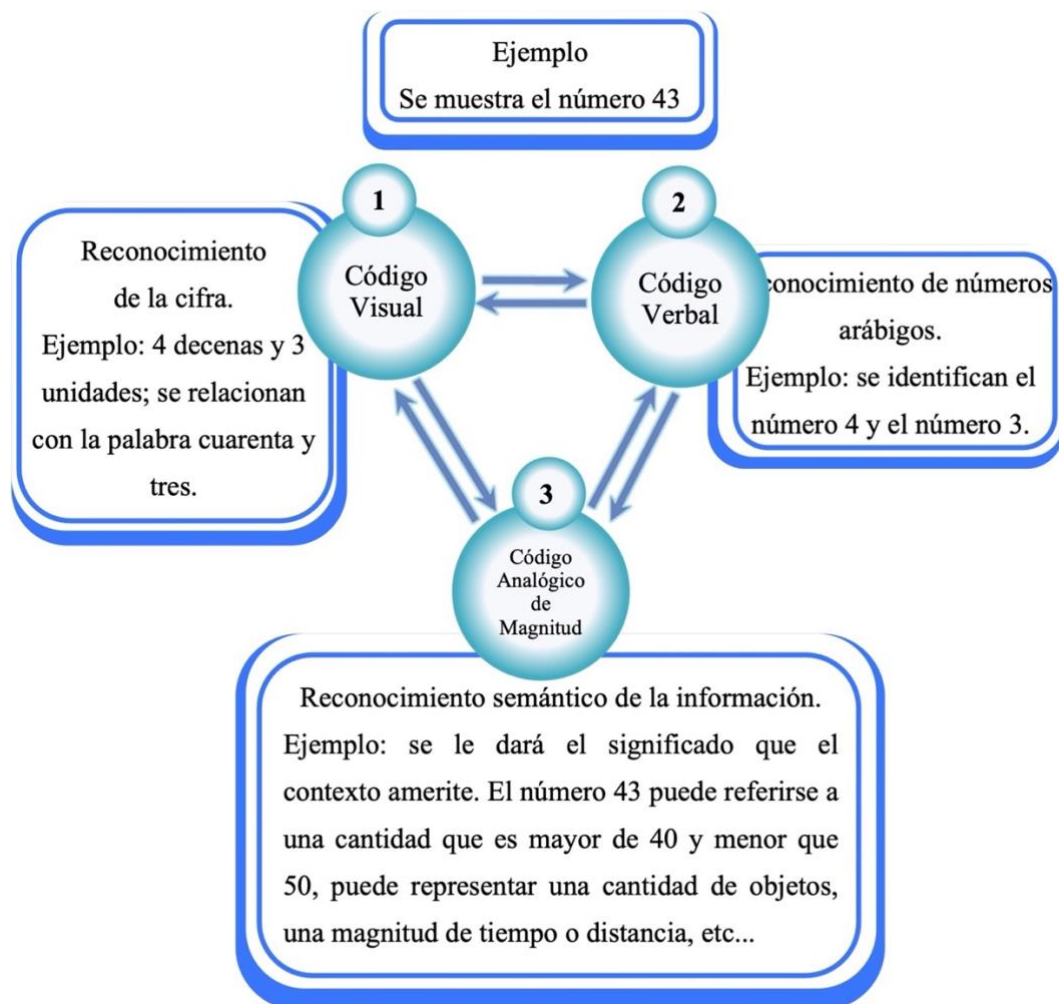


Figura 1. Ejemplificación del modelo del triple código. Adaptado de Dehaene y Cohen, 1995, p. 85.

Ahora bien, si llevamos el triple código a la estructura cerebral (Figura 2), encontramos que el primer código, el visual, se desarrolla en la parte trasera de la cabeza en el lóbulo occipital del cerebro y que ambos hemisferios tienen procedimientos de identificación visual.

El segundo código, el verbal, se desarrolla únicamente en el hemisferio izquierdo del cerebro, donde se llevan a cabo los procesos propios del lenguaje que incluye la activación de zonas como el surco frontal superior, los surcos medio y superior temporal, el ganglio basal y el núcleo talámico.

El tercer código, el analógico de magnitud, lleva a cabo su función en los dos hemisferios cerebrales en las áreas corticales adyacentes a los lóbulos parietal y occipital en la unión de los dos hemisferios.

Tanto el código visual como el de magnitud, constantemente comparten información de un hemisferio a otro del cerebro a través del cuerpo caloso, que al mismo tiempo sirve de puente para la unión del código verbal con el hemisferio derecho ya que no existe ninguna otra ruta directa.

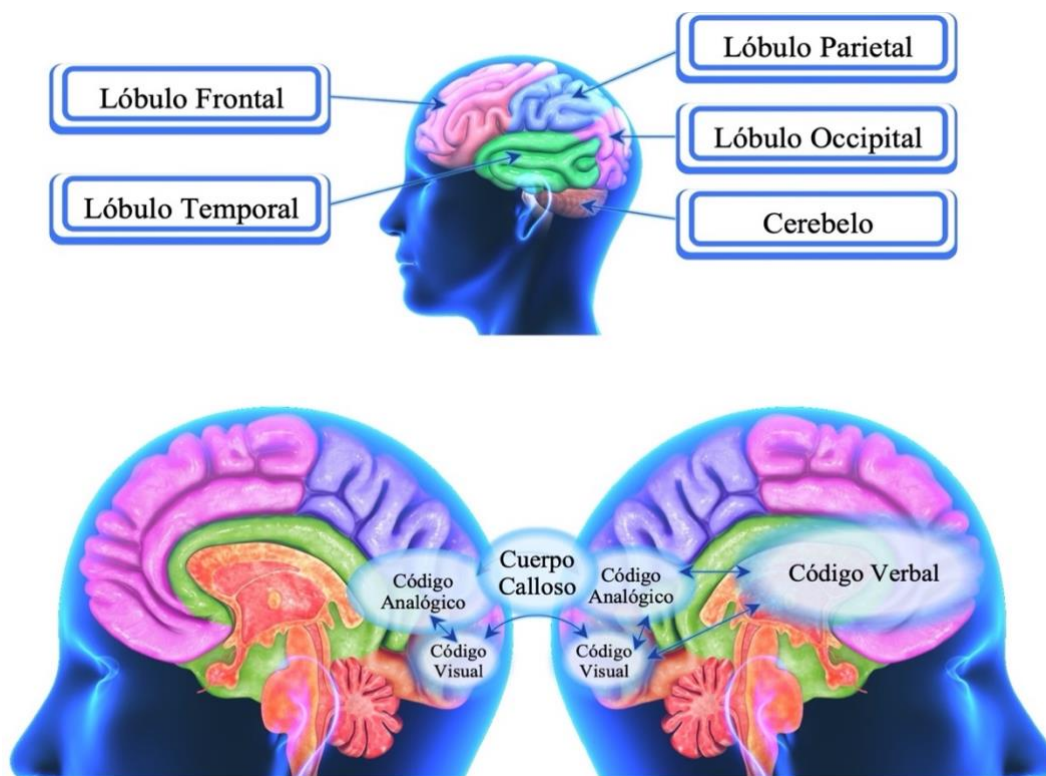


Figura 2. Representación del modelo del triple código en la anatomía cerebral. Adaptado de Dehaene y Cohen, 1995, p. 88. Imagen adaptada de iStock.com/7activestudio.

Ya que hemos conocido el procesamiento básico numérico podemos explicar lo que ocurre en el proceso de aprendizaje de tareas matemáticas desde la niñez hasta la adolescencia y de este modo entender los cambios que ameritan una adaptación del proceso de enseñanza para esta última etapa.

Como se explica en Berch et al. (2015), en niños el proceso de aprendizaje de habilidades matemáticas en sus inicios está sustentado por el sistema de memoria del hipocampo y las áreas circundantes que ayudan a la consolidación del aprendizaje de tareas asociativas que requieren una mayor implicación de la memoria como lo son la suma y la multiplicación. A medida que se alcanza el conocimiento de los procesos básicos quedan registrados en el neocórtex y pasa a ser protagonista el giro angular que, será el encargado de recuperar los conocimientos aritméticos de la memoria a largo plazo y se involucrará en la creación de amplias redes neuronales de unión entre las regiones prefrontal y parietal (Figura 3).

El descenso de la actividad del hipocampo es un aspecto destacable ya que nos da los primeros indicios del cambio que ocurre en las funciones y conexiones cerebrales a medida que avanza la edad de los seres humanos y aumenta su experticia, esta plasticidad es una de las características más importantes del cerebro y que en la adolescencia cobra mayor valor.



Figura 3. Proceso de aprendizaje de hechos aritméticos básicos. Imágenes adaptadas de iStock.com/pixologicstudio (izq.) y iStock.com/HankGrebe (der.).

Sortino (2017) señala que durante la infancia se crean las conexiones neuronales no solamente entre el hipocampo y la corteza cerebral sino con estructuras circundantes pertenecientes al sistema límbico como el tálamo, el hipotálamo y la amígdala, siendo esta última la responsable de activar la señal de *lucha o huida* en el cuerpo, es por esta razón que desde la infancia hasta la temprana adolescencia el pensamiento tiene una gran influencia emocional. Estas conexiones tempranas con la amígdala permitirán luego el control de las emociones como señala Bueno (2019).

Explica Sortino (2017) que el cerebro se desarrolla de abajo hacia arriba, desde la base en el cerebelo hasta la corteza en la parte alta; a los 11 años el cerebro comienza a moverse con un pensamiento de total operación formal y a los 14 años aproximadamente alcanza su completa capacidad para conectarse entre las diversas regiones.

Ya en la etapa de la adolescencia la arquitectura estructural neuronal queda definida, por lo tanto, las áreas y circuitos del neocórtex no pueden modificarse, es aquí donde lograr nuevos aprendizajes y perfeccionar habilidades requiere ampliar las conexiones neuronales para buscar rutas más eficaces, así como mecanismos excitatorios e inhibitorios que favorezcan los procesos de modificación de la arquitectura funcional cerebral, indica Léna (2016).

Debido a las conexiones neuronales que proliferan y se consolidan en la adolescencia, los estudiantes pueden desarrollar el pensamiento a nivel abstracto, consideran diferentes formas de resolver los problemas y desarrollan la metacognición, Crone (2019).

Pese a que la arquitectura neuronal queda consolidada aproximadamente a los 14 años, el cerebro humano presenta cambios importantes en su estructura durante la adolescencia hasta la adultez y la corteza frontal logrará su pleno desarrollo entre los 20 y 25 años, es justo esta región la que controla las funciones ejecutivas que incluyen la capacidad de planificación y flexibilidad, explica Crone (2019).

A la par que ocurre el desarrollo de la corteza prefrontal se afinan conexiones neuronales complejas entre esta área y los circuitos límbicos corticales y subcorticales lo que explica la falta de autocontrol de los adolescentes, Casey et al. (2016). Recordemos que el sistema límbico o también conocido como cerebro intuitivo está relacionado con las emociones y sentimientos, estrechamente vinculado con las funciones de memoria, formación de recuerdos, el aprendizaje y el pensamiento abstracto, Fernández Bravo (2010).

## 5.2. FUNCIONAMIENTO NEURONAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y EL PAPEL DE LOS NEUROTRANSMISORES

Ahora que tenemos una panorámica del funcionamiento del cerebro añadiremos el componente neuronal, químico y hormonal que acompaña el proceso de aprendizaje.

Las neuronas son la base del conocimiento y la correcta unión entre ellas determina que el conocimiento llegue a las áreas adecuadas para su almacenamiento en la memoria a largo plazo. Las neuronas están compuestas por un núcleo o cuerpo celular que posee varias prolongaciones, una muy larga denominada axón y otras de menor tamaño llamadas dendritas, para que la información pueda transmitirse de una neurona a otra la transmisora debe unir su axón con las dendritas de la receptora, a esta unión se le llama sinapsis, Bueno (2019). A través de la sinapsis las neuronas transfieren neurotransmisores que son sustancias químicas conductoras de señales o impulsos nerviosos, Rotger (2019).

Una vez que se producen las sinapsis, estas uniones son protegidas y aisladas por un proceso de mielinización, que consiste en el recubrimiento del axón de la neurona con una sustancia grasa llamada mielina, compuesta de células gliales, Feinstein (2016). Este tejido graso se conoce como sustancia o materia blanca. La robustez de la mielina favorecerá la velocidad de transmisión de la información entre las neuronas.

Las cortezas frontal y parietal encargadas del pensamiento de nivel superior son las que presentan mayor densidad de materia blanca, Caicedo López (2016).

Opuestamente al proceso de mielinización, durante la adolescencia ocurre un proceso llamado poda sináptica, que consiste en la eliminación de conexiones poco eficientes o en desuso, lo que explica la disminución de la materia gris en esta etapa. Para evitar la pérdida de conexiones por la poda sináptica es conveniente el afianzamiento de los procesos cognitivos relacionados con la solución de problemas y actividades autónomas en la etapa adolescente, Caicedo López (2016).

Los neurotransmisores involucrados en la conducción de las señales entre las neuronas intervienen directamente en el proceso de aprendizaje ya que tienen la capacidad de promover o inhibir la disposición del alumno para el aprendizaje. Los neurotransmisores dopamina (regula las emociones placenteras), noradrenalina (controla la concentración, la atención y regula el estado de ánimo, puede actuar como neurotransmisor o como hormona) y serotonina (tiene efecto inhibitorio, controla la ansiedad y el humor) cuando se combinan producen el *circuito de recompensa cerebral*, Rotger (2019). Este estado es ideal para la creación de conocimientos.

Cuando a un estudiante se le presenta un problema matemático de cierta dificultad que le resulta novedoso, curioso o retador, se segregará la dopamina para lograr la atención y concentración para intentar solucionarlo. Si el problema requiere un esfuerzo de habilitar

conocimientos previos y estrategias de razonamiento para su solución, se activarán las conexiones neuronales generando noradrenalina. Por último, al obtener la respuesta correcta su cerebro segregará la serotonina que le dará la sensación de placer y bienestar por el logro alcanzado, Rotger (2018).

El neurotransmisor que tiene mayor presencia en el cerebro es el *GABA ácido gamma-aminobutírico*. Su función es bloquear señales del sistema nervioso central, produciendo una sensación de calma y relajación. Cuando sus niveles disminuyen se asocia con estados ansiosos o de cansancio por falta de sueño, Carminati de Limongelli y Waipan (2017).

En este apartado es necesario mencionar la *neuroplasticidad* que se refiere a la capacidad que tiene el cerebro de moldearse a nuevos aprendizajes, Carminati de Limongelli y Waipan (2017). Bueno i Torrens (2019) destaca que la plasticidad del cerebro hace que sea capaz de generar conexiones para reafirmar procedimientos usando rutas conocidas y optimizarlos a través de rutas alternativas que den un acceso más expedito a los conocimientos.

En el trabajo de investigación de Zacharopoulos, Sella, Cohen Kadosh, R. (2021), encontraron una clara relación entre las concentraciones de GABA que se encontraban en el cerebro y las capacidades del logro matemático. Específicamente midieron las concentraciones en el *surco intraparietal* y el *giro medio frontal*, que son regiones involucradas en la solución de tareas matemáticas. En los casos que las concentraciones eran elevadas se favorecía el aprendizaje matemático y la neuroplasticidad. También pudieron observar en adolescentes que no tenían conocimientos matemáticos bajas concentraciones de GABA en el giro medio frontal.

### 5.3. LA FUNCIÓN DE LAS HORMONAS EN EL APRENDIZAJE

Hasta hace pocos años se creía que los cambios hormonales eran los responsables del comportamiento impulsivo y emocional de los adolescentes, sin embargo, como hemos mencionado anteriormente, durante la adolescencia existe gran actividad cerebral y se generan conexiones importantes entre la corteza prefrontal y el sistema límbico, lo que explica este comportamiento.

Aunque las hormonas no sean las protagonistas de estas conductas erráticas, tienen un papel importante en el logro del aprendizaje y la consolidación de la memoria a largo plazo. Durante la adolescencia es frecuente ver que los estudiantes enfrentan situaciones de alto nivel de estrés, ya sea por las exigencias propias del sistema educativo en la educación secundaria y el bachillerato o por situaciones sociales y afectivas.

Explican Vogel y Schwabe (2016) que bajo situaciones de estrés se producen simultáneamente dos procesos que afectan el aprendizaje. Ante una situación estresante se desencadenan respuestas fisiológicas y endocrinas con el fin de reestablecer el balance y el estado de bienestar. Primero se activa el sistema nervioso autónomo segregando noradrenalina y adrenalina, que activan regiones del cerebro claves para el aprendizaje como la corteza prefrontal, el hipocampo y la amígdala, para dar la respuesta de *lucha o huida*. Luego reaccionando un poco más lento se activa el sistema conformado por el hipotálamo, hipófisis (o glándula pituitaria) y las glándulas suprarrenales, segregando un corticoesteroide llamado cortisol.

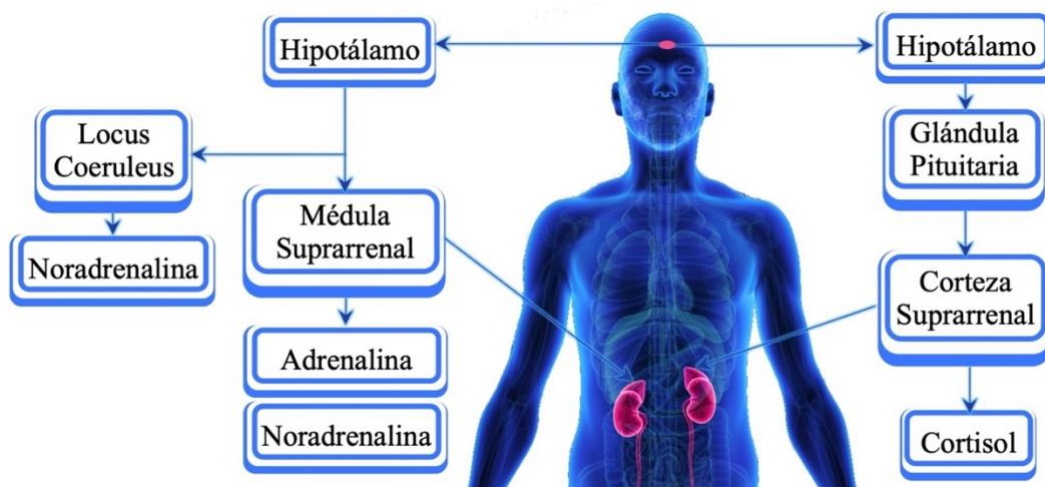


Figura 4. Respuesta del organismo ante situaciones de estrés. Adaptado de Vogel y Schwabe, 2016, p. 2. Imagen adaptada de iStock.com/7activestudio.

El cortisol es una hormona que tiene múltiples funciones dentro del cuerpo humano, como ayudar al metabolismo de los macronutrientes, regular el nivel de azúcar en sangre, equilibrar los niveles de sal y agua e intervenir en las funciones cognitivas y de memoria. Los niveles de cortisol en la sangre sufren diversas variaciones durante el día, en la mañana aumentan como respuesta al estrés que produce la falta de alimento y por la noche disminuyen, permitiendo los procesos de consolidación de la memoria durante el sueño, explican Rose, H. y Rose, S. (2017).

Resultados de los estudios presentados por Vogel y Schwabe (2016), demostraron que esta respuesta del organismo puede o no favorecer el aprendizaje. En casos de estrés moderado asociados a una situación de aprendizaje emocional, la combinación noradrenalina-cortisol simultáneos favorecieron el aprendizaje y la recuperación de los recuerdos. Sin embargo, en situaciones donde existe estrés previo o prolongado, es decir, cuando el cortisol

se ha elevado mucho antes, después de la situación de aprendizaje o se ha mantenido elevado por períodos largos, y además si lo que se estudia no tiene relación emocional con el factor que ha originado la situación de estrés, en estos casos la información no es recordada con facilidad.

En casos de estrés prolongado “se cometen errores, la memoria falla, la atención es errática y aparece la dificultad de procesar información racionalmente” (Mogollón, 2010, p. 118).

Además de las hormonas antes mencionadas, en el año 2019 se agregó a la lista de hormonas relacionada con el estrés a la *osteocalcina*, que es una hormona segregada por los huesos que participa en diversas funciones dentro del organismo.

Berger y Karsenty (2022), a través de múltiples experimentos con roedores y tejidos humanos se enfocaron en conocer las funciones de esta hormona y las consecuencias de su ausencia o aumento de las concentraciones. Como resultado, descubrieron que, durante situaciones de estrés agudo, los niveles de esta hormona se cuadriplan, por lo que se le asocia directamente con la reacción de lucha o huida. Adicionalmente, lograron identificar que esta hormona atraviesa la barrera que protege el cerebro, la barrera hematoencefálica, y se concentra en el cerebro afectando la actividad neuronal e interviniendo en la síntesis de los neurotransmisores.

Entre los hallazgos más importantes que se muestran en Berger y Karsenty (2022) relacionados con la cognición, se encuentra la capacidad de la osteocalcina de inhibir el proceso de mielinización de los axones en las neuronas y de inhibición del neurotransmisor GABA, ambos procesos importantes para la consolidación de la memoria y para nuestro interés relacionados con la adquisición del conocimiento matemático.

Debido a lo reciente de estos estudios, quedan muchas dudas e hipótesis por confirmar. Adicionalmente, por el alto nivel de complejidad y la ausencia de datos veraces, la explicación del proceso por el cual la amígdala desencadena la respuesta ósea no se ha integrado al presente trabajo.

Con la información suministrada acerca de la osteocalcina no se quiere desestimar la participación del cortisol, la adrenalina y la noradrenalina en los procesos cognitivos, “la noción de que la osteocalcina puede ser una hormona que orquesta la respuesta al peligro no excluye otras formas de racionalizar todas sus funciones ni excluye la posibilidad de que otras hormonas contribuyan a la respuesta al peligro” (Berger y Karsenty, 2022, p. 674).

Lo que sí se debe tener en consideración, es que nuevamente se han encontrado evidencias de que los procesos de estrés y ansiedad repercuten de manera drástica en la

adquisición de los conocimientos. En tal sentido, este es un aspecto que los docentes deben tener en consideración a fin de promover actividades que estimulen de manera positiva las reacciones biológicas y emocionales de los estudiantes, así como también estar alerta ante situaciones de estrés que puedan estar afectando el desempeño de los adolescentes.

Del mismo modo, “el docente debe contribuir a desechar creencias, mitos y leyendas sobre el aprendizaje de las Matemáticas y mantener una actitud serena ante sus alumnos” (Mogollón, 2010, p. 120).

Señalan Baena-Morales y González Fernández (2021), que la segregación de cortisol por períodos prolongados puede afectar los ciclos de descanso y promover reacciones negativas hacia las experiencias asociadas a las situaciones de estrés. Estas situaciones pueden ser algunas asignaturas en especial, las actividades grupales, exposiciones o hasta inclusive el entorno educativo.

Para permitir el funcionamiento pleno del neocórtex, tomando acción las conexiones entre la corteza prefrontal y las áreas encargadas del procesamiento de hechos matemáticos como el giro angular y el lóbulo parietal, es necesario que el estudiante se encuentre en un estado de comodidad inducido por emociones positivas que den paso al pensamiento de nivel superior.

A medida que avanza la complejidad de los conceptos matemáticos que se explican en la educación secundaria y bachillerato, los estudiantes frecuentemente la asocian con emociones de frustración, estrés y situaciones que exigen la activación del estado de alerta, Alvarenga et al. (2022).

Si el estudiante se encuentra en una clase donde experimenta mucha tensión, incomodidad e inseguridad, el sistema límbico se activará y se bloquearán las funciones cognoscitivas, Fernández Bravo (2010).

Dentro de las emociones negativas que pueden experimentar los estudiantes en el aula de clase y que interfieren con la memoria se encuentran en orden de mayor a menor inferencia, la ansiedad, seguida de la vergüenza, luego el aburrimiento y por último la ira, revelaron los estudios de Syawal et al. (2019).

#### 5.4. PROCESO DE APRENDIZAJE PASO A PASO

Para englobar todo lo expuesto anteriormente y poder entenderlo de una forma procesual asociada, dando respuesta al primer objetivo de este trabajo, haremos referencia a la explicación que hacen Sortino (2017) y Ortiz Ocaña (2015) del paso a paso en el proceso de aprendizaje en la elaboración de tareas matemáticas.

- Primero: la información matemática es recibida a través de los sentidos, puede recibirse de forma visual, auditiva o a través del tacto y es filtrada en un primer nivel por el *sistema reticular activador*, que se encargará de excluir la información innecesaria del medio ambiente, Willis, J. y Willis, M. (2020).

Estudios realizados por Lee et al. (2015) compararon la utilización de instrucciones verbales y escritas durante el estudio de las matemáticas. Durante las explicaciones dadas verbalmente se observó una mayor activación de las regiones motoras y visuales. Mientras que durante el estudio de ejemplos se observó activación de las regiones parietal y prefrontal (recordemos, que anteriormente se destacó la participación del giro angular, el surco intraparietal y el giro medio frontal como responsables del procesamiento de hechos matemáticos). Sin embargo, cuando se examinaron los conocimientos adquiridos por los estudiantes bajo estas dos modalidades de instrucción, no se notaron diferencias en la actividad neuronal que favorezcan la utilización de una u otra técnica.

En lo que respecta a la percepción de la información, la estimulación táctil resulta muy útil para motivar el aprendizaje, “Las terminaciones nerviosas que tenemos en las yemas de los dedos estimulan nuestro cerebro. La manipulación de materiales genera una actividad cerebral que facilita la comprensión” (Fernández Bravo, 2010, p. 5).

- Segundo: la información es transferida al tálamo para un primer análisis y simultáneamente se intercambian datos con la corteza prefrontal.

Aquí el tálamo hará un primer análisis y determinará a donde debe enviarse la información.

- a) Si la información es amenazante para el individuo la enviará a la amígdala.

En nuestro caso una situación amenazante puede ser una prueba de matemáticas para la que no se sienten preparados, un profesor intimidante que les genera desconfianza o una situación en el aula que les cause incomodidad.

- b) Si la información no representa ningún riesgo, es decir, si están en un ambiente cómodo, tienen interés por aprender y confían en el profesor, la enviará al hipocampo.

- Tercero:

- a) La información en la amígdala desencadenará una cascada de respuestas físicas y químicas, estas a su vez producirán una especie de corto circuito en la corteza cerebral reduciendo la capacidad cognitiva.

En este paso se segregarán cortisol, adrenalina, noradrenalina, GABA y osteocalcina entre otras sustancias.

- b) La información en el hipocampo se analizará nuevamente y se establecerán las conexiones con la corteza prefrontal, los surcos temporales medio y superior, y las áreas parietales. Se asociará la información con conocimientos previos y se reforzarán conexiones neuronales.
  - En el procesamiento de cálculos matemáticos básicos se activará el surco intraparietal, Knops (2017), los surcos temporales medio y superior y la corteza prefrontal. Esto se aplica para tareas que incluyan números simbólicos y no simbólicos, Popescu et al. (2019).
  - Para solucionar problemas que involucren datos aritméticos se activará la red hipocampo-intraparietal del cerebro, Popescu et al. (2019). Participando más activamente el giro angular del hemisferio izquierdo en solución de problemas que requieran un desarrollo procedimental, Berch et al. (2015).
  - En la solución de ecuaciones algebraicas explican Anderson, et al. (2012), y en problemas de mayor complejidad, se activarán el lóbulo visual asociado al lóbulo temporal, que extraerá los datos de la ecuación o problema; la corteza parietal posterior hará la representación y transformaciones de la ecuación o el problema con el banco de imágenes disponibles y hará las modificaciones requeridas; y el giro angular izquierdo recuperará las reglas algebraicas y teoremas matemáticos previamente aprendidos.
- Cuarto:
  - a) En caso de situaciones amenazantes para el estudiante, hay la posibilidad de que sea un hecho puntual, como por ejemplo una prueba, o puede ser una situación constante, como el desarrollo de pensamiento negativo hacia las matemáticas.
    - En caso de estrés puntual, con la segregación de las sustancias requeridas realizada por el organismo, explicadas en el punto anterior, se reestablecerá el control y el estudiante podrá volver al estado normal.
    - En caso de estrés prolongado o estrés tóxico, el organismo no logrará por sí mismo reestablecer el control por lo que se deberá realizar una intervención para modificar las creencias del estudiante que generan la situación irritante.
  - b) Una vez que se han solucionado las tareas matemáticas, el estudiante se encuentra ante la posibilidad de que los resultados sean correctos o incorrectos.
    - En caso de soluciones correctas, se activa el *circuito de recompensa cerebral* y

se refuerzan las conexiones neuronales, propiciando la consolidación del conocimiento en la memoria a largo plazo.

- En caso de soluciones incorrectas, si los errores se aprecian de forma positiva como una forma de aprender, se realizan nuevas conexiones sinápticas haciendo que las redes neuronales se amplíen, Boaler (2013).

## 6. DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍAS DIDÁCTICAS BAJO LA ÓPTICA DE LA NEUROCIENCIA

En función de realizar una descripción coherente con el proceso de aprendizaje antes mencionado, hemos adicionado la clasificación de Goodwin et al. (2020), compuesta de las siguientes etapas: despertar el interés por el tema, lograr el compromiso del estudiante hacia su aprendizaje, obtener la concentración en el nuevo conocimiento, darle sentido a lo aprendido, practicarlo y reflexionar al respecto, ampliar y aplicar la nueva información (Figura 5).

En este análisis también es importante integrar el tiempo en el que los adolescentes pueden mantener activa la memoria de trabajo, según Sortino (2017), aproximadamente 20 minutos continuos es el tiempo en el que los adolescentes pueden mantener la concentración, luego deben pasar aproximadamente 10 minutos antes de empezar un nuevo ciclo de atención. Estos tiempos pueden variar de persona a persona y no se deben tomar como medida exacta sino como un patrón de referencia.

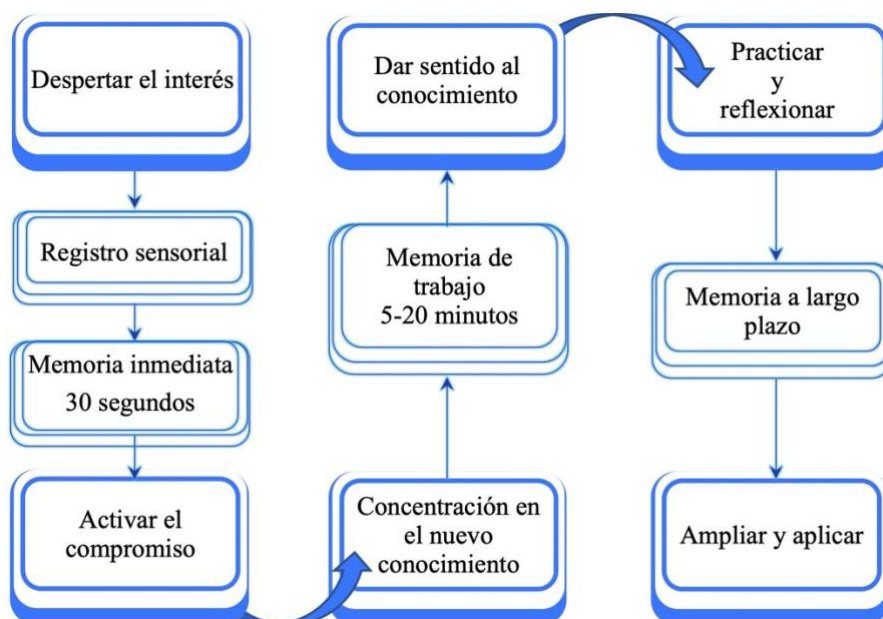


Figura 5. Proceso de aprendizaje. Adaptado de Goodwin et al., 2020, p. 11.

## 6.1. CLASES MAGISTRALES

Cuando se habla de clases magistrales, se hace referencia a “un método centrado en el profesor, que involucra la comunicación unidireccional y la transmisión de buena cantidad de conocimiento o materia a un gran número de individuos” (Sáez López, 2018, p. 35).

- Ventajas:
  - Sirve para explicar conceptos matemáticos desde sus orígenes históricos.
  - Son útiles para proporcionar una recapitulación de temas anteriores.
  - Permiten contextualizar la información y llevarla a temas actuales de interés del alumnado.
- Limitaciones:
  - En caso de sesiones continuas con una duración mayor de 20 minutos, se perderá el tiempo de memoria de trabajo de los estudiantes.
  - Si el docente no logra conectar la información con el interés de los alumnos, se afectarán las capacidades cognitivas de estos.
  - Cuando en las explicaciones se tratan temas de difícil comprensión los alumnos pueden desarrollar lagunas mentales que les impidan procesar la información y conectarla con los conocimientos previos.
- Oportunidades de intervención:
  - Planificar previamente la clase con un guion que fomente la participación voluntaria de los alumnos. Se puede utilizar la siguiente estructura de Cepeda Dovala (2014):
    - *Recuperación*: explicar los temas que se van a tratar. Se activarán las conexiones entre las cortezas frontal y parietal para la recuperación de conocimientos previos.

- **Introducción:** generar interés por lo que se va a enseñar. Se activará la amígdala si se logra captar la curiosidad del estudiante.
  - **Desarrollo:** explicación del contenido. No debe superar los 20 minutos continuos, se pueden hacer pausas de 10 minutos para descansar o promover que entre los estudiantes comenten sus impresiones sobre el tema y se muevan alrededor del aula. “La clase magistral de 50 minutos debe estar bien organizada, con frecuentes oportunidades para que el estudiante pueda realizar preguntas y debatir” (Bates, 2022, p. 163).
  - **Discusión y reflexión:** intercambio de ideas y resumen. Se debe fomentar la participación voluntaria y tratar de aclarar conceptos erróneos de una forma positiva que genere confianza y se presente como una oportunidad de aprendizaje.
- La gesticulación, expresiones faciales, corporales y el tono de voz usado son buenas herramientas para llamar la atención de los alumnos y generar un ambiente de confianza.
  - El uso de acertijos, contextualización a temas reales y de actualidad sirven para activar la curiosidad hacia el tema a tratar.
  - Usar ropa llamativa o algún accesorio relacionado con el tema favorecerá la recuperación de los conocimientos de los estudiantes.
  - El uso de música introductoria relacionada con el tema también produce al cerebro claves adicionales para la recuperación del conocimiento.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, memoria, inhibición e iniciativa, control de la conducta y control de las emociones.

## 6.2. APRENDIZAJE POR MEDIO DE REPETICIONES

Se refiere a la repetición de ejercicios y problemas matemáticos descontextualizados y de forma mecánica.

- **Ventajas:**
  - Se refuerzan las conexiones neuronales promoviendo la consolidación de los conocimientos y la optimización de los procesos.
  - Desarrolla la metacognición del estudiante al hacerlo consciente y responsable de su aprendizaje.
  - Desarrolla la capacidad de establecer patrones de solución que puede aplicar en contextos similares, Hodges (2015).
- **Limitaciones:**
  - En casos de problemas y ejercicios no contextualizados, las conexiones neuronales son pobres y no se activan diferentes áreas del cerebro.
  - Un alto número de repeticiones puede generar ansiedad en los alumnos limitando la capacidad de la memoria.
  - Una repetición sin entender la utilidad de la información hará que con el tiempo se olvide o se eliminen las conexiones por la poda sináptica.
- **Oportunidades de intervención:**
  - Contextualizar los ejercicios y problemas con temas de interés para los alumnos, utilidad real y con enfoque multidisciplinar. Se activará la amígdala y el interés por aprender motivará la consolidación de los conocimientos. También se activarán diversas áreas del cerebro logrando redes más amplias y eficaces.
  - Aumentar progresivamente la dificultad permitirá crear nuevas conexiones neuronales y buscar rutas más eficientes.
  - Corregir en clases los ejercicios y problemas generando debates entre los alumnos conectando el conocimiento con las emociones.
  - Corregir con el grupo clase o individualmente, utilizando estrategias de motivación que sirvan para ver los errores como oportunidades de

aprendizaje, generen un clima de confianza y refuercen la autoestima.

- *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, memoria, inhibición e iniciativa, control de la conducta y control de las emociones.

### 6.3. APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

“Se trata de un método de enseñanza-aprendizaje que parte de un problema diseñado por el docente, y que el alumno debe resolver para desarrollar determinadas competencias” (Sáez López, 2018, p. 46).

Esta metodología se realiza en pequeños grupos de trabajo que permita que los alumnos indaguen sobre la forma más idónea para solucionar el problema.

- **Ventajas:**
  - Al ser problemas abiertos, fomentan la curiosidad y creatividad de los estudiantes, lo que produce riqueza en las conexiones neuronales.
  - Se trabaja en grupos, promoviendo la colaboración entre los alumnos y la intervención de las emociones en el aprendizaje.
  - Permite que los alumnos desarrollen su capacidad de planificación que fortalece las estructuras neuronales de la corteza frontal.
- **Limitaciones:**
  - Los problemas que no tienen un diseño atractivo no generarán el interés de los alumnos por el aprendizaje.
  - Si son problemas de mucha dificultad los estudiantes se pueden frustrar y desanimarse.
  - Problemas muy simples no refuerzan las conexiones neuronales.
  - Si los grupos de trabajo no tienen buena convivencia, generará ambiente de tensión y ansiedad que repercute en la consecución del aprendizaje.

- La distribución desigual de las tareas dentro del grupo de trabajo puede ocasionar que los resultados obtenidos no sean consensuados, por lo que habrá estudiantes que no logren los objetivos.
- Oportunidades de intervención:
  - Contextualizar los ejercicios y problemas con temas de interés para los alumnos, utilidad real y con enfoque multidisciplinar. Se activará la amígdala y el interés por aprender motivará la consolidación de los conocimientos. También se activarán diversas áreas del cerebro logrando redes más amplias y eficaces.
  - Formar los grupos estratégicamente, con conocimientos de las habilidades y limitaciones de los integrantes a nivel intelectual y emocional generará un ambiente positivo para el aprendizaje.
  - Supervisar la distribución de las tareas asignadas a cada estudiante, de manera que sean equitativas y alcanzables, de esta forma se reforzará la autoestima.
  - En caso de conflictos, supervisar e intervenir solo si es estrictamente necesario. De esta forma los estudiantes aprenderán a gestionar sus emociones y a solucionar los problemas de forma eficiente.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, organización, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos.

#### 6.4. APRENDIZAJE CON MATERIAL MANIPULATIVO

Se refiere a la utilización de materiales que ayuden a la comprensión de conceptos matemáticos, estos pueden ser herramientas de dibujo como cartabón, escuadra, compas o materiales de construcción y juegos como tangram, varillas de mecano, origami, etc.

- Ventajas:

- La manipulación de materiales activa las terminaciones nerviosas en las yemas de los dedos, promoviendo la creación de conexiones amplias que optimizan los procesos cognitivos.
- La construcción de figuras y el dibujo activan el pensamiento abstracto y el procesamiento visoespacial, ayudando a desarrollar la creatividad.
- La adición de estos elementos resulta muy atractiva para los estudiantes y los motiva a trabajar con una actitud colaborativa y relajada que favorece el aprendizaje.
- Permite el trabajo en grupos, lo que promueve las habilidades sociales y de colaboración.
- Favorece las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes y la activación del circuito de recompensa cerebral.
- Limitaciones:
  - Actividades improvisadas no representan beneficio para la adquisición de los conocimientos.
  - La poca disponibilidad de los materiales limita la participación de todos los estudiantes y genera emociones negativas, como aburrimiento o ansiedad.
  - Una mala agrupación puede originar situaciones disruptivas, generando conflictos que bloqueen la capacidad de aprender y produzcan rechazo hacia este tipo de actividades.
  - Las actividades de este tipo, si son esporádicas no permiten consolidar los conocimientos en la memoria a largo plazo.
- Oportunidades de intervención:
  - Seleccionar los materiales acordes a las edades y capacidades de los alumnos.
  - Las actividades de este tipo deben estar incluidas en la planificación de las unidades didácticas y realizarse con cierta periodicidad, esto permitirá la consolidación de los conocimientos.

- Formar los grupos estratégicamente, con conocimientos de las habilidades y limitaciones de los integrantes a nivel intelectual y emocional, generará un ambiente positivo para el aprendizaje.
- Supervisar que todos los alumnos tengan igual acceso a los materiales.
- Planificar las actividades estableciendo claramente el objetivo que se desea alcanzar y comunicarlo a los estudiantes, de lo contrario no se relacionará el trabajo con los conceptos matemáticos que se desean promover.
- En caso de conflictos, supervisar e intervenir solo si es estrictamente necesario. De esta forma los estudiantes aprenderán a gestionar sus emociones y a solucionar los problemas de forma eficiente.
- Cambiar el aula de clase por sesiones en el laboratorio de ciencias o en el patio de recreo, potenciará las emociones positivas en torno a estas actividades.
- *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, organización, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones.

#### 6.5. APRENDIZAJE BASADO EN INSTRUCCIÓN POR PARES

Esta metodología consiste en generar el aprendizaje a través del diálogo y el debate entre los alumnos.

- Ventajas:
  - Los alumnos al encontrarse en un ambiente de confianza se muestran más receptivos al aprendizaje y conectan los conocimientos con la emoción.
  - El lenguaje y la terminología que usan los pares facilita la comprensión.
  - El intercambio de ideas activa el pensamiento desde diferentes perspectivas.

- La necesidad de comunicar las ideas con claridad mejora las habilidades lingüísticas.
- Limitaciones:
  - Los alumnos tímidos no participan tan activamente como los extrovertidos.
  - La falta de planificación de la actividad incita al desorden y a la creación de un ambiente caótico.
  - Ante alumnos que tienen un estilo de discusión vehemente, otros alumnos se pueden sentir intimidados y con temor de exponer sus puntos de vista.
  - Actividades de este tipo que abarquen gran cantidad de contenido pueden generar confusión sobre el tema tratado.
  - No acompañar la actividad con apuntes o material impreso hará que la información se olvide con facilidad.
- Oportunidades de intervención:
  - Planificar la actividad delimitando el contenido a tratar, y que este no sea un concepto muy complejo o un tema muy amplio.
  - Asegurar la participación de todos los estudiantes.
  - Establecer las normas de discusión, que incluyan respeto a los compañeros, un tono de voz adecuado y un tiempo de exposición determinado.
  - Acompañar la actividad con un formato para la toma de datos y conclusiones o con material impreso acerca del tema.
  - Promover que la discusión sobre los conceptos se asocie con situaciones reales y de interés para los alumnos. Esto permitirá que le otorguen significado al aprendizaje.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, memoria, organización, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones.

## 6.6. APRENDIZAJE COOPERATIVO

Es una metodología que consiste en la creación de pequeños grupos heterogéneos de alumnos para la realización de un trabajo determinado. En este tipo de actividades el logro del objetivo del grupo es compartido por sus integrantes, el logro del objetivo individual solo se alcanza si el resto de los integrantes también lo logran, Johnson, D. y Johnson, R. (2014).

En esta metodología, la responsabilidad de la creación de los grupos, distribución de las tareas de los integrantes y supervisión del trabajo recae en el docente.

Los grupos formados pueden permanecer estables durante todo el año escolar o pueden funcionar para una actividad puntual por un tiempo más reducido.

- Ventajas:
  - Fomentan la interdependencia positiva y un ambiente de camaradería que beneficia los procesos cognitivos.
  - Los grupos heterogéneos ayudan a la integración de los alumnos al grupo de clase y a la diversidad de pensamiento.
  - Los alumnos de bajo rendimiento se benefician de los alumnos de alto rendimiento, y estos a su vez se benefician al ayudar a los compañeros.
  - Las discusiones dentro del grupo fomentan habilidades de comunicación, negociación, resolución de conflictos y control de las emociones.
  - La diversidad del grupo enriquece el pensamiento de los estudiantes.
- Limitaciones:
  - Una mala agrupación comprometerá el buen clima emocional dentro del grupo de trabajo y se verá comprometido el aprendizaje.
  - Experiencias negativas en trabajos grupales pueden generar rechazo hacia esta actividad bloqueando la capacidad de aprendizaje.

- La necesidad de sacar el grupo adelante puede hacer que algunos alumnos extralimiten sus funciones, haciendo sentir a los demás que no son capaces, esto afectará su autoestima y les generará ansiedad.
- Actividades esporádicas de esta índole no permiten el desarrollo de las funciones ejecutivas.
- Oportunidades de intervención:
  - Configurar heterogéneamente los grupos, según el rendimiento académico, sexo y origen étnico.
  - Supervisar continuamente las actividades, indagando sobre las emociones de los alumnos.
  - Incorporar estas actividades a la planificación del curso, de manera que tengan presencia continua a lo largo del año escolar.
  - Intervenir oportunamente en los casos en que las emociones negativas atenten con el proceso de aprendizaje y los integrantes del grupo no puedan solucionar los conflictos por sí mismos.
  - Planificar estratégicamente las actividades de forma que resulten atractivas para los alumnos y los motiven a su realización.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, organización, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos.

## 6.7. APRENDIZAJE COLABORATIVO

Es una metodología que se basa en el aprendizaje en pequeños grupos, a los cuales se les asigna una tarea determinada.

A diferencia del aprendizaje cooperativo, el colaborativo “está centrado en los alumnos y dirigido por ellos con la ayuda del profesor” (Sáez López, 2018, p. 55).

La selección de los integrantes del equipo es realizada por los propios estudiantes y son ellos los que asignan los roles a cada miembro.

- **Ventajas:**
  - Fomenta el trabajo en equipo y la ayuda mutua para el logro de los objetivos.
  - Fomenta el desarrollo de habilidades de organización.
  - Promueve habilidades de negociación, control de las emociones y resolución de conflictos.
  - Anima a apreciar las habilidades y destrezas de cada miembro del equipo para la asignación adecuada de las tareas.
- **Limitaciones:**
  - El diseño de las tareas puede no resultar atractivo para los alumnos y no conseguir la motivación necesaria para el logro del aprendizaje.
  - La distribución de las tareas entre los miembros del grupo puede no ser equitativa.
  - Puede haber alumnos que se aprovechen del trabajo de otros y por esto los que trabajan pierden la motivación.
  - Puede haber alumnos que trabajen más y le resten mérito al trabajo de los otros afectando su autoestima.
  - Los alumnos pueden realizar sus tareas sin el conocimiento del trabajo de los demás, lo que limita las oportunidades conseguir el aprendizaje de la experiencia global.
- **Oportunidades de intervención:**
  - Diseñar tareas atractivas para los estudiantes. Resulta una buena opción trabajar con materiales manipulativos o algún proyecto que involucre las artes plásticas. De este modo se enriquece la actividad cerebral.
  - Diseñar las actividades con un enfoque multidisciplinar que aumenten las áreas de activación cerebral.
  - Estructurar la actividad de modo que se pueda verificar la participación de todos los miembros del equipo.

- Intervenir en la formación de los grupos si se evidencia claramente el trato desigual entre sus miembros. Así se evitarán situaciones que generen rechazo por este tipo de actividades.
- Aportar elementos divertidos a las sesiones de trabajo en el aula como música o tal vez una merienda. Esto hará que los alumnos relacionen el trabajo matemático con emociones relajantes y divertidas.
- *Funciones ejecutivas que se potencian*: organización, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos.

## 6.8. GAMIFICACIÓN

La gamificación es una metodología que se apoya en elementos del juego para motivar a los estudiantes en su aprendizaje.

El fin fundamental es maximizar el disfrute de la experiencia educativa para los estudiantes, Cambridge (2018).

- Ventajas:
  - Aumenta el compromiso del estudiante hacia su aprendizaje al sentirse motivado por las recompensas.
  - Dota al estudiante de autonomía al sentirse responsable por los logros que obtenga.
  - La obtención de resultados inmediatos lo hace consciente de sus errores y le da la oportunidad de establecer un nuevo patrón de actuación.
  - Fomenta el esfuerzo de los estudiantes para la obtención de recompensas.
  - El reconocimiento de los logros fortalece la autoestima.
  - Genera la competencia sana entre los compañeros.
- Limitaciones:

- Recompensas poco atractivas no generan el enganche del alumno al juego.
- Retos de mucha dificultad desmotivan la participación de los estudiantes y en otros alumnos puede generar ansiedad.
- Los alumnos muy competitivos vuelcan su atención únicamente hacia este tipo de actividades y pierden el interés por otras que no ofrezcan recompensas.
- Alumnos con pocos logros ven afectada su autoestima.
- Mecanismos de recompensas poco claros o improvisados dan la sensación a los alumnos de desigualdad en el trato y generan desconfianza hacia el docente.
- Oportunidades de intervención:
  - Establecer un mecanismo de recompensa claro que de oportunidades a todos los alumnos de la clase.
  - Establecer objetivos claros y de dificultades baja, media y alta. Con esto al momento del logro del objetivo se activará el circuito de recompensa cerebral.
  - Asociar claramente las actividades con los objetivos de enseñanza, de este modo los alumnos asociarán el juego con el aprendizaje y no como una actividad sin utilidad alguna.
  - Mantener estas actividades por períodos largos variando las recompensas, mantendrá la atención de los alumnos.
  - Introducir elementos de sorpresa aumentará la emoción facilitando el aprendizaje de los conocimientos asociados al evento.
  - Introducir actividades en grupo que propicien la integración de los alumnos y la camaradería.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos.

## 6.9. CLASE INVERTIDA

Se fundamenta en invertir los espacios de aprendizaje, trasladando la explicación teórica del tema seleccionado a la casa, utilizando herramientas que pueden ser videos, presentaciones, artículos, etc., y destinar el tiempo en clase para que el docente resuelva las dudas generadas, Cáceres y López Núñez (2021).

“El aula debe ser el espacio en donde la información y el conocimiento se discuten, se problematizan, y generan nuevos puentes para aprender más y mejor” (Lewin, 2017, p. 213).

- Ventajas:
  - Los estudiantes no se quedan con dudas ya que tienen un tiempo amplio para despejarlas.
  - Las explicaciones teóricas son recibidas en casa, en un entorno cómodo donde se pueden relajar, como consecuencia estarán más dispuestos a absorber los conocimientos.
  - Les permite tener el tiempo necesario de reflexión antes de exponer las dudas.
  - Fomenta en el alumno la adquisición de responsabilidad por su formación.
  - Favorece las habilidades de memoria, independencia, organización y atención, fundamentales para mejorar las funciones ejecutivas.
  - Fomenta el debate entre los alumnos generando nuevos puntos de vista.
- Limitaciones:
  - El material de estudio les puede parecer poco atractivo, largo y aburrido.
  - Los alumnos no siempre cumplen con el estudio previo cuando no hay un sistema de verificación por parte del docente.

- No siempre se cuenta con entornos tranquilos en casa que permitan la concentración.
- El acceso a internet puede representar una limitante para la visualización de contenidos digitales de estudio.
- Oportunidades de intervención:
  - Hacer una buena selección del material de estudio, que sea atractivo, resumido y en caso de videos que sean de corta duración, para lograr el enganche del alumno a la explicación y mantener activa la memoria operativa.
  - Implementar un mecanismo que permita verificar el estudio por parte de los estudiantes.
  - Asegurarse que todos los alumnos tengan acceso a la información objeto de estudio.
  - Estructurar la sesión de clase de manera que permita el debate, se aclaren las dudas y participen todos los alumnos.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, memoria, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones.

## 6.10. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

“Se trata de un método en el que los estudiantes realizan un proyecto en un tiempo determinado para resolver un problema o abordar una tarea mediante la planificación, diseño y realización de una serie de actividades” (Sáez López, 2018, P. 38).

En estas actividades el estudiante tiene la autonomía de agrupamiento según sus preferencias, y de elegir el problema en el que va a basar el proyecto de acuerdo con sus intereses o situaciones sociales a las que sea más sensible.

El resultado de la actividad es un producto o presentación que deben exponer ante un público interesado dentro del entorno educativo o fuera de este.

- Ventajas:
  - Permite la conexión del conocimiento con la utilidad en la vida real, aumentando el sentido de pertenencia hacia la sociedad y

haciéndolos sentir autores de cambios positivos en su entorno. De este modo se fortalecen las conexiones en diversas áreas del cerebro consolidando los conocimientos y haciendo conexiones cada vez más eficientes que permitirán la extrapolación a situaciones similares de resolución de problemas reales.

- El enfoque multidisciplinar de la actividad promueve la adquisición de nuevos conocimientos y consolidación de los previos.
- Permite la transferencia del conocimiento a situaciones de la vida real dándole importancia al aprendizaje.
- Promueve las habilidades sociales, de colaboración y de compromiso.
- Fortalece la autoestima de los participantes al sentir que su rol dentro del grupo es valioso para los demás.
- Favorece las habilidades de resolución de problemas y la activación del circuito de recompensa cerebral.
- El proceso de investigación requerido fomenta el contacto con otros actores de la sociedad enriqueciendo el pensamiento.
- Fomenta la creatividad, la investigación, la organización, planificación y el logro de objetivos.
- Fomenta el pensamiento autocrítico y la corrección de los errores.
- Motiva el pensamiento analítico y procesual.
- Limitaciones:
  - Sin la orientación adecuada los alumnos no conectarán con un proyecto de genuino interés.
  - Requiere que los alumnos hayan desarrollado habilidades de pensamiento de nivel superior.
  - Si no han desarrollado las correctas habilidades de planificación se pueden sentir ansiosos por los tiempos de entrega.

- La planificación de la actividad por parte del docente se debe hacer al principio del curso y debe contemplar el tiempo de ejecución necesario, y que este no coincida con una alta carga académica que les genere estrés prolongado a los alumnos interfiriendo con los procesos cognitivos.
- Requiere que los docentes estén al tanto de los procesos que realizan los alumnos y de sus avances, así como también del clima de trabajo dentro del grupo en todas las etapas del proyecto.
- Oportunidades de intervención:
  - Suministrar suficiente información antes de asignar el proyecto, sobre las posibles áreas de acción, presentar ejemplos y discutir el procedimiento de realización, de modo que los alumnos puedan tomar decisiones acertadas.
  - Remarcar la importancia del proyecto desde el punto de vista de la integración de los conceptos matemáticos y que estos fundamenten la decisión de la elección del tema a desarrollar.
  - Orientar a los alumnos hacia la correcta elección de los proyectos, asegurándose que resulten significativos para el aprendizaje.
  - Estructurar un cronograma de revisiones para monitorear todas las etapas del proceso y verificar su correcta ejecución. Así se logrará corregir las desviaciones a tiempo y se evitará la frustración de los alumnos.
  - Organizar las presentaciones finales con la participación de personas ajenas al grupo clase que los motiven a elaborar exposiciones de mayor calidad.
  - *Funciones ejecutivas que se potencian:* atención, memoria, organización, planificación, inhibición e iniciativa, flexibilidad y capacidad de cambio, control de la conducta y control de las emociones y el establecimiento de objetivos.

## 7. CONCLUSIONES Y VALORACIÓN CRÍTICA

## 7.1. ENTENDER EL CEREBRO HUMANO: MUCHO SE SABE, AÚN MÁS POR DESCUBRIR

A lo largo del proceso de investigación llevado a cabo se han generado dos apreciaciones contrapuestas en relación con los conocimientos descubiertos acerca del cerebro humano.

La primera impresión corresponde a las extraordinarias revelaciones que han hecho científicos sobre el funcionamiento de las diferentes y muy complicadas estructuras cerebrales, desde las descripciones anatómicas, estructurales hasta las químicas y funcionales.

La cantidad y precisión de los datos resulta abrumadora y los métodos por los cuales se ha llegado a las conclusiones son asombrosos, demostrando la inteligencia ilimitada de los seres humanos, interesados en desvelar los misterios que envuelven la humanidad y más allá de esta.

En este sentido, también es motivo de interés las similitudes entre los ratones y los seres humanos que, han permitido descifrar patrones de comportamiento que se asemejan y en muchos casos se igualan, lo que nos indica que a pesar de nuestra evolución tenemos aún, fuertes raíces primitivas.

La segunda apreciación totalmente opuesta, se refiere al largo camino que queda por recorrer para lograr el completo entendimiento de todas las funciones cerebrales y de sus muchas variaciones entre individuos.

La diversidad humana, condicionada genética, cultural, geográfica y hasta por el estilo de vida, hace que sea casi imposible establecer un patrón de funcionamiento cerebral que se adapte ajustadamente a cada variación y a cada etapa de la vida.

A pesar de que los avances tecnológicos representan el incremento exponencial en las oportunidades de estudiar en profundidad la mente humana, aún queda mucho por andar.

En tal sentido es imperativo tomar los datos ofrecidos en este estudio a modo de referencia y no como verdades absolutas con las que se pueda caracterizar a los estudiantes y predecir su comportamiento, más bien debe

servir para entender la complejidad y diversidad de nuestros estudiantes y motivarnos a esforzarnos cada día por ofrecerles la mejor educación posible.

## 7.2. EL APRENDIZAJE MATEMÁTICO: CEREBRO, EMOCIONES Y MEDIO AMBIENTE

Con base en la literatura analizada, sería un error garrafal seleccionar un método de instrucción utilizando únicamente la funcionalidad estructural cerebral como criterio de referencia.

Los datos arrojados nos indican que la estabilidad química y hormonal juega un papel muy importante en el desarrollo de habilidades cognitivas y que son procesos que se llevan a cabo en todo el cuerpo de manera multidireccional.

El impacto de las reacciones químicas y hormonales internas, pueden generar efectos físicos y alteración del comportamiento en momentos puntuales o por períodos más largos, influyendo de manera consciente o inconsciente en la disposición para aprender de los alumnos.

Adicionalmente, el estímulo que de origen a las alteraciones antes mencionadas, puede ser interno o ser motivado por la interacción con el medio ambiente.

Por todo esto, se deben ajustar las metodologías didácticas a nuestros alumnos desde una perspectiva integradora de cerebro, emociones y medio ambiente, con el fin de cubrir todos los aspectos a los cuales es susceptible su aprendizaje.

En el caso de nuestra asignatura, las matemáticas, es imperativo cambiar paradigmas, derribar mitos y falsas creencias en torno a las dificultades de su aprendizaje.

En este sentido este trabajo nos sugiere la activación de las emociones positivas en la enseñanza, lograr conexiones verdaderas y humanas con nuestros alumnos, establecer vínculos desde el respeto mutuo y la empatía que derriben esas barreras autoimpuestas hacia las matemáticas.

Por otra parte, potenciar las funciones ejecutivas de nuestros estudiantes durante la adolescencia a través de la correcta aplicación de

metodologías didácticas, permitirá su transformación en adultos con pensamiento analítico, autocríticos, con actitudes proactivas hacia la solución de los problemas de su entorno, y con habilidades emocionales bien desarrolladas. Todas estas, características necesarias para impulsar el cambio social que demanda la actualidad.

### 7.3. CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Haciendo un análisis crítico sobre la consecución de los objetivos, considero que, se han dado respuesta a todas las cuestiones planteadas.

Con relación al primer objetivo, se explicó de forma concisa y de fácil comprensión, las estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento de hechos matemáticos, exponiendo que, para cálculos básicos se establecen conexiones entre la corteza prefrontal y la parietal activándose de esta última zona el giro angular.

En la solución de problemas que ameriten solución por pasos, se activará la red hipocampo-intraparietal, y de la corteza parietal el giro angular del hemisferio izquierdo tomará el protagonismo.

Para solucionar problemas de mayor complejidad, como ecuaciones algebraicas, tomarán protagonismo el lóbulo visual en conjunto con el lóbulo temporal para extraer los datos del problema; y con el banco de imágenes y las reglas matemáticas disponibles en la corteza parietal, en especial en el giro angular izquierdo, darán forma al problema y harán las modificaciones para su solución.

Dentro de este primer objetivo, también se logró argumentar el proceso por el cual se generan y consolidan los conocimientos, concluyendo que, es un proceso que requiere el establecimiento de conexiones neuronales, que a través de la repetición se van consolidando en rutas por las que se transmite la información, y que dichas rutas se pueden ampliar al adicionar conocimientos al previo o hacerse más eficientes al mejorar las habilidades.

En relación con lo antes explicado, adicionalmente se sustentó la implicación de las emociones en la capacidad de lograr la memoria a largo plazo.

Dentro del segundo objetivo, los datos aportados se corresponden con la necesidad planteada, se demostró los cambios que ocurren a partir de la activación de emociones positivas y negativas a nivel cerebral y la repercusión que tienen en el logro del aprendizaje y la consolidación de la memoria.

Así mismo, se describieron las metodologías didácticas seleccionadas bajo el criterio del desarrollo de las funciones ejecutivas, que son directamente proporcionales al logro del

conocimiento matemático, debido a que este requiere conexiones neuronales eficientes en la corteza frontal donde se llevan a cabo estas funciones.

En esta descripción se puede observar que no todas las metodologías cumplen con la potenciación de las funciones ejecutivas, sin embargo, son susceptibles de modificaciones que permitan sacar el máximo provecho de las actividades logrando el aprendizaje deseado.

#### 7.4. VALORACIÓN CRÍTICA

Por lo antes expuesto, la elaboración de este trabajo no nos lleva a datos concluyentes sino más bien orientadores, que motivan la reflexión de la importancia de nuestra labor docente como transmisores de conocimiento y formadores de individuos.

Del mismo modo, es un llamado de atención sobre el impacto que tienen nuestras actitudes en la vida de los alumnos y en su apreciación de la asignatura.

El análisis riguroso de lo que engloba este trabajo nos ubica en una posición de empatía hacia los estudiantes, sobre todo en una etapa tan difícil como es la adolescencia, nos hace ser conscientes de sus temores y de la necesidad de sentirse arropados en un ambiente de confianza para poder aprender. Nos incita a establecer vínculos de colaboración desde una perspectiva más sensible.

Otro aspecto importante que resaltar, ha sido la concientización acerca de la necesidad de formación continua del docente y la importancia de ampliar los conocimientos en áreas interdisciplinarias, que permitan asumir los retos que demanden los estudiantes y ofrecer herramientas de atención a la diversidad desde el conocimiento científico.

#### 8. REFERENCIAS

- Alvarenga, K., Domingos, A. y Cabrera Zuñiga, D. (2022). Neurociencias cognitivas en la formación de profesores de matemática. *Unión: revista Iberoamericana de educación matemática*, 65, 1-21.
- Anderson, J. R., Betts, S., Ferris, J. L. y Fincham, J. M. (2012). Tracking children's mental states while solving algebra equations. *Human Brain Mapping*, 33(11), 2650–2665. doi: 10.1002/hbm.21391
- Baena-Morales, S. y González Fernández, F. (2021). ¿Qué necesita el cerebro de los estudiantes para adherirse a la práctica de actividad física? Breve revisión en busca de las claves prácticas. En A. R. Bodoque-Osma y S. González-Víllora (Coords.),

- Neuroeducación: ayudando a aprender desde las evidencias científicas.* (pp. 49-69). Ediciones Morata, S. L.
- Bates, A. W. (2022). *Enseñar en la era digital. Guía para el diseño de la enseñanza y el aprendizaje.* Tony Bates Associates Ltd.
- Berch, D., Geary, D. y Mann, K. (Eds.). (2015). *Development of mathematical cognition: Neural substrates and genetic influences.* Elsevier Science & Technology.
- Berger, J.M. y Karsenty, G. (2022). Osteocalcin and the physiology of danger. *FEBS Letters*, 596, 665-680. doi: 10.1002/1873-3468.14259
- Boaler, J. (2013). Ability and Mathematics: the mindset revolution that is reshaping education. *Forum*, 55(1). 143-152.
- Bruner, J. (1971). The act of discovery. En S. Mohini (Ed.), *Understanding Children.* (pp. 10-24). MSS Educational Publishing Inc.
- Bueno i Torrens, D. (2019). *Neurociencia para educadores: todo lo que los educadores siempre han querido saber sobre el cerebro de sus alumnos y nunca nadie se ha atrevido a explicárselo de manera comprensible y útil.* Ediciones Octaedro, S.L.
- Caicedo López, H. (2016). *Neuroeducación: una propuesta educativa en el aula de clase.* Ediciones de la U.
- Cambridge, S. P. (2018). *Problem-based learning and proprioception.* Cambridge Scholars Publishing.
- Casey B. J., Galván A. y Somerville L. (2016). Beyond simple models of adolescence to an integrated circuit-based account: A commentary. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 17, 138-130. doi: 10.1016/j.dcn.2015.12.006
- Cepeda Dovala, J. M. (2014). *Estrategias de enseñanza para el aprendizaje por competencias.* Editorial Digital UNID.
- Crone, E. A. (2019). *El cerebro adolescente: cambios en el aprendizaje, en la toma de decisiones y en las relaciones sociales.* Narcea Ediciones.

- Dehaene, S. y Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. En B. Butterworth (Ed.), *Mathematical cognition* (pp. 83-120). Psychology Press.
- Dehaene, S. (1997). *Number sense: how the mind creates mathematics*. Oxford University Press.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. y Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*. 20(3/4/5/6), 487-506. doi: 10.1080/02643290244000239
- Feinstein, S. G. (2016). *Secretos del cerebro adolescente*. Grupo Editorial Patria.
- Fernández Bravo J., (2010). Neurociencias y Enseñanza de la Matemática. Prólogo de algunos retos educativos. *Revista Iberoamericana de Educación*. 51(3), 1-12.
- Gardner, H. (1994). *Estructuras de la mente: la teoría de las inteligencias múltiples*. Fondo de Cultura Económica Argentina.
- Goodwin, B., Gibson, T. y Rouleau, K. (2020). *Learning that sticks: a brain-based model for k-12 instructional design and delivery*. Association for Supervision & Curriculum Development.
- Hodges, L. C. (2015). *Teaching undergraduate science: A guide to overcoming obstacles to student learning*. Stylus Publishing, LLC.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (2016). *Psicología del niño (18a. ed.)*. Ediciones Morata, S. L.
- Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (2014). Cooperative Learning in 21st Century. *Anales de psicología*, 30(3), 841-851. doi: 10.6018/analesps.30.3.201241
- Knops A. (2017). Probing the Neural Correlates of Number Processing. *The Neuroscientist*, 23(3), 264-274. doi: 10.1177/1073858416650153

- Lee H. S., Fincham J. M. y Anderson J. R. (2015). Learning from examples versus verbal directions in mathematical problem solving. *Mind Brain Educ.* 9, 232–245. doi: 10.1111/mbe.12096
- Léna, P. J. (2016). *El cerebro educado: ensayos sobre la neuroeducación*. Editorial Gedisa.
- Lewin, L. (2017). *Que enseñes no significa que aprendan: neurociencias, liderazgo docente e innovación en el aula en el siglo XXI*. Bonum.
- Mills, K. y Anandakumar, J. (2020). The adolescent brain is literally awesome. *Frontiers for Young Minds.* 8(75). doi: 10.3389/frym.2020.00075
- Moeller, K., Willmes, K y Klein, E. (2015). A review on functional and structural brain connectivity in numerical cognition. *Frontiers in Human Neuroscience.* 9(227). doi.org/10.3389/fnhum.2015.00227
- Mogollón, E. (2010). Aportes de las neurociencias para el desarrollo de estrategias de enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas. *Revista Electrónica Educare*, 14(2), 113-124.
- Montessori, M., Sanchidrián Blanco, C. (II.). (2014). *El método de la pedagogía científica: aplicado a la educación de la infancia*. Biblioteca Nueva.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE (2009). Indicador A7. ¿Cuáles son los beneficios económicos de la educación? En OCDE, *Panorama de la educación 2009, indicadores de la OCDE*. (pp. 138-152). Santillana.
- Ortiz Ocaña, A. (2015). *Neuroeducación: ¿cómo aprende el cerebro humano y cómo deberían enseñar los docentes?* Ediciones de la U.
- Perrenoud, P. (2004). *Diez nuevas competencias para enseñar*. Editorial Graó.
- Popescu, T., Sader, E., Schaer, M., Thomas, A., Terhune, D., Dowker, A., Mars, R. y Cohen Kadosh, R. (2019). The brain-structural correlates of mathematical expertise. *Cortex*, 114, 140-150.

- Rose, H. y Rose, S. (2017). *¿Puede la neurociencia cambiar nuestras mentes?* Ediciones Morata, S. L.
- Rosenberg-Lee, M., Ashkenazi, S., Chen, T., Young, C. B., Geary, D. C., y Menon, V. (2014). Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental Science*. 18, 351-372. doi: 10.1111/desc.12216
- Rotger, M. (2018). *Neurociencia neuroaprendizaje: las emociones y el aprendizaje (2a. ed.)*. Editorial Brujas.
- Rotger, M. (2019). *Una escuela neuroeducada: siente, piensa, actúa*. Editorial Brujas.
- Sáez López, J. M. (2018). *Estilos de aprendizaje y métodos de enseñanza*. UNED-Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Sortino, D. P. (2017). *A guide to how your child learns: Understanding the brain from infancy to young adulthood*. Rowman & Littlefield Publishers.
- Syawal M., Surat, S. y Rahman, S. (2019). Emotions in learning mathematics and its relationship to memory: insight from neuroscience to classroom findings. *Religión. Revista de ciencias sociales y humanidades*, 4(18), 210-215.
- Vogel, S., y Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: implications for the classroom. *NPJ science of learning*, 1(16011). doi: 10.1038/npjscilearn.2016.11
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20(2), pp. 158-177. doi: 10.1037/h0074428
- Willis, J. y Willis, M. (2020). *Research-based strategies to ignite student learning: Insights from neuroscience and the classroom*. Association for Supervision & Curriculum Development.
- Zacharopoulos G., Sella F., Cohen Kadosh, K., Hartwright C., Emir, U. y Cohen Kadosh, R. (2021). Predicting learning and achievement using GABA and glutamate

concentrations in human development. *PLOS Biology*. 19(7). doi: 10.1371/journal.pbio.3001325

Zacharopoulos, G., Sella, F. y Cohen Kadosh, R. (2021). The impact of a lack of mathematical education on brain development and future attainment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 118(24). doi: 10.1073/pnas.2013155118