



Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, para Contribuir a la Mejora de la Enseñanza, Mediante el uso de Engramas Cerebrales y su Relación con las Teorías del Aprendizaje en Adolescentes de la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” de Ecuador - Año lectivo 2025

TESIS DOCTORAL

para obtener el Grado de Ph.D.

DOCTOR EN EDUCACIÓN E INNOVACIÓN

PRESENTA

Gregorio Celis Rodriguez

ASESOR

PhD. Alejandra Montane López

México, 2026

La presente Tesis Doctoral debe ser citada como:

Celis Rodriguez, Gregorio (2026). Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, para Contribuir a la Mejora de la Enseñanza, Mediante el uso de Engramas Cerebrales y su Relación con las Teorías del Aprendizaje en Adolescentes de la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” de Ecuador, año lectivo 2025. [Tesis de Doctorado de la Universidad de Investigación e Innovación de México – UIIX]



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Se permite la reproducción total o parcial y la comunicación pública de la obra con reconocimiento de la autoría y mención de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX.

No se permite el uso comercial ni la creación de obras derivadas.

Agradecimientos.

Agradezco a Dios y a la Santísima Virgen María por darme la fuerza y la voluntad para seguir estudiando y cumplir uno de mis sueños académicos.

Mi gratitud también para mis padres, por darme la vida, educarme en el seno de la familia y ser ejemplo de valores.

Extiendo mi agradecimiento a todas las personas que, con sus consejos, contribuyeron a que esta tesis se realizará de la mejor manera posible, en especial a los directivos y docentes de la UIIX, cuyo don de gente y alto espíritu académico hicieron realidad este trabajo.

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a mi tutora, la Dra. Alejandra Montané, cuya amabilidad, apoyo académico incondicional y valiosos consejos encaminaron esta tesis hasta su feliz culminación.

Dedicatorias.

Dedico esta tesis a mis padres, a mi esposa y a mis hijas. Con su amor y su apoyo me dieron la paz y la fuerza para culminar mi doctorado y escribir estas páginas, que también representan las horas y los días que estuve lejos de ellas para alcanzar esta meta.

Resumen

La presente investigación propone mitigar la brecha entre la neurociencia y la pedagogía mediante la implementación del Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje. El estudio se fundamentó en el análisis de engramas cerebrales registrados a través de electroencefalografía inalámbrica (EEGi) en una muestra de adolescentes (13-18 años). Esta iniciativa responde a la desarticulación existente entre los hallazgos neurofisiológicos y las estrategias didácticas en la educación secundaria, aprovechando la plasticidad cerebral característica de esta etapa del desarrollo. La hipótesis afirma que la evidencia de engramas neuronales obtenida mediante EEGi en tiempo real aporta elementos verificables para articular la teoría educativa con la práctica docente. Metodológicamente, se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental de nivel explicativo, de carácter prospectivo, transversal y analítico. El estudio con un alfa = 0.05. Los análisis revelaron una distribución no normal, sin diferencias significativas por género, edad o etapa de desarrollo. No obstante, la comparación entre el pretest y el posttest demostró una mejora significativa en el rendimiento académico tras el proceso de aprendizaje ($p = 0,002$). Los resultados permitieron contrastar constructos teóricos que evidencian una correlación entre los engramas observados y los modelos de aprendizaje. Se concluye que el entrenamiento estructurado potencia la memoria y el rendimiento; asimismo, la evidencia neurofisiológica obtenida contribuye a reducir la distancia entre la teoría y la práctica, fortaleciendo el diálogo transdisciplinar entre la neurociencia y la educación.

Palabras Clave: *Neurociencia, Engramas, Educación, Teorías, Electroencefalografía*

Holistic Neuroeducational Learning Model

Abstract

This research proposes to mitigate the gap between neuroscience and pedagogy through the implementation of the Holistic Neuroeducational Learning Model. The study was based on the analysis of cerebral engrams recorded via wireless electroencephalography (wEEG) in a sample of adolescents (13-18 years old). This initiative addresses the existing disconnection between neurophysiological findings and didactic strategies in secondary education, leveraging the cerebral plasticity characteristic of this developmental stage. The hypothesis posited that real-time evidence of neural engrams obtained through wEEG provides verifiable elements to articulate educational theory with teaching practice. Methodologically, a quantitative approach was employed with an explanatory experimental design, which was prospective, cross-sectional, and analytical. The study achieved a statistical power of 0.785 and a significance level of $\alpha = 0.05$. Analyses revealed that the data did not follow a normal distribution, with no significant differences found regarding gender, age, or developmental stage. However, the comparison between pretest and posttest demonstrated a significant improvement in academic performance following the learning process ($p = 0.002$). The results allowed for the contrast of theoretical constructs, evidencing a correlation between observed engrams and learning models. It is concluded that structured training enhances memory and performance; furthermore, the neurophysiological evidence obtained contributes to reducing the distance between theory and practice, strengthening the transdisciplinary dialogue between neuroscience and education.

Keywords: Neuroscience, Engrams, Education, Theories, Electroencephalography

Índice General

Introducción	13
Capítulo I: Proyección de la Investigación.	15
1.1 Línea de investigación de la UIIX y su ámbito de estudio	15
1.2. Planteamiento del problema.....	18
1.3. Formulación del problema.	19
1.4. Justificación.	20
1.5. Objeto de estudio.	22
1.6. Campo de acción.....	22
1.7. Objetivos.....	22
1.8. Hipótesis.	23
1.9. Alcance Temático	23
1.10. Delimitación Espacial y Temporal.....	25
Capítulo II. Fundamentos Teóricos Referenciales.....	26
2.1. Estado del arte.....	26
2.1.1 Marco Histórico	26
2.1.2 Marco Actual	29
2.1.1. Análisis bibliométrico para soporte del estado del arte	30
2.2 Marco Teórico.....	37
2.3 Marco Conceptual.....	38
2.3.1. Las corrientes psicológicas del aprendizaje y la memoria.....	39
2.3.2. Evolución de las teorías del aprendizaje y la neuroeducación.....	40
2.3.2.1. Modelos cognitivos y de procesamiento de la información.....	42
2.3.2.2. Las diferentes corrientes psicológicas del aprendizaje	48

2.3.3. Corriente del Estructuralismo	48
2.3.4. Corriente del Funcionalismo:.....	53
2.3.5. Corriente del Conductismo	59
2.3.6. Corriente de la Psicología de la Gestalt	65
2.3.7. Corriente de la Psicología Cognitiva	69
2.3.8. Corriente del Constructivismo	75
2.3.9. Corriente Teórica del Aprendizaje Social.....	85
2.3.10. Corriente de Neurociencia Cognitiva.....	89
2.3.11. Anatomía funcional cerebral orientada al proceso del aprendizaje ..	103
2.4 Marco Contextual.....	111
2.5 Marco Legal y Normativo.....	113
Capítulo III. Fundamentos Metodológicos y Resultados de la Investigación. ..	119
3.1. Diseño metodológico.	121
3.2. Trabajo de campo.....	125
3.3. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.	131
3.3.1. Análisis de potencia o poder estadístico	131
Estadísticos descriptivos	133
3.4. Resultados y Discusión.	145
Capítulo IV. Propuesta de Transformación Pedagógica	152
4.1 Fundamentación de la propuesta.....	152
4.1.1 Origen y justificación.....	152
4.1.4 Articulación entre los hallazgos EEG y la propuesta.....	161
4.1.5 Finalidad general de la transformación.....	163
4.2 Estructura de la propuesta neuroeducativa	164
4.2.1 Objetivos de la propuesta.....	164

4.2.2 Componentes estratégicos de la propuesta	164
4.2.3 Módulos operativos de la propuesta	165
4.2.4 Roles de los actores de la propuesta	170
4.2.5 Dinámica de aula y secuencias temporales	174
4.3 Evaluación, validación y viabilidad de la propuesta.....	175
4.3.1 Pertinencia.....	175
4.3.2 Viabilidad operativa.....	176
4.3.3 Innovación de la propuesta	179
4.3.4 Consideraciones éticas del uso de neurotecnología	180
4.3.5 Indicadores de evaluación del impacto	184
4.4 Proyección y escalabilidad de la propuesta	185
4.4.1 Potencial de transferencia a otras áreas y niveles	186
4.4.2. Retos y líneas futuras de investigación.....	186
Conclusiones	192
Recomendaciones	195
Referencias.....	200
Anexos	215

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Citas por Autor</i>	32
Tabla 2 <i>Corrientes Teóricas del Aprendizaje</i>	39
Tabla 3 <i>Modelos del Aprendizaje</i>	40
Tabla 4 <i>Operacionalización de Variables</i>	120
Tabla 5 <i>Análisis de Potencia a Priori</i>	132
Tabla 6 <i>Potencia del Tamaño de Efecto</i>	132
Tabla 7 <i>Estadísticos Descriptivos</i>	133
Tabla 8 <i>Prueba de Normalidad de Shapiro-Willk</i>	134
Tabla 9 <i>Descriptivas por Grupos</i>	134
Tabla 10 <i>Prueba T para Muestras Independientes</i>	135
Tabla 11 <i>Prueba de Kruskal-Wallis para Adolescencia y Desempeño</i>	136
Tabla 12 <i>Prueba de Kruskal-Wallis para Edad y Desempeño en los Eventos</i>	137
Tabla 13 <i>Matriz de Correlaciones</i>	138
Tabla 14 <i>Prueba t para Muestras Pareadas</i>	139
Tabla 15 <i>Rúbrica del Constructo</i>	141
Tabla 16 <i>Constructos de Cada Sujeto de Estudio Según Rúbrica</i>	142
Tabla 17 <i>Constructos de Cada Sujeto de Estudio Según Rúbrica</i>	143
Tabla 18 <i>Constructo General de Navegación Cognitiva</i>	144
Tabla 19 <i>Integración de las Teorías con el Modelo Neuroeducativo</i>	155
Tabla 20 <i>Indicadores de Impacto</i>	184

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Publicaciones por Año</i>	31
Figura 2 <i>Documentos por Autor</i>	31
Figura 3 <i>Diagrama de Sankey: Filiación, Autor y Palabra Clave</i>	33
Figura 4 <i>Clúster de Publicaciones</i>	34
Figura 5 <i>Diagrama del Artículo Semilla</i>	35
Figura 6 <i>Diagrama Pre y Post Publicación</i>	36
Figura 7 <i>Mapa Conceptual de la Investigación</i>	38
Figura 8 <i>Estructura Conceptual del Voluntarismo de Wilhelm Wundt</i>	50
Figura 9 <i>Engrama Teórico del Voluntarismo de Wilhelm Wundt</i>	51
Figura 10 <i>Engrama Teórico del Voluntarismo de Wilhelm Wundt</i>	52
Figura 11 <i>Engrama de la Teoría de W. Wundt y E. Titchener</i>	52
Figura 12 <i>Estructura de La Teoría Funcionalista de William James</i>	54
Figura 13 <i>Engrama de la Teoría Funcionalista de William James</i>	55
Figura 14 <i>Estructura de la Teoría del Funcionalismo de W. James et al</i>	56
Figura 15 <i>Engrama de la Teoría del Funcionalismo de W. James et al</i>	57
Figura 16 <i>Estructura de la teoría de W. James</i>	58
Figura 17 <i>Engrama del Modelo de William James</i>	59
Figura 18 <i>Estructura de la Teoría del Condicionamiento de Ivan Pavlov</i>	60
Figura 19 <i>Engrama de la Teoría del Condicionamiento de Ivan Pavlov</i>	61
Figura 20 <i>Estructura de la Teoría del Conductismo de John Watson</i>	62
Figura 21 <i>Engrama de la Teoría del Conductismo de John Watson</i>	63
Figura 22 <i>Estructura conceptual del condicionamiento operante de Burrhus F. Skinner</i>	64

Figura 23 <i>Engrama de La Teoría de B.F. Skinner</i>	65
Figura 24 <i>Estructura de la Teoría del Aprendizaje por Insight de W. Köhler</i>	66
Figura 25 <i>Estructura de la Teoría del Aprendizaje por Insight de W. Köhler</i>	67
Figura 26 <i>Estructura de la Ley de Prägnanz de Max Wertheimer</i>	68
Figura 27 <i>Engrama Teórico de la Ley de Prägnanz, de M. Wertheimer</i>	69
Figura 28 <i>Estructura de la Teoría de U. Neisser</i>	70
Figura 29 <i>Engrama Teórico de la Propuesta de Ulric Neisser</i>	71
Figura 30 <i>Estructura de la "Teoría del Número Mágico 7 ± 2" de G. Miller</i>	72
Figura 31 <i>Engrama de la "Teoría del Número Mágico 7 ± 2" de G. Miller</i>	73
Figura 32 <i>Estructura del Modelo de Atkinson y Shiffrin</i>	74
Figura 33 <i>Engrama del Modelo de Atkinson y Shiffrin</i>	75
Figura 34 <i>Estructura de la Teoría de Jean Piaget</i>	77
Figura 35 <i>Engrama de la Teoría de Jean Piaget</i>	78
Figura 36 <i>ZDP y el Andamiaje</i>	79
Figura 37 <i>Estructura de la Teoría de Lev Vygotsky</i>	80
Figura 38 <i>Engrama de la Teoría de Lev Vygotsky</i>	81
Figura 39 <i>Estructura de la Teoría de David Ausubel</i>	82
Figura 40 <i>Engrama de la Teoría de David Ausubel</i>	83
Figura 41 <i>Estructura del Modelo de María Montessori</i>	84
Figura 42 <i>Engrama del Modelo de María Montessori</i>	85
Figura 43 <i>Estructura de la Teoría de Alberto Bandura</i>	87
Figura 44 <i>Engrama de la teoría de Albert Bandura</i>	88
Figura 45 <i>Estructura de la teoría de L. Nadel y M. Moscovitch</i>	90

Figura 46 <i>Engrama de la Teoría de L. Nadel y M. Moscovitch</i>	91
Figura 47 <i>Estructura de la Teoría de Howard Gardner</i>	92
Figura 48 <i>Engrama de la Teoría de Howard Gardner</i>	93
Figura 49 <i>Estructura de la Teoría de E. Kandel y J. McGaugh</i>	94
Figura 50 <i>Engrama de la Teoría de E. Kandel y J. McGaugh</i>	95
Figura 51 <i>Estructura de la Teoría de V. Galinsky y L. Frank</i>	97
Figura 52 <i>Engrama de la Teoría de V. Galinsky y L. Frank</i>	98
Figura 53 <i>Estructura del Modelo de Tvetter</i>	98
Figura 54 <i>Engrama del Modelo de Tvetter</i>	99
Figura 55 <i>Estructura del Modelo de Tulving</i>	100
Figura 56 <i>Engrama del Modelo de Tulving</i>	101
Figura 57 <i>Estructura del Modelo de Rumelhart, Hinton y Williams</i>	101
Figura 58 <i>Engrama del Modelo de Rumelhart, Hinton y Williams</i>	102
Figura 59 <i>Cognición Sensorio Motora, Localización y Trayectos</i>	104
Figura 60 <i>Fascículo frontal inclinado</i>	105
Figura 61 <i>Cognición Visual y Espacial</i>	106
Figura 62 <i>Fascículo Longitudinal Superior</i>	107
Figura 63 <i>Fascículo Longitudinal Inferior y Uncinado</i>	108
Figura 64 <i>Equipo Emotiv Pro-in situ</i>	129
Figura 65 <i>Curva de Potencia por Tamaño de Efecto</i>	132
Figura 66 <i>Constructo General</i>	145

Introducción

Para entender cómo aprende nuestro cerebro en la adolescencia y optimizar ese aprendizaje es importante investigar las ondas cerebrales y los rastros de memoria que se generan en estudiantes de 13 a 18 años y una técnica utilizada para este fin la electroencefalografía inalámbrica (EEGi). Al observar cómo interactúan las diferentes regiones cerebrales durante el aprendizaje y la evocación (recuerdo), podemos desarrollar enfoques pedagógicos basados en la evidencia (Gkintoni, 2025; Zhai, 2025). Los rastros de memoria (engramas) permiten recordar información cuando nos encontramos con estímulos asociados a lo aprendido (Josselyn, 2020).

Cuando generamos memoria nuestras experiencias modifican los circuitos neuronales del cerebro, y cuando evocamos esos recuerdos, se despiertan patrones de activación neuronal similares a los creados con el aprendizaje inicial. Este proceso neuronal facilita la evocación y demuestra cómo cada evento de aprendizaje cambia el funcionamiento de nuestro cerebro (López, 2024), lo que pone en evidencia la fisiología del desarrollo cerebral.

La compleja dinámica de actividad cerebral, la podemos utilizar a favor de nuestros estudiantes en el aula y la investigación educativa (Pellegrino, 2024; Gómez-Lombardi, 2024). Por ejemplo, se ha observado que estos presentan circuitos cerebrales de mayor amplitud al recordar (evocar), resolver problemas o leer textos, en comparación con estados de meditación o descanso (Sumardani y Lin, 2023). Estas observaciones sugieren que los patrones de ondas cerebrales pueden utilizarse para evaluar y mejorar la capacidad de aprender y recordar.

El análisis de la formación de los engramas en tiempo real ayuda a entender a nuestro cerebro y cómo procesa la información (Dorst, 2024). Integrar este conocimiento con las principales teorías y modelos de aprendizaje podría transformar la enseñanza, al modificar los paradigmas actuales para alcanzar un aprendizaje realmente significativo. Existe evidencia de que las ondas beta se asocia con la memoria de trabajo y la atención (Gorgoni et al., 2020). Mientras que la corteza frontal desempeña un papel relevante en la atención, la organización de la información y la resolución de problemas, al intervenir directamente en las funciones ejecutivas. Se mantiene una comunicación entre amígdala cerebral y el hipocampo por medio de impulsos eléctricos a través de que configuran el mecanismo mediante el cual se intercambia

información, que es la forma en que una neurona se comunica con otra y esto le ayuda al cerebro a codificar patrones de memoria y evocación; entre mejor sea la comunicación, la relación prefrontal-amígdala-hipocampo, más significativo será el aprendizaje en la adolescencia (Götte, 2023).

En síntesis, la comprensión de los mecanismos neuronales que sustentan la atención, la memoria y la evocación, pueden ofrecer una base empírica para cambiar la forma en que enseñamos, lo que abrió el camino a este trabajo de investigación y proyectó a relacionar ese conocimiento con la teoría educativa.

Capítulo I: Proyección de la Investigación.

Esta investigación doctoral busca demostrar que los patrones electroencefalográficos sirven como evidencia de una conexión entre la teoría educativa del aprendizaje y la pedagogía, lo que contribuirá a cerrar la brecha entre la neurociencia y la educación; Los resultados de este análisis aportarán las bases para el desarrollo de estrategias de enseñanza más eficaces validadas por el estudio de los engramas y su relación con las teorías del aprendizaje.

1.1 Línea de investigación de la UIIX y su ámbito de estudio

La presente tesis se enmarca en la línea de investigación de “innovación educativa y perspectivas tecnológicas”, en particular en el ámbito del estudio de la “gestión en las tendencias de la innovación, investigación, uso y/o desarrollo de la tecnología”.

Profundizar en el conocimiento sobre el aprendizaje y la identificación de engramas mediante electroencefalografía inalámbrica y en tiempo real en un entorno natural, en adolescentes (de 13 a 18 años) es relevante para esta área de investigación, ya que la innovación educativa basada en la evidencia es crucial, y la comprensión de los engramas o correlatos neuronales puede ayudar a los educadores a superar la pedagogía memorística, permitiéndoles diseñar enfoques pedagógicos basados en la evidencia e individualizar el currículo. Esto podría reducir la duración de la educación secundaria, y así, los adolescentes podrían aprender a codificar la información aprendida de manera diferente y utilizar estrategias de recuperación alternativas, lo que resultaría en un aprendizaje acelerado y una mayor retención de la memoria.

El desarrollo de tecnología educativa adaptativa es un aspecto importante, y este trabajo interdisciplinario entre neurociencia y educación puede dar como resultado nuevas tecnologías educativas y neurotecnologías, ya que también puede facilitar la creación de sistemas de tutoría personalizados que ofrecen una mayor comprensión del desarrollo cognitivo adolescente; de esta manera, estos sistemas pueden ajustarse dinámicamente a las necesidades de los estudiantes y a los factores contextuales (físicos, ambientales y psicológicos).

La innovación en la evaluación del aprendizaje requiere un cambio de paradigma, y esta integración de disciplinas requiere un cambio de estos, hacia un modelo de evaluación basado en procesos, por lo que debemos enfatizar la evaluación formativa sobre las medidas punitivas, porque esto permitirá brindar retroalimentación para apoyar el aprendizaje y mejorar la enseñanza de forma iterativa.

Según Hernandez-sampieri (2018) cuando hace referencia a la investigación traslacional menciona que la investigación traslacional (Hernández C. 2018 “del laboratorio a la práctica”) en educación es esencial, y necesitamos fomentar la investigación colaborativa entre educadores, neurocientíficos y otros, porque esta práctica ayudará en el desarrollo de currículos y microcurrículos de acuerdo con las necesidades específicas de cada estudiante y grupo, lo que facilitará la transmisión del conocimiento científico al aula.

La gestión de la innovación y la transferencia de tecnología es fundamental, y esta investigación y sus resultados permitirán proponer "agentes colaboradores", como empresas o industrias que, al involucrarse con esta nueva metodología de enseñanza y aprendizaje, brindarán oportunidades a los estudiantes que se han formado en este nuevo paradigma, consolidando así el capital humano joven con altos niveles de capacitación en codificación y recuperación de conocimientos para afrontar problemas complejos

La evidencia científica demuestra que el estudio de los engramas ofrece una comprensión profunda de cómo el cerebro humano retiene, consolida y evoca la información, proceso esencial para el desarrollo cognitivo, especialmente durante la adolescencia, etapa en la que el cerebro experimenta una notable maduración estructural y funcional. Tomé et al. (2024) evidenciaron que los engramas funcionan como entidades dinámicas cuya arquitectura favorece la consolidación de la memoria y estimula la plasticidad neuronal mediante la creación de nuevas conexiones sinápticas. Asimismo, Backer (2025) respalda la idea de que las neuronas pueden incorporarse o retirarse de estas redes en función de las demandas cognitivas y del contexto, lo que amplía nuestra comprensión sobre la naturaleza flexible y adaptativa de los procesos de aprendizaje y memoria.

Los adolescentes constituyen el grupo etario más idóneo para investigar la relación entre la actividad cerebral y los procesos de aprendizaje, debido a los profundos cambios físicos, psicológicos y neurobiológicos que experimentan durante esta etapa del desarrollo (Backer, 2025). El análisis de esta relación permite proponer nuevos enfoques conceptuales que integren las teorías y modelos del aprendizaje con la evidencia neurocientífica emergente. Desde una perspectiva macro, los hallazgos derivados de este tipo de estudios pueden influir significativamente en las políticas educativas y en la práctica docente orientada a adolescentes.

A nivel individual y colectivo, la comprensión de los mecanismos cerebrales asociados al aprendizaje puede contribuir a fortalecer la motivación, regular el estrés, reducir la ansiedad y optimizar los métodos pedagógicos. En consecuencia, este conocimiento no solo beneficia al estudiante, sino que también ofrece al docente herramientas fundamentadas para gestionar de manera más eficaz los procesos de enseñanza-aprendizaje.

- **Problema y situación problemática**

Persiste una profunda desconexión entre los hallazgos de la neurociencia y su implementación práctica en la educación, que aún se apoya, en gran medida, en marcos teóricos y modelos pedagógicos tradicionales. Aunque existen numerosos estudios sobre cognición que emplean diversas metodologías, pero ninguno vincula sus resultados con la teoría educativa y del aprendizaje, y son aún menos aún son más escasos los estudios que aplican esta relación en investigación tiempo real y ambiente ecológico, mucho menos en adolescentes como sujetos de investigación.

Este desconocimiento constituye una enorme laguna en la neuroeducación, lo que contribuye a la incorrecta aplicación del conocimiento neurocientífico en la enseñanza, creando una falencia en el modo o técnica que los docentes utilizan para fundamentar sus métodos pedagógicos. generando debilidades en la fundamentación pedagógica y en la efectividad de los métodos de enseñanza.

Según Hernandez-sampieri (2018) cuando hace referencia a la investigación traslacional menciona que la investigación traslacional (Hernández C. 2018 “del laboratorio a la práctica”) en educación es esencial, y necesitamos fomentar la investigación colaborativa entre educadores, neurocientíficos y otros, porque esta práctica ayudará en el desarrollo de currículos y microcurrículos de acuerdo con las necesidades específicas de cada estudiante y grupo, lo que facilitará la transmisión del conocimiento científico al aula.

La gestión de la innovación y la transferencia de tecnología es fundamental, y esta investigación y sus resultados permitirán proponer "agentes colaboradores", como empresas o industrias que, al involucrarse con esta nueva metodología de enseñanza y aprendizaje, brindarán oportunidades a los estudiantes que se han formado en este nuevo paradigma, consolidando así el capital humano joven con altos niveles de capacitación en codificación y recuperación de conocimientos para afrontar problemas complejos.

1.2. Planteamiento del problema.

Problema de Investigación

Existe un distanciamiento entre el aula y los principales avances de la neurociencia y la educación se basa en la teoría y los modelos tradicionales. Si bien las revisiones bibliográficas demuestran numerosos estudios sobre cognición que utilizan diversas metodologías, pocos de estos hallazgos se relacionan con la teoría educativa y del aprendizaje, y aún menos con los adolescentes en tiempo real, en su entorno natural: el aula. Esta desconexión entre educación y neurociencia ha dado lugar a una profunda ignorancia mutua entre ambas disciplinas, lo que ha provocado la pérdida de valiosas oportunidades para mejorar y transformar las prácticas pedagógicas, resultando en una importante pérdida de potencial de mejora.

Los avances de la neurociencia revelan que el aprendizaje y la memoria son procesos complejos influenciados por múltiples factores interrelacionados. Las tecnologías de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (TEP), proporcionan información sobre la conectividad cerebral en reposo o durante tareas (Rao et al., 2023), por lo que son herramientas útiles para comprender la función cerebral.

Sin embargo, existen limitaciones importantes para aplicar estos hallazgos en el aula ya que estos dispositivos son voluminosos y difíciles de transportar fuera de los hospitales. El peso de un escáner es de aproximadamente 260 kg y el de una resonancia magnética oscila entre 3000 y 7000 kg. Las sesiones de neuroimagen pueden durar de 30 a 60 minutos, por lo que los pacientes pueden experimentar claustrofobia (Calabro et al., 2023).

No se cuenta con evidencia científica publicada que respalde la realización de investigaciones enfocadas en el estudio de engramas neuronales en tiempo real mediante electroencefalografía inalámbrica en entornos naturales, en adolescentes de 13 a 18 años, ni en su vinculación con teorías o modelos del aprendizaje. Esto motivó a emprender esta investigación doctoral, que tiene como finalidad conectar la teoría educativa con la neurociencia y proponer un nuevo enfoque pedagógico basado en evidencia neuroeducativa. La maduración cortical es mayor durante la adolescencia que en cualquier otro periodo del desarrollo humano (Jia et al., 2023); por lo tanto, es fundamental aprovechar este periodo para optimizar la función cognitiva y formar aprendices y pensadores adultos más competentes que mejoren su calidad de vida en el futuro.

Según Vygotsky (1978), la internalización consiste en reconstruir dentro del yo lo que previamente se construyó externamente, y este proceso transforma la actividad externa en un proceso interno. Durante la adolescencia, esta etapa de aprendizaje es particularmente significativa, ya que los adolescentes desarrollan su identidad y consolidan habilidades de razonamiento crítico más sólidas que marcarán su futuro.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Pregunta principal

¿Cómo se puede mejorar el proceso de enseñanza de los adolescentes de la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" - Ecuador, en el año lectivo 2025?

1.3.2. Preguntas secundaria

¿Qué relación guardan los engramas cerebrales observados en tiempo real con los principios conductuales que explican el aprendizaje en adolescentes?

¿Cómo se vinculan los patrones de activación cortical con los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje y la evocación?

¿De qué manera los engramas neuronales apoyan la construcción activa del conocimiento durante experiencias de aprendizaje escolar?

Al plantear estas preguntas y emplear un enfoque científico riguroso, busca evidenciar cómo se desarrollan la actividad cerebral y los engramas entre las distintas regiones durante la adolescencia, así como ilustrar su relación con las teorías y modelos de aprendizaje actuales. Anticipamos que esta investigación puede tener un impacto positivo en la educación; por ejemplo, la identificación de talentos precoces, el uso de la neurotecnología en las escuelas y la creación de entornos de aprendizaje óptimos para los adolescentes.

1.4. Justificación.

Esta investigación aporta nuevos conocimientos al conectar los patrones cerebrales capturados mediante electroencefalografía inalámbrica con las teorías del aprendizaje en contextos escolares reales. El Modelo Holístico de Aprendizaje Neuroeducativo aplica datos cerebrales en tiempo real para explorar constructos como la atención, la carga cognitiva, la codificación, la consolidación y la recuperación de ondas cerebrales, y la conectividad en adolescentes. Esto contribuye a la neuroeducación al ofrecer relaciones precisas entre el cerebro y la conducta que explican cómo aprenden los adolescentes y cómo se podría optimizar la enseñanza, sentando así nuevos aportes a las bases, para el avance en el campo de la neuroeducación, tanto local como global. En la práctica, proporcionará orientación para diseñar, implementar y evaluar intervenciones docentes basadas en señales cerebrales, lo que permite fundamentar el desarrollo de métodos de enseñanza eficaces, basados en la evidencia.

Identificar las ventanas óptimas para presentar la información, practicar la memorización y la autorregulación del estudiantado puede orientar la duración de las actividades, la densidad de la información y la secuencia de estímulos (visuales, auditivos, kinestésicos) para optimizar la enseñanza-aprendizaje, ahorrar recursos y fomentar la innovación en el aula, lo que se traduce en mejores resultados educativos.

Socialmente, beneficia directamente a los estudiantes y docentes no solo del lugar de la investigación sino potencialmente a muchas otras instituciones al ofrecer evidencia práctica para personalizar el apoyo, reducir las brechas de rendimiento y promover el bienestar académico y emocional, ya que proporciona a los docentes las herramientas necesarias para crear un entorno de aprendizaje más propicio e innovador. Indirectamente, el sector educativo y los responsables políticos se beneficiarán de datos con una validez ecológica que servirán de base para el currículo, los horarios escolares y el desarrollo profesional docente, lo que permitirá mejorar las políticas y prácticas educativas.

Metodológicamente, propone y valida procedimientos rigurosos para emplear EEGi en entornos del mundo real, incluidos protocolos estandarizados para registro, preprocesamiento, descomposición espectral, conectividad funcional y extracción de mediciones en el tiempo, relacionadas con eventos de enseñanza, y este modelo metodológico constituye una contribución replicable para futuros estudios de neuroeducación que pueden reproducir el experimento o adaptar el modelo para diversas poblaciones, temas y culturas.

Tanto a nivel individual como profesional, la investigación busca cerrar la distancia existente entre la neurociencia y la educación, fomentando el diálogo interdisciplinario y el desarrollo de competencias en diseño experimental ecológico y análisis de señales cerebrales aplicado a la práctica docente. Esto puede conducir al desarrollo de métodos de enseñanza más eficaces.

En definitiva, la investigación se justifica porque genera nuevos conocimientos, con instrumentos prácticos y modelos metodológicos que, en conjunto, impulsan la mejora docente y el aprendizaje significativo en la educación secundaria, contribuyendo así significativamente al campo de la educación.

1.5. Objeto de estudio.

El objeto de estudio de esta investigación son los patrones cerebrales asociados con el aprendizaje y evocación de información en los procesos de enseñanza-aprendizaje en adolescentes de nivel secundario, cuantificados mediante electroencefalografía inalámbrica (EEGi), y su relación con las teorías y modelos de aprendizaje en el contexto de la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" en 2025.

1.6. Campo de acción.

El campo de acción no solo es la educación y la neurociencia, se proyecta al contexto social donde podremos transformar la comprensión y la eficacia de los métodos pedagógicos (Alkhasawneh. 2025). Integraremos la neurociencia, ciencia cognitiva, psicología y pedagogía para entender cómo el cerebro aprende, procesa y retiene información (Gkintoni et al.2025, Alkhasawneh, S., & Al Sharif, H. 2025).). Está ya demostrado que podemos aprender y crear nuevas conexiones cerebrales a cualquier edad, ya que nuestras experiencias de aprendizaje pueden estimular nuestras conexiones cerebrales constantemente (Zhou, 2025; Alkhasawneh, 2025).

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Diseñar un Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, para el mejoramiento de la Enseñanza, Mediante el uso de Engramas Cerebrales y su Relación con las Teorías del Aprendizaje, en Adolescentes de la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" - Ecuador- año lectivo 2025

1.7.2. Objetivos específicos.

- i. Identificar los patrones de actividad electroencefalográfica durante los procesos de aprendizaje y evocación.
- ii. Crear la estructura conceptual teórica de las principales corrientes teóricas del aprendizaje.

- iii. Establecer la relación teórica y empírica mediante constructos, entre los engramas hallados mediante EEGi y los engramas teóricos de las principales corrientes del aprendizaje.
- iv. Validar el modelo neuroeducativo holístico del aprendizaje, para la instrucción de adolescentes de secundaria en la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” en el año 2025 en Ecuador.

1.8. Hipótesis.

Los patrones de actividad cerebral durante el aprendizaje y la evocación, obtenidos mediante EEGi, y relacionados con las teorías psicológicas del aprendizaje, fundamentan el Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje que facilitará la enseñanza, mejorando el rendimiento académico de los estudiantes de secundaria del Colegio "Lev Vygotsky" de Ecuador en 2025.

1.9. Alcance Temático

1.9. Alcance temático

El alcance de la presente investigación doctoral se define a partir de una triple dimensión, teórica, metodológica y práctica, que delimitan con precisión el cuerpo de conocimientos y las acciones investigativas orientadas a reducir la distancia entre la neurociencia y la práctica pedagógica en el nivel de educación secundaria

En el plano teórico, la investigación se circunscribe al campo de la neurociencia educativa, entendida como un espacio de convergencia interdisciplinar entre la neurociencia cognitiva, la psicología del aprendizaje y la pedagogía. El estudio se centra exclusivamente en los procesos neurofisiológicos de codificación, consolidación y evocación de la memoria, así como en la dinámica de las oscilaciones cerebrales (específicamente las bandas alfa, theta y beta) asociadas al rendimiento cognitivo en adolescentes. El marco teórico delimita el análisis a las principales corrientes psicológicas y modelos del aprendizaje, desde el estructuralismo y el conductismo hasta el constructivismo y la neurociencia cognitiva contemporánea, con el fin de construir estructuras conceptuales que permitan contrastar la evidencia empírica con los

postulados educativos clásicos y modernos. Se excluyen explícitamente del alcance teórico las explicaciones de corte clínico, neuropatológico o farmacológico, manteniendo un enfoque estrictamente educativo y funcional del aprendizaje.

Desde la perspectiva metodológica, el alcance se restringe a un estudio de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental de nivel explicativo, prospectivo y transversal. La investigación se limita a una muestra poblacional de estudiantes adolescentes voluntarios, con edades comprendidas entre los 13 y 18 años, pertenecientes a la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” en Sangolquí, Ecuador, durante el año lectivo 2025. La recolección de datos neurofisiológicos se realiza mediante electroencefalografía inalámbrica (EEGi) en tiempo real y en un entorno natural de aula, lo que garantiza la validez ecológica de los hallazgos. El análisis se limita a la identificación de patrones de activación cortical (engramas funcionales) durante tareas específicas de aprendizaje y evocación, sin pretender realizar inferencias sobre otros periodos del desarrollo humano o contextos ajenos al ámbito escolar descritos. Asimismo, el estudio se rige por los estándares éticos internacionales para la investigación con seres humanos, bajo la supervisión del comité de ética institucional.

Finalmente, en el ámbito práctico, la investigación se orienta a la transferencia del conocimiento científico al aula mediante el diseño de una propuesta de transformación pedagógica. El alcance práctico se materializa en la creación de un Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, el cual vincula los resultados neurofisiológicos obtenidos con estrategias didácticas concretas para optimizar los procesos de enseñanza. Esta propuesta busca proporcionar a los docentes herramientas fundamentadas en evidencia para la gestión de la atención, la memoria y la evaluación formativa, promoviendo un aprendizaje significativo y acelerado.

El alcance práctico no pretende la implementación de políticas públicas masivas, sino la validación de un modelo operativo viable y ético que sirva como base para futuras innovaciones en la formación docente y el diseño curricular basado en el funcionamiento del cerebro adolescente.

1.10. Delimitación Espacial y Temporal.

La investigación doctoral se realizó en el colegio Lev Vygotsky de la ciudad de San Juan Bautista de Sangolquí - Pichincha - Ecuador, en los meses de julio y agosto del año lectivo 2025.

Capítulo II. Fundamentos Teóricos Referenciales

En el capítulo anterior se delimitado con precisión el problema científico, la justificación y los objetivos de una investigación traslacional que busca cerrar la distancia entre la evidencia neurofisiológica en tiempo real y la praxis pedagógica en contexto educativo. En este marco, la operacionalización de engramas mediante electroencefalografía inalámbrica, en adolescentes se plantea no solo como una estrategia metodológica, sino como un medio para dotar de sustento empírico a constructos educativos clásicos y contemporáneos. A partir de este punto de anclaje, este capítulo ofrece el andamiaje epistemológico indispensable para interpretar los hallazgos: integración genealógica y estado del arte de la neuroeducación, y sintetiza las principales teorías y modelos del aprendizaje (desde el estructuralismo hasta la neurociencia cognitiva), explicitando las rutas de convergencia entre dinámica oscilatoria cerebral (alfa/theta, beta) y procesos cognitivos (atención, memoria de trabajo, consolidación). En consecuencia, la transición hacia el presente capítulo garantiza la coherencia teórica de los constructos que, más adelante, serán cotejados con patrones neurofisiológicos registrados en aula, asegurando validez conceptual y pertinencia educativa para la interpretación de los engramas.

2.1. Estado del arte

2.1.1 Marco Histórico

La educación y la neurociencia

La historia de la neuroeducación ha tenido un desarrollo lento, y a finales de la década de 1980, el grupo de Psicofisiología y Educación de la Asociación Americana de Investigación Educativa (AERA) dio sus primeros pasos para tratar de encontrar vínculos entre la neurociencia y la educación. Se llamó la “década del cerebro” a los años 1990, luego ese grupo de investigación fue llamado “Cerebro y Educación”, dando a conocer más sobre el “Aprendizaje Basado en el Cerebro”, nació la teoría “Visual, Auditivo y Kinestésico” y la propuesta de “cerebro izquierdo/derecho”. En 2003, el grupo cambiaron otra vez de nombre y se llamaron “Cerebro, Neurociencia y Educación”, donde se intensificó el programa “Mente, Cerebro y Educación” de Kurt Fischer y la fundación de la Sociedad Internacional para este campo, por ello en la práctica, para comprender el aprendizaje, debemos observar lo que los estudiantes

experimentan in situ y cómo esta experiencia se refleja en la dinámica neuronal (Campbell, S. 2020, Amjad, A.2022, Kim, M 2025).

El Aprendizaje Basado en el Cerebro (ABC) se aplica en esta investigación por que nos encaminamos de forma íntegra al estudiante. La ciencia del aprendizaje actualmente en la actualidad increpa los paradigmas rígidos del cognitivismo y propone que nos acerquemos más a los procesos biológicos por que el cerebro predice, tiene plasticidad su comportamiento no es lineal y cambia con la educación (Campbell S. 2020; Amjad et al 2020; Kim et al 2025). La fortaleza ABC está en integrarlo en la teoría educativa, con un enfoque interdisciplinar.

La electroencefalografía y su desarrollo

Las primeras descripciones sobre la existencia de una actividad eléctrica del cerebro fueron efectuadas por el fisiólogo inglés Richard Caton en 1875, profesor de fisiología en la Escuela Real de Medicina de Liverpool. Caton también había recibido influencia de Eduard Hitzig y Gustav Theodor Fritsch quienes habían demostrado la evidencia de respuestas motoras locales luego de la estimulación eléctrica en varias áreas de cerebros de perros. En su histórica publicación sobre actividad eléctrica cerebral en el British Medical Journal en 1875, demuestra la actividad eléctrica en el cerebro de perros (Palacios, 2002).

A principios del siglo XX, Pavel Kaufmanen (1912) y Pradvich Neminski (1913) demostraron que era posible registrar la electricidad cerebral a través del cráneo, y Neminski denominó estas ondas electroencefalograma (Palacios, 2002). El padre del electroencefalograma (EEG) humano fue Hans Berger, de la Universidad de Jena quien, tras años de estudio desde 1902, el 6 de julio de 1924 registró por primera vez ondas cerebrales rítmicas en un joven de 17 años mediante trepanación descompresiva y un galvanómetro de cuerda (Palacios, 2002). Dada la larga duración de sus estudios sobre el cerebro su descubrimiento marcó un hito significativo.

Podemos entonces decir que los primeros estudios de ondas cerebrales datan de la década de 1920, cuando Hans Berger inventó el electroencefalograma, pero el enfoque en adolescentes es más reciente (Palacios, 2002). En las décadas de 1960 y 1970 comenzaron estudios sobre los cambios en la electroencefalografía inalámbrica (EEGi) durante la pubertad y adolescencia temprana, se encontraron diferencias en las ondas llamadas Alpha y las ondas llamadas Theta, al

comparar niños y adolescentes. La adolescencia es una etapa de cambios físicos, psicológicos, emocionales y sociales. Comienza con la pubertad entre los 13 y 15 años en las niñas y los 13 y 14 años en los niños. Termina alrededor de los 19 años cuando los cambios se estabilizan. Los cambios no ocurren al mismo tiempo en todos los adolescentes (Adolescencia y pubertad, 2023)”.

Uno de los primeros estudios sobre los cambios en el EEG durante la pubertad y adolescencia fue realizado en 1964 por Walter & Dovey. Compararon el EEG de niños de 9-12 años con adolescentes de 13-16 años, encontraron un incremento en la actividad beta y disminución de theta en adolescentes (Bladin, 2006). En 1964, Green también describió un descenso progresivo en actividad theta y ascenso de frecuencias más rápidas al inicio de la pubertad. Lo atribuyeron a la maduración del sistema nervioso central (Green, 1964). En 1967, Lombroso estudió cambios de EEG durante tareas mentales en niños de 9-15 años. Observó mayor desincronización alfa y actividad beta frontal en adolescentes durante tareas cognitivas (Lombroso, 1967). Otro estudio clave fue el de Matousek & Petersen en 1973. Compararon EEG en reposo de grupos entre 8-20 años. Describieron la emergencia de ritmos alfa lentos y rápidos, y su estabilización durante la adolescencia tardía (Matousek & Petersén, 1973).

El estudio de Matthis et al. de 1980 con 74 sujetos de 6-25 años. Confirman cambios en el EEG sustanciales en la pubertad (Matthis et al., 1980). En 1988 Gasser et al. analizaron miles de muestras de EEG de sujetos entre 6-17 años. Identificaron 10 grupos de edad con patrones EEG distintivos durante el desarrollo (Gasser et al 1988). A partir de 1990 la investigación se centra en estudiar EEG durante tareas cognitivas específicas, entre 1991 y el 2004, Segalowitz y Davies registraron EEG mientras adolescentes realizaban tareas de atención selectiva y memoria de trabajo. Encontraron mayor actividad theta frontal durante el esfuerzo mental en adolescentes (Segalowitz & Davies, 2004).

En la década de 2000 aumenta el uso de técnicas de neuroimagen como Resonancia magnética (MRI), junto con EEG, para entender la conectividad cerebral. También mayor investigación de posibles bases neurales de comportamientos de riesgo y toma de decisiones en adolescentes, como el estudio de Falkenstein en 2000 sobre potenciales relacionados a errores en EEG (Falkenstein et al., 2000). Olesen et al. En 2003 examinaron cambios en densidad de

materia gris con MRI y ritmos EEG durante tareas cognitivas en sujetos de 7-20 años (Olesen et al., 2003), el trabajo de Whitford et al. en 2007, con seguimiento de 2-5 años es un buen ejemplo (Whitford et al., 2007); de igual manera el trabajo de Konrad, 2013 sobre cambios en sincronización theta y beta entre regiones cerebrales durante la adolescencia (Konrad et al 2013), dieron muchas luces en este campo.

El estudio de Evans et al del 2006, es un referente (Evans, 2006). El proyecto NIH Brain Development Cooperative Study (Brain Development Cooperative Group, 2024), es la base de datos más reciente y actualizada que se utiliza como una fuente para caracterizar la maduración cerebral saludable en relación con el comportamiento. También se han realizado investigaciones sobre cómo el entorno escolar y las estrategias educativas pueden aprovechar la plasticidad cerebral en la adolescencia para optimizar el aprendizaje, por ejemplo el estudio de Krishnan et al. en 2016 (Krishnan et al., 2016).

2.1.2 Marco Actual

La neuroeducación integra aportes de la neurociencia, la psicología y la educación con el propósito de comprender cómo aprende el cerebro y, a partir de ello, optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esto exige la formación de *neuroeducadores*, profesionales capaces de interpretar evidencia científica y traducirla en prácticas pedagógicas fundamentadas. Programas internacionales como *Mind, Brain and Education* desarrollados en instituciones de alto prestigio académico por ejemplo, en la Harvard Graduate School of Education demuestran la importancia de esta formación interdisciplinaria orientada a tender puentes entre el laboratorio y el aula.

En esta misma línea, Tokuhamas-Espinosa (2008) destaca la necesidad de un diálogo permanente entre educadores y neurocientíficos para asegurar que el conocimiento derivado de la investigación se aplique de manera rigurosa y contextualizada en los entornos educativos. Asimismo, Mary Helen Immordino-Yang (2011) subraya que la neurociencia proporciona una comprensión profunda de los procesos biológicos que sustentan el aprendizaje, resaltando que aprender es un fenómeno simultáneamente cognitivo, emocional y social.

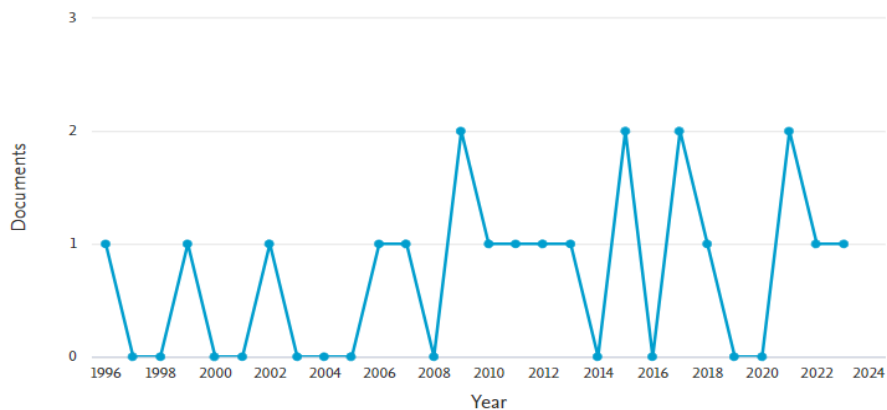
- La emoción y la cognición son inseparables, por lo tanto, esto va contra las teorías que dicotomizan mente y cuerpo.

- El aprendizaje es social y contextual, por lo que los estudiantes perciben a los profesores y compañeros a través de sus propias experiencias; el aprendizaje "académico" son procesos personales y emocionales muy íntimos.
- Equilibrar las redes para desarrollar el talento: La Red de Atención Ejecutiva (EAN) que mejora el pensamiento controlado y la memoria de trabajo, y la Red de Modo Predeterminado (DMN) que mejora la imaginación, la reflexión consciente, la construcción de significado personal, la comprensión narrativa y la empatía.

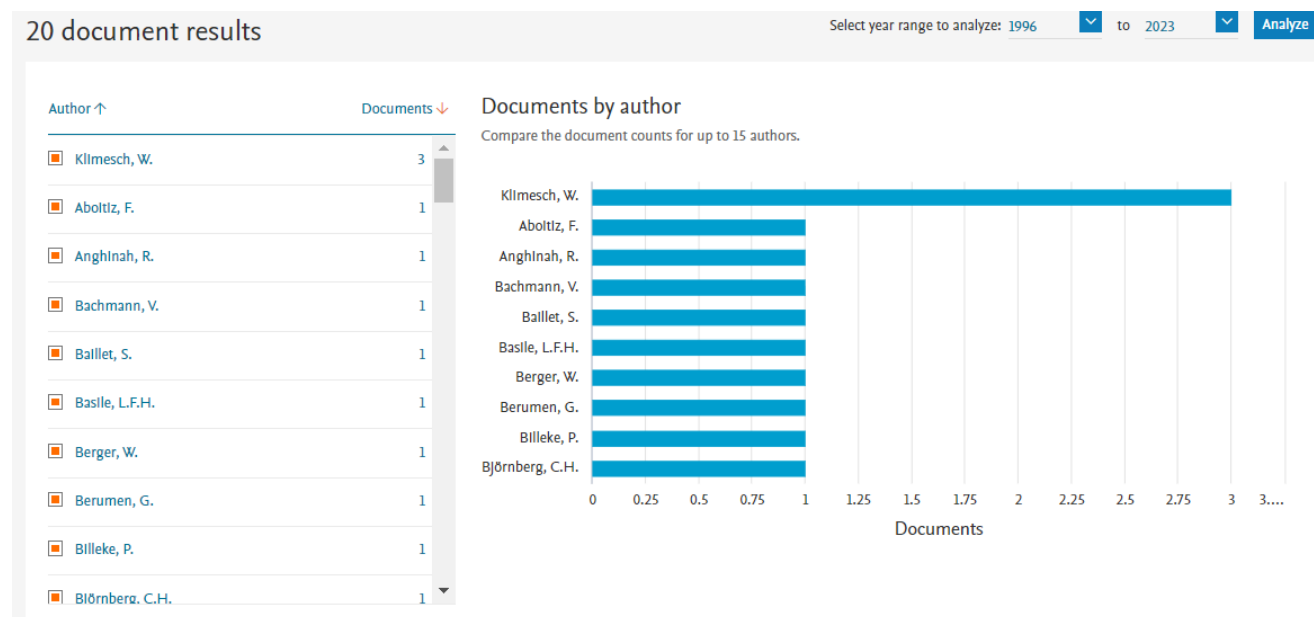
Dentro de los grandes pensadores actuales está John T. Bruer (2008), quien critica los intentos de aplicar la neurociencia directamente a la práctica docente y defiende que la ciencia cognitiva actúe como intermediaria entre la neurociencia y la educación. El autor afirma que la neurobiología del desarrollo no puede traducirse en directrices específicas para la instrucción en el aula, y argumenta que la psicología cognitiva actúa como el mejor intermediario entre la neurociencia y la educación. Aboga, igual que nosotros, por una estrategia de relación entre la investigación neurocognitiva y la educación. En esta tesis buscó contribuir a dicha integración, con una fundamentación neurocientífica; razón por la cual el objetivo incluyó crear la “Construcción de Estructuras Conceptuales de las diferentes teorías y modelos de aprendizaje planteadas desde 1879 hasta la fecha y relacionarlos con los correlatos neuronales que hallemos en los sujetos de investigación”.

2.1.1. Análisis bibliométrico para soporte del estado del arte

Para fundamentar el estado del arte con evidencia cuantitativa y detectar los patrones de producción científica en el campo, se incorporó un análisis bibliométrico que permitió examinar la evolución temática y la relevancia de los estudios publicados en las últimas décadas. Con el apoyo de herramientas informáticas para el análisis bibliométrico, tales como Scopus (2024), Bibliometrix de Massimo Aria y Corrado Cuccurullo (2024), VOSviewer de la Universidad de Leiden (2024) y Litmap (2024), software de uso privado, se efectuó una búsqueda en la base de datos Scopus empleando las palabras clave: (alpha AND theta AND oscillations AND reflect AND cognitive AND memory AND performance). Considerando el periodo comprendido entre 1996 y 2023, es decir, 27 años, se identificaron 20 artículos publicados (véanse Figuras 1 y 2).

Figura 1*Publicaciones por Año*
















Nota. Número de publicaciones anuales desde 1996 hasta 2023; se observan cuatro picos de publicación.

Figura 2*Documentos por Autor*

Nota. La figura muestra el número de documentos publicados por autor entre 1996 y 2023, con un total de 20 publicaciones de acuerdo con los criterios de búsqueda utilizados. Datos generados por el sistema analítico de Scopus 2024.

Tabla 1

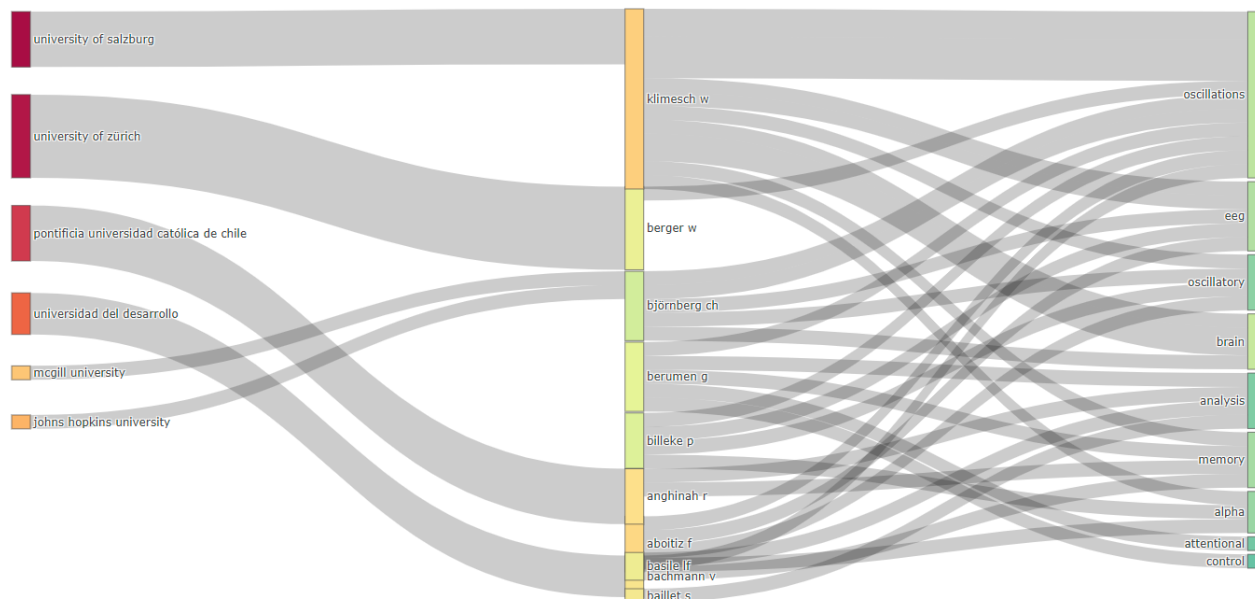
Citas por Autor

Select	Author	Year	Title	References	Citations
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	1999	EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and an...	144	5,188
<input checked="" type="checkbox"/>	 Larson	1986	Patterned stimulation at the theta frequency is optimal for the induction of hippocampal lon...	10	1,007
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	1996	Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization	136	888
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	1993	Alpha frequency, cognitive load and memory performance.	27	414
<input checked="" type="checkbox"/>	 Squire	1992	"Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans": ...	0	365
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	1997	Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic informati...	27	256
<input checked="" type="checkbox"/>	 Larson	1998	Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha po...	30	133
<input checked="" type="checkbox"/>	 Markowitsch	1985	The neuropathology of amnesia.	634	89
<input checked="" type="checkbox"/>	 Nunez	1978	The relationship of head size to alpha frequency with implications to a brain wave model	19	58
<input checked="" type="checkbox"/>	 Yordanova	1996	Developmental changes in the alpha response system	49	57
<input checked="" type="checkbox"/>	 Könönen	1993	Blocking of EEG alpha activity during visual performance in healthy adults. A quantitative st...	15	50
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	2003	EEG Theta, Memory, and Sleep	73	4
<input checked="" type="checkbox"/>	 Muñoz	2011	Componentes periféricos y centrales de la atención y las respuestas defensivas	263	2
<input checked="" type="checkbox"/>	 Klimesch	2003	Chapter 9 EEG THETA, MEMORY, AND SLEEP	67	0
<input checked="" type="checkbox"/>	 Ghosh	2021	Introduction to Brain-Inspired Memory and Learning Models	92	0

Nota. La tabla del análisis bibliométrico reveló que el artículo más influyente corresponde a Klimesch (1999), titulado "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis", publicado en Brain Research Reviews, con 5,188 citas. Este trabajo, que sirve como artículo semilla para el presente estudio, es seguido significativamente por Larson con 1,007 citas, evidenciando una notable diferencia en el impacto académico entre el primer y segundo autor más citados. Esta distribución de citas refleja la relevancia central del trabajo de Klimesch (1999) en el campo de la investigación sobre oscilaciones cerebrales y rendimiento cognitivo. obtenida a través de la base de datos Scopus (2024).

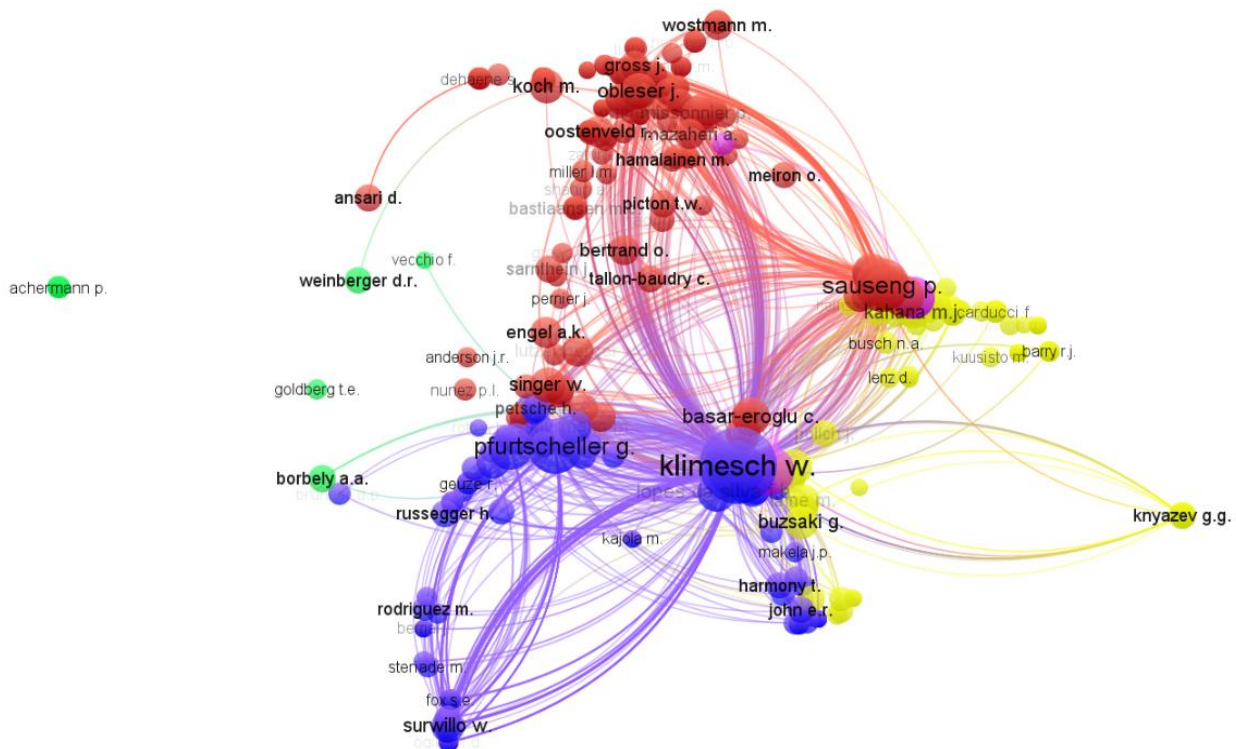
Figura 3

Diagrama de Sankey: Filiación, Autor y Palabra Clave



Nota. El diagrama relaciona la institución de filiación del autor, el nombre del autor y las palabras clave del título de la publicación. Se aprecia que el autor Klimesch (1999), que es el más citado, pertenece a la Universidad de Salzburgo. Esto sugiere que las publicaciones de Klimesch (1999), están fuertemente alineadas con los términos de búsqueda utilizados para este análisis. Generada por el autor con la herramienta Bibliometrix, 2024.

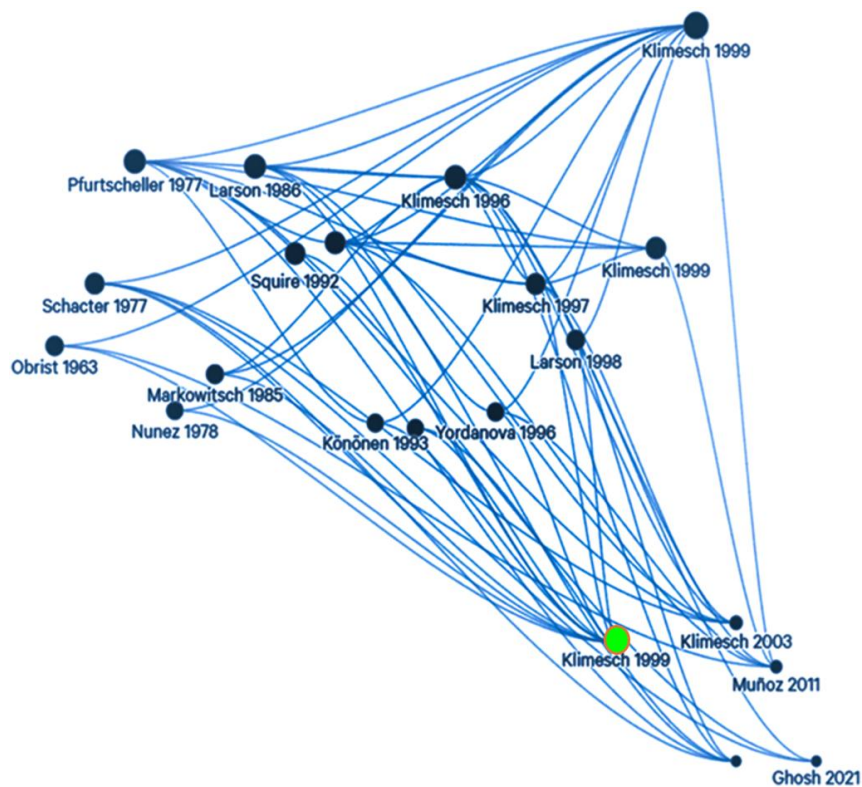
Figura 4

Clúster de Publicaciones

Nota. La figura muestra la amplia relación de Klimesch (1999), el autor más citado, con otros autores. Los clusters representan comunidades de investigación según el tema de búsqueda. Generada por el autor con la herramienta VOSviewer, 202

Figura 5

Diagrama del Artículo Semilla

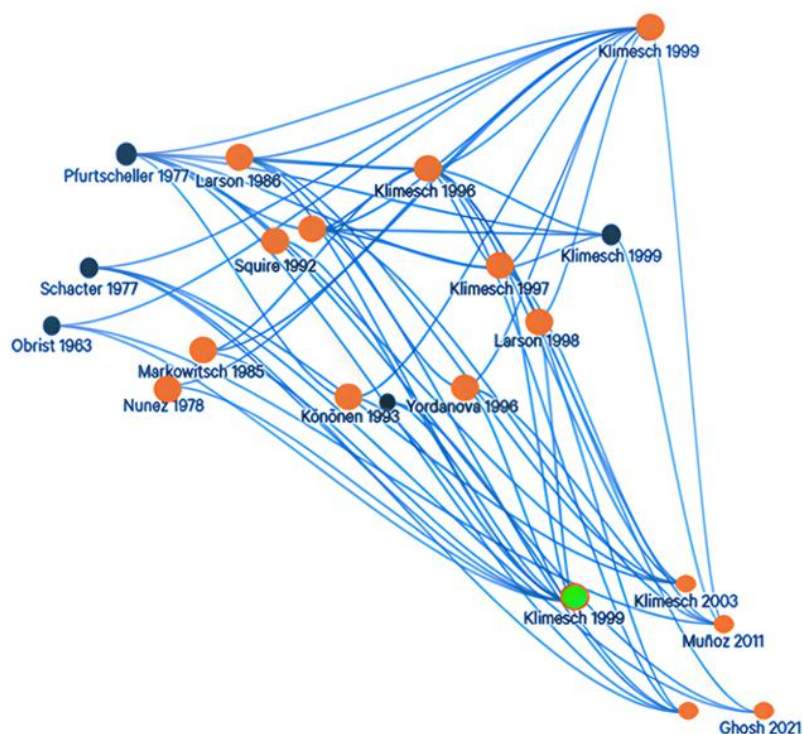


Nota. El diagrama de análisis de citación temporal, generado mediante Litmaps (Sen, 2024), muestra una red de influencia académica centrada en el trabajo de Klimesch publicado en 1999 (representado en verde en la visualización). Este artículo semilla establece conexiones significativas con publicaciones anteriores, ubicadas en la sección superior izquierda del mapa. La progresión temporal muestra una secuencia de tres publicaciones posteriores al trabajo de Klimesch 1999, una nueva publicación de Klimesch 2003, extendiéndose hasta Ghosh 2021, lo que evidencia la continuidad e influencia sostenida de esta línea de investigación en el campo.

Basándonos en el diagrama, seleccionamos los artículos más relevantes para esta tesis, los cuales aparecen en color naranja. El mapa resultante permite analizar en detalle los estudios más relevantes para esta tesis, de modo que examinaremos críticamente sus resultados, metodología y conclusiones clave. Esto será útil para nuestra propia investigación, ya que seleccionamos estos artículos por su estrecha relación con nuestra pregunta de investigación, lo que permite centrarnos en los estudios más relevantes.

Figura 6

Diagrama Pre y Post Publicación



Nota. La visualización bibliométrica destaca mediante coloración naranja los autores cuyas publicaciones se alinean directamente con la temática central de esta investigación. La distribución de estos nodos en el mapa ilustra la concentración de contribuciones académicas que conforman los antecedentes más relevantes para nuestro objeto de estudio.

El artículo semilla proporciona orientación para el uso de la bibliografía y define la metodología de revisión. La información sobre la oscilación de las ondas cerebrales presenta patrones asociados con el rendimiento cognitivo y la memoria. En particular, los estudios identifican dos eventos principales asociados con un alto rendimiento cognitivo: primero, un aumento de la actividad theta; segundo, una disminución de la actividad alfa cuando se requiere memoria a largo plazo. Esta base bibliométrica servirá para conectar los hallazgos de la neurociencia con la práctica docente. Por lo tanto, reafirmamos el propósito de este estudio: integrar el conocimiento de ambas disciplinas para aprovechar su sinergia y potenciar su impacto en contextos educativos, lo que permite avanzar con este enfoque.

2.2 Marco Teórico

Las áreas de consenso entre las teorías y los modelos de aprendizaje, y el marco teórico están estrechamente relacionados con el marco conceptual. La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1960) enfatiza la importancia de relacionar la información nueva con el conocimiento previo. Paralelamente, se ha demostrado que los estudios de engramas, en particular las bandas alfa y theta, se correlacionan con los procesos cognitivos y con la función de la memoria. Según Klimesch (1999), estas ondas facilitan la mejora de los procesos de aprendizaje y recuperación; por lo tanto, Bryce y Blown (2024) exploraron la aplicación de la teoría de Ausubel en contextos educativos contemporáneos.

Por otro lado, la teoría sociocultural de Vygotsky (1978) mantiene que el aprendizaje es un fenómeno social; así, McLeod (2023) profundizó en esta idea al explorar cómo el contexto social influye en el desarrollo cognitivo humano. Estas perspectivas, en conjunto, respaldan los hallazgos de Klimesch (1999) y demuestran la integración de la neurociencia y la educación, ya que la plasticidad sináptica, la formación y el fortalecimiento de nuevas conexiones neuronales, desempeña un papel fundamental en la codificación y recuperación de la memoria.

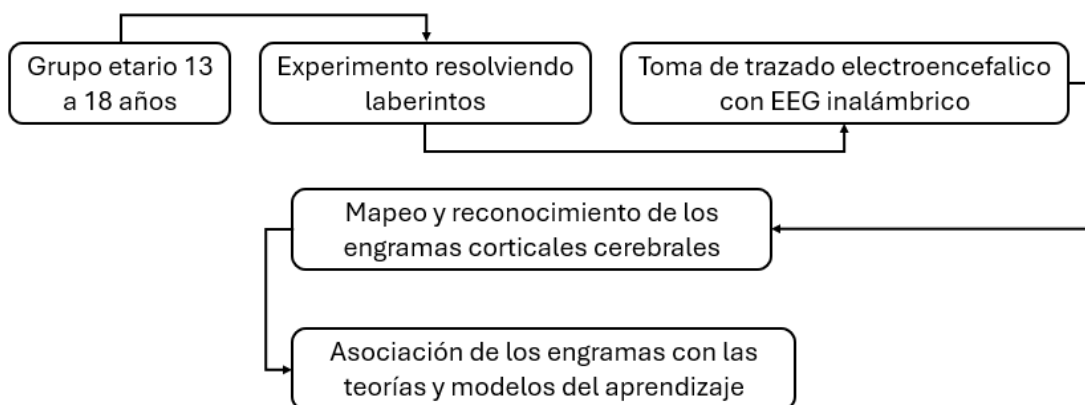
Axelrod et al. (2023) demostraron que la plasticidad sináptica es crucial para estos procesos, y que el cerebro adolescente en desarrollo, especialmente las redes frontoparietales, participa en la función ejecutiva. Konrad et al. (2013) investigaron cómo estas modificaciones influyen en el aprendizaje y la memoria durante la adolescencia, aportando así información valiosa sobre las complejas relaciones entre el desarrollo cerebral y los procesos de aprendizaje.

2.3 Marco Conceptual

El marco conceptual de esta investigación se sustenta en la integración entre la actividad neurofisiológica y los procesos cognitivos asociados al aprendizaje. Para ello, se evaluó a un grupo de 14 adolescentes de entre 13 y 18 años, todos estudiantes de educación secundaria que participaron voluntariamente en el estudio. Los participantes realizaron dos tareas cognitivas, un rompecabezas de baja dificultad y otro de mayor complejidad— mientras se registraba su actividad cerebral mediante un dispositivo portátil de electroencefalografía inalámbrica.

Figura 7

Mapa Conceptual de la Investigación



Nota. Construcción de la estructura conceptual que muestra en forma macro la línea de investigación que se ha trazado.

2.3.1. Las corrientes psicológicas del aprendizaje y la memoria

La psicología fue reconocida como ciencia desde el año 1879 cuando el psicólogo Wilhelm Wundt, crea y organiza el primer laboratorio de psicología, aceptado como centro de estudio e investigación dedicado a esta rama del conocimiento y es separada de la filosofía; por allá desde finales del siglo XIX, hasta la actualidad se han creado múltiples corrientes para tratar de dar respuesta al proceso de aprendizaje y memoria (Kim. 2024). Las teorías son las ideas abstractas y generales frente a los modelos que son menos abstractos y tienden a ser más específicos.

En vista que esta tesis tiene como objetivo “Investigar la relación entre los patrones cerebrales asociados al aprendizaje y evocación, evaluados mediante electroencefalografía inalámbrica (EEG), y las teorías y modelos de aprendizaje, lo que contribuirá y validará el Modelo de Aprendizaje de Neuroeducación Holística para la instrucción de adolescentes de secundaria en la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” en el año 2025 en Ecuador.” explicaremos brevemente cada teoría o modelo y crearemos la construcción de estructuras teóricas conceptuales de los mismos y así poder relacionarlos mediante la generación de constructos con los engramas obtenidos en tiempo real en el grupo de estudio.

Las teorías y modelos seleccionados serán objeto de un análisis crítico y sistemático, para crear estructuras teóricas conceptuales y poder compararlos con los engramas cerebrales de los adolescentes estudiados.

Tabla 2

Corrientes Teóricas del Aprendizaje

Año/Período	Corriente Psicológica	Teoría	Autor(es) Principal(es)
1879	Estructuralismo	Voluntarismo	W. Wundt
1890–1920	Funcionalismo	Teoría del Flujo de Conciencia	W. James
1890–1930,	Funcionalismo	Teoría Funcionalista del Aprendizaje	W. James, J. Dewey, H. Carr
1900–1920	Conductismo	Condicionamiento Clásico	I.Pavlov
1913–1950	Conductismo	Conductismo Metodológico	J.B. Watson
1920–1970	Conductismo	Condicionamiento Operante	B.F. Skinner

1912–1940,	Psicología de la Gestalt	Leyes de Organización Perceptual	M. Wertheimer, W.Köhler, K.Koffka
1920–1940	Psicología de la Gestalt	Teoría del Aprendizaje por Insight	W. Köhler
1920–1940,	Psicología de la Gestalt	Ley de Prägnanz	M. Wertheimer, W.Köhler, K.Koffka
1950–presente	Psicología Cognitiva	Teoría del Procesamiento de la Información	U. Neisser
1956	Psicología Cognitiva	Teoría del Número Mágico 7±2	G. Miller
1920–1980	Constructivismo	Teoría de las Etapas del Desarrollo Cognitivo	J. Piaget
1930–1980	Constructivismo	Constructivismo Social y Teoría de la Zona de Desarrollo Próximo	L. Vygotsky
1961- actual	Teoría del Aprendizaje Social	Teoría del Aprendizaje Observacional	A. Bandura
1963-Actual	Constructivismo	Teoría del aprendizaje significativo	D. Ausubel
1980-Actual	Neurociencia Cognitiva	Teoría de la Consolidación de la Memoria	L.Nadel, M. Moscovitch
1983 - Actual	Neurociencia Cognitiva	Teoría de la inteligencias múltiples	H. Garner
2000- Actual	Neurociencia Cognitiva	Teoría de la Neuroplasticidad	E. Kandel, J. McGaugh
2020-Actual	Neurociencia Cognitiva	Teoría de las ondas cerebrales	Galinsky, V. L., & Frank, L. R.

Nota. Se muestran las teorías del aprendizaje en orden cronológico.

Tabla 3

Modelos del Aprendizaje

Año/Período	Corriente Psicológica	Modelo	Autor(es) Principal(es)
1879 –1920,	Estructuralismo,	Introspección Experimental	W.Wundt, E.B. Titchener
1890	Funcionalismo	Modelo de Memoria Primaria y Secundaria	W. James
1912	Constructivismo y psicología	Modelo humanista con base científica	María Montessori
1968	Psicología Cognitiva	Modelo Multialmacén de la Memoria	R. Atkinson, R. Shiffrin
1974	Psicología Cognitiva	Modelo de Memoria de Trabajo	A. Baddeley, G. Hitch
1980 - Actual	Neurociencia Cognitiva	Modelo de Memoria Declarativa y Procedimental	L. Squire
1990 - Actual	Neurociencia Cognitiva	Modelo de Potenciación a Largo Plazo (LTP)	Rumelhart, Hinton y Williams
1996 - Actual	Neurociencia Cognitiva	Modelo de procesamiento de información	D. Tsveter

Nota. Se muestran los modelos del aprendizaje en orden cronológico.

2.3.2. Evolución de las teorías del aprendizaje y la neuroeducación

En este apartado se presenta el análisis de los principales paradigmas del aprendizaje desde el siglo XIX hasta la actualidad y su convergencia con la evidencia neurocientífica moderna. Las teorías del aprendizaje conductual y asociativo constituyen pilares fundamentales en la comprensión de los procesos de adquisición del

conocimiento. Autores como Edward Thorndike (2017), Iván Pavlov (2009), B. F. Skinner (1984) y Donald Hebb (1949) realizaron aportes decisivos que sentaron las bases para el estudio sistemático del aprendizaje desde una perspectiva experimental y neurobiológica.

El aprendizaje se entiende como un proceso mediante el cual se producen modificaciones conductuales a partir de la experiencia, especialmente a través de la asociación entre estímulos y respuestas. Este principio constituye un eje esencial para explicar los mecanismos subyacentes a la adaptación y la adquisición de nuevas conductas.

La Ley del efecto propuesta por Thorndike establece que las acciones seguidas de consecuencias satisfactorias tienden a repetirse, mientras que aquellas asociadas a resultados negativos se debilitan. Este principio subraya la importancia del refuerzo y las consecuencias en la formación de hábitos y comportamientos. El condicionamiento clásico, descrito por Pavlov, demostró que un estímulo inicialmente neutro puede provocar una respuesta condicionada tras su emparejamiento repetido con un estímulo incondicionado. Este proceso constituye un mecanismo clave del aprendizaje asociativo, al evidenciar cómo las conexiones entre estímulos se consolidan a través de la experiencia.

Por su parte, el condicionamiento operante desarrollado por Skinner mostró que la frecuencia de una conducta depende del tipo de refuerzo o castigo aplicado. De esta forma, el aprendizaje se concibe como un proceso de ajuste adaptativo basado en la retroalimentación del entorno.

En el ámbito neurobiológico, Hebb (1949, p. 62) propuso que “las neuronas que se activan juntas se conectan entre sí”, postulando que la activación repetida de grupos neuronales fortalece sus conexiones sinápticas. Este principio hebbiano establece la base fisiológica del aprendizaje y la memoria, al explicar cómo la repetición de patrones de actividad neuronal consolida la información.

Los engramas neuronales representan dichos patrones de conectividad y activación que codifican los recuerdos, actuando como la huella física del aprendizaje y

el almacenamiento de la memoria. Su estudio permite vincular directamente la actividad neuronal con los procesos cognitivos.

Desde la perspectiva electrofisiológica, se ha observado que las ondas beta (13–30 Hz) se asocian con el control motor, la inhibición y la estabilización de la respuesta, mientras que las ondas theta (4–8 Hz) se relacionan con la comunicación fronto-hipocampal, la atención y la codificación secuencial durante el aprendizaje. Estas oscilaciones reflejan los mecanismos dinámicos mediante los cuales el cerebro organiza y actualiza la información. En conjunto, la interacción entre actividad oscilatoria y aprendizaje muestra que el incremento de la potencia theta puede indicar procesos de monitorización del error y actualización de reglas, mientras que la modulación beta refleja transiciones entre exploración y explotación, así como la estabilización de estrategias de respuesta. Todo ello evidencia la naturaleza dinámica, adaptativa y neuronalmente integrada del aprendizaje humano.

2.3.2.1. Modelos cognitivos y de procesamiento de la información

Diversos autores han contribuido significativamente a la comprensión de los procesos cognitivos y de memoria relacionados con el aprendizaje. Jean Piaget, mediante su *Teoría del desarrollo cognitivo*, distingue entre desarrollo y aprendizaje, señalando que el conocimiento se construye a partir de estructuras mentales que evolucionan por medio de los procesos de asimilación y acomodación.

En el ámbito de la memoria, los modelos propuestos por Atkinson y Shiffrin (1965), y posteriormente ampliados por Tulving (1987) y Tvetter (1996), permiten comprender y explicar la organización jerárquica y funcional de los sistemas de memoria, incluyendo los componentes sensoriales, de trabajo y de largo plazo, los cuales pueden integrarse con los patrones de actividad cortical registrados mediante electroencefalografía (EEG).

Los hallazgos neurofisiológicos de Klimesch (1999) demuestran que las oscilaciones alfa y theta están estrechamente vinculadas con el procesamiento cognitivo, la memoria y el rendimiento mental, proporcionando evidencia empírica de la relación

entre la dinámica neuronal y las funciones cognitivas superiores. En el caso de los adolescentes, el fortalecimiento de las redes fronto-parietales se asocia con los procesos de maduración cognitiva, reflejando una mayor eficiencia en la integración funcional del cerebro durante el aprendizaje y la evocación de la información.

Dimensión social y cultural del aprendizaje

La teoría sociocultural de Vygotsky (1920 a 1930), sostiene que el aprendizaje se origina en la interacción social y cultural, dentro de lo que denominó Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). En este espacio, el individuo progresa desde lo que puede realizar de manera independiente hacia lo que puede lograr con la guía o colaboración de un experto (MKO, *More Knowledgeable Other*).

Entre los conceptos centrales de esta teoría destacan la mediación, el andamiaje y la internalización, procesos a través de los cuales el conocimiento compartido en el plano social se transforma en conocimiento individual. El lenguaje y la cooperación funcionan como herramientas culturales esenciales que facilitan la construcción activa del conocimiento y el desarrollo de las funciones mentales superiores.

Desde la perspectiva de la neurociencia, las interacciones sociales activan redes fronto-temporales y parietales asociadas con la comunicación, la empatía y la regulación emocional. Estas redes conforman los llamados “engramas sociales del aprendizaje”, los cuales integran la dimensión neurobiológica y sociocultural del proceso educativo, evidenciando cómo la interacción humana modela la actividad cerebral y promueve el desarrollo cognitivo.

Constructivismo y aprendizaje significativo

La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1963) sostiene que aprender implica establecer relaciones sustantivas entre los nuevos conocimientos y las estructuras cognitivas previamente existentes en la mente del estudiante. Para que este proceso ocurra, deben cumplirse dos condiciones esenciales: la disposición del aprendiz a aprender de manera significativa y la naturaleza potencialmente significativa del

material, es decir, su capacidad para integrarse de forma lógica y no arbitraria con el conocimiento previo.

Entre sus principios fundamentales destacan la diferenciación progresiva, que orienta el aprendizaje desde conceptos generales hacia los más específicos, y la integración reconciliadora, mediante la cual se reorganizan y armonizan los nuevos contenidos con los ya adquiridos.

Desde la neurociencia, la evidencia empírica muestra que la consolidación de redes neuronales durante los procesos de comprensión profunda respalda la relación entre el aprendizaje significativo y la plasticidad sináptica, confirmando que la adquisición de nuevos conocimientos modificar estructuralmente las conexiones cerebrales y fortalece la memoria a largo plazo (Squire, L. R. 2009; Immordino-Yang, MH 2011).

Plasticidad cerebral y aprendizaje basado en el cerebro

La plasticidad neuronal constituye el principio fundamental que explica la capacidad del cerebro para reorganizar sus conexiones sinápticas en respuesta a la experiencia, el aprendizaje y el entorno. Este fenómeno representa la base fisiológica de la adaptación cognitiva y del desarrollo de nuevas habilidades.

Los fundamentos del aprendizaje basado en el cerebro se sustentan en la interacción entre neuroplasticidad, emoción, ambiente y experiencia, factores que, en conjunto, determinan la eficacia de los procesos de adquisición y retención del conocimiento. Según el modelo de plasticidad dependiente del tiempo de disparo neuronal (spike-timing dependent plasticity, STDP), las sinapsis se fortalecen o debilitan en función del orden y la frecuencia de la activación neuronal, consolidando las rutas más eficientes para la transmisión de información.

La evidencia experimental reciente demuestra que los procesos de aprendizaje generan engramas duraderos, cuya actividad puede detectarse y analizarse mediante electroencefalografía (EEG) en tiempo real, proporcionando un correlato empírico entre la actividad neuronal y la consolidación del aprendizaje (Klimesch, W. 1999; Immordino-Yang, MH. 2011).

Inteligencias múltiples y diversidad cognitiva

La teoría de las inteligencias múltiples, propuesta por Howard Gardner (1983), sostiene que el aprendizaje se sustenta en diversas formas de inteligencia: lingüística, lógico-matemática, espacial, musical, corporal-cinestésica, interpersonal, intrapersonal y naturalista. Cada una de ellas involucra la activación diferencial de redes cerebrales específicas —como las regiones parietales, frontales y límbicas—, lo que demuestra la heterogeneidad funcional del cerebro humano. Esta perspectiva favorece una enseñanza personalizada, al reconocer que los estudiantes aprenden de manera distinta según su perfil cognitivo y las áreas corticales predominantes que intervienen en el procesamiento de la información (Broda, MB. 2009).

En el marco de la neuroeducación, los mapas de conectividad obtenidos mediante electroencefalografía (EEG) evidencian cómo los diferentes estilos de aprendizaje se asocian con patrones característicos de dominancia cortical, reforzando el principio de que la diversidad cognitiva tiene una base neurofisiológica observable.

Modelos contemporáneos y teorías emergentes del aprendizaje

El modelo conexionista de aprendizaje y conocimiento fue introducido por primera vez por Rumelhart, Hinton y Williams (1986). Su modelo reemplaza los modelos rígidos y lineales previos por un modelo de red neuronal que ajusta sus ponderaciones mediante la retropropagación de errores. El aprendizaje se entiende como un proceso continuo de remodelación de una red de conexiones distribuidas y ha servido de base para la mayoría de las teorías contemporáneas del aprendizaje, tanto en la psicología cognitiva como en la inteligencia artificial. Por lo tanto, es parte integral de los modelos actuales, ya que proporciona una base para comprender los complejos procesos involucrados en el aprendizaje. Heald et al. (2021) introducen además la teoría del aprendizaje contextual, basada en el modelo conexionista, y afirman que el aprendizaje no debe divorciarse de su contexto.

La misma representación puede activarse, modificarse o reinterpretar de forma diferente según la forma y el lugar en que se codifique y recupere, lo que destaca la importancia del contexto en el aprendizaje. Esto implica que el aprendizaje depende del contexto, la cultura y el tiempo, lo que encaja con las teorías recientes que intentan modelar la complejidad del aprendizaje en la vida real, y el trabajo de Watson et al. (2024) y Dorst et al. (2024) sobre engramas dinámicos aporta una importante perspectiva neurobiológica. Su argumento central es que las huellas de memoria y el aprendizaje no son entidades fijas, sino patrones dinámicos de neuronas y conexiones que evolucionan con nuevos contextos de aprendizaje y recuperación, por lo que esto se alinea con la visión de la plasticidad continua y las representaciones distribuidas y adaptables.

Esta visión resuena con el conexionismo y el aprendizaje contextual, porque enfatiza la naturaleza dinámica y adaptativa del aprendizaje, y estos trabajos se han convertido en hitos para los modelos de aprendizaje contemporáneos y futuros. Estos trabajos se han convertido en hitos para los modelos de aprendizaje contemporáneos y futuros porque redefinen el aprendizaje, conectan los niveles computacionales, psicológicos y neurobiológicos, y convergen en el aprendizaje como un fenómeno plástico, distribuido y dependiente del contexto; por lo tanto, véase Rumelhart, Hinton y Williams (1986), Heald et al. (2021), Watson et al. (2024) y Dorst et al. (2024) sigue siendo totalmente aplicable en el contexto de las metodologías de aprendizaje contemporáneas y en desarrollo.

El aprendizaje se entiende como ajuste adaptativo de redes neuronales mediante retroalimentación (*backpropagation*).

- El aprendizaje contextual articula la interacción entre experiencia, recompensa y entorno, influyendo en la memoria y la evocación.
- Los estudios actuales en hipocampo humano (Watson et al., 2024) demuestran la existencia de engramas dinámicos que cambian según el contexto.
- Estos modelos consolidan la integración entre teoría cognitiva, plasticidad neuronal y medición empírica mediante EEG.

En síntesis, la revisión de las principales teorías del aprendizaje, desde los enfoques conductuales y cognitivos hasta las perspectivas constructivistas, socioculturales y neurocientíficas contemporáneas, permite comprender que el aprendizaje humano es un proceso dinámico sustentado tanto en la interacción social y cultural como en la plasticidad cerebral. Estas corrientes, lejos de excluirse, convergen en la neuroeducación como un campo integrador que unifica los aportes psicológicos y biológicos en una visión holística del aprendizaje.

En el contexto de este estudio, dicha articulación se materializa en la observación empírica de los engramas neuronales mediante electroencefalografía, evidenciando cómo los procesos de codificación, evocación y retroalimentación se corresponden con los principios teóricos de Thorndike, Piaget, Vygotsky, Ausubel y Gardner. Así, la neuroeducación se consolida como el puente entre la teoría del aprendizaje y la práctica docente basada en evidencia, fundamento esencial del modelo neuroeducativo propuesto en esta investigación.

La comprensión de esta evolución teórica permite reconocer que cada paradigma del aprendizaje ha aportado una visión complementaria sobre cómo las personas adquieren, procesan y aplican el conocimiento. Estas perspectivas, surgidas desde la psicología experimental y enriquecidas posteriormente por la neurociencia, constituyen los cimientos del pensamiento educativo contemporáneo.

A partir de ellas, es posible identificar las principales corrientes psicológicas del aprendizaje, las cuales explican los mecanismos cognitivos, conductuales, sociales y emocionales que intervienen en la formación de los engramas y en la consolidación de la memoria. Analizar dichas corrientes resulta fundamental para comprender cómo la neuroeducación integra sus principios en un modelo de enseñanza-aprendizaje sustentado en evidencia empírica y orientado a la transformación educativa.

2.3.2.2. Las diferentes corrientes psicológicas del aprendizaje

El estudio del aprendizaje ha dado origen a diversas corrientes psicológicas que, desde distintos marcos epistemológicos, han intentado explicar los procesos mediante los cuales el ser humano adquiere, transforma y aplica el conocimiento. Estas corrientes —conductual, cognitiva, constructivista, sociocultural, humanista y más recientemente la neurocientífica— representan etapas sucesivas en la comprensión del aprendizaje, pero también enfoques complementarios que convergen en la explicación integral de la mente y la conducta. Cada una aporta principios, métodos y conceptos que han influido de manera decisiva en la práctica educativa, y su revisión permite establecer las bases teóricas que sustentan la neuroeducación como síntesis contemporánea entre psicología, pedagogía y neurociencia. En este contexto, las corrientes psicológicas no solo explican el “cómo” se aprende, sino también el “por qué” y el “para qué”, ofreciendo un marco interpretativo esencial para el desarrollo del modelo neuroeducativo holístico propuesto en esta investigación. A continuación se examinan las teorías y los modelos y se describen sus estructuras y engramas teóricos, lo cual permitirá encontrar cómo se conectan los patrones de ondas cerebrales y los engramas con nuestros sujetos de estudio.

2.3.3. Corriente del Estructuralismo

Según Klempe 2025, el estructuralismo es una teoría del aprendizaje en psicología que se originó a finales del siglo XIX y principios del XX. Sus proponentes, Wilhelm Wundt (1874) y Edward B. Titchener (1929), intentaron describir la estructura de la mente humana identificando y clasificando sus elementos constitutivos; en este sentido, el estructuralismo guarda similitudes con la química.

La introspección controlada fue la metodología de investigación empleada, en la que se solicitaba a los participantes que describieran con veracidad sus experiencias conscientes inmediatas en respuesta a estímulos estandarizados. Su objetivo era analizar la experiencia en "elementos" o "átomos" de la conciencia, como sensaciones, imágenes

y sentimientos, y luego determinar cómo se combinan estos elementos según las leyes de asociación. Por lo tanto, el aprendizaje se concebía como la formación y reorganización de asociaciones entre los constituyentes elementales de la experiencia consciente. El énfasis se centraba menos en la conducta observable y más en la organización interna de la experiencia mental y sus combinaciones, ya que se asumía que el conocimiento de la organización de la mente proporciona información sobre cómo se adquiere y organiza el nuevo contenido.

El estructuralismo contribuyó al establecimiento de métodos científicos en psicología mediante el uso de procedimientos de laboratorio. Sin embargo, su dependencia de la introspección, la variabilidad de los informes subjetivos y la incapacidad para examinar los procesos o comportamientos inconscientes condujeron a su declive y a su reemplazo por el funcionalismo y, posteriormente, por el conductismo.

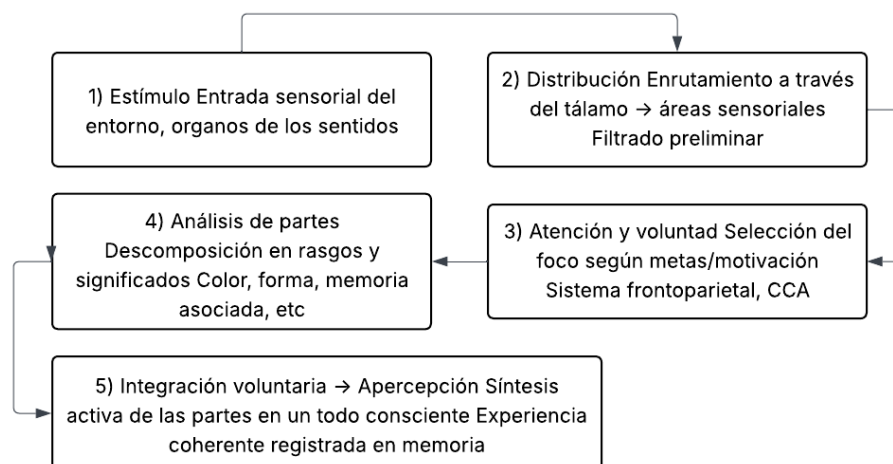
Si bien ya no se utiliza como explicación principal, el enfoque estructuralista de descomposición analítica de la experiencia influyó en teorías posteriores que modelan las representaciones internas y los procesos cognitivos. Por lo tanto, las perspectivas contemporáneas consideran su legado en el interés por la estructura de la información mental, y las metodologías actuales emplean medidas conductuales y neurofisiológicas objetivas (Kuzu, 2025)

A. La Teoría del Voluntarismo de Wilhelm Wundt

Asthana (2015) menciona el trabajo de Wundt de 1874 enfatizando la introducción de la psicología en el laboratorio y el estudio científico de los sentimientos y pensamientos mediante una autorreflexión entrenada y controlada, con la finalidad de comprender los mecanismos subyacentes de la mente. No creía que nuestra mente fuera pasiva; por lo tanto, creía en el voluntarismo, es decir, que la atención y la voluntad organizan activamente estas partes en experiencias completas, a las que denominó “apercepción” En otras palabras, su enfoque combina el análisis de las partes con una mente activa y dinámica que las integra, creando así una comprensión holística de la experiencia humana.

Figura 8

Estructura Conceptual del Voluntarismo de Wilhelm Wundt



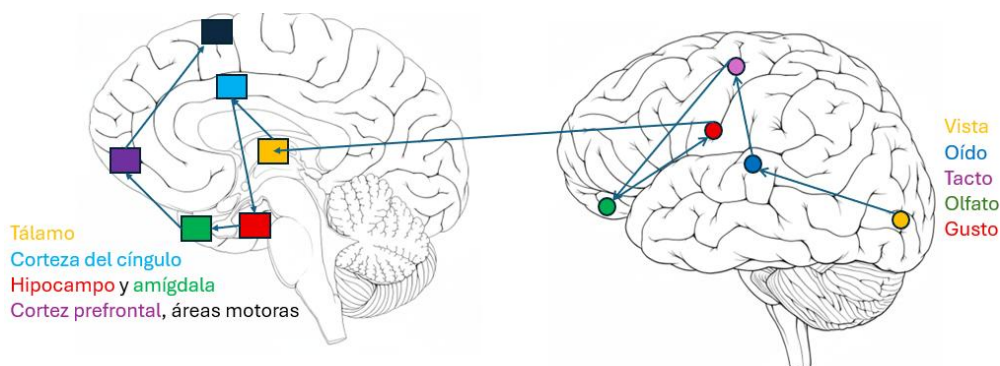
Nota. Estructura conceptual teórica del Voluntarismo de Wilhelm Wundt.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Vista, oído, tacto, olfato y gusto
2. Tálamo
3. Corteza del cíngulo
4. Hipocampo y amígdala
5. Córtex prefrontal, áreas motoras

Figura 9

Engrama Teórico del Voluntarismo de Wilhelm Wundt



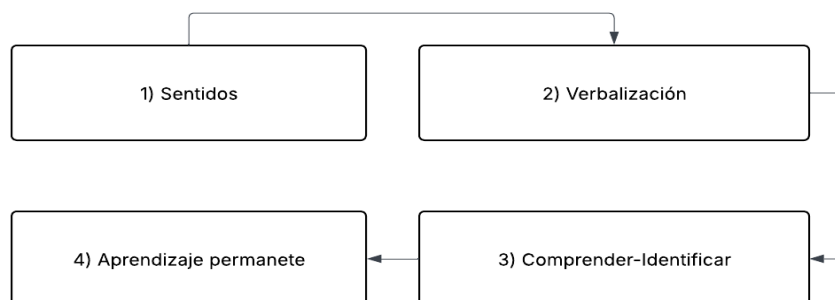
Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Wilhelm Wundt [se lee de derecha a izquierda].

B. El Modelo de Introspección Experimental Wilhelm Wundt y Edward Titchener

En 1879, tanto Wundt como Titchener emplearon la introspección experimental; sin embargo, difieren en su filosofía e interpretación de la experiencia. La introspección experimental es un proceso que implica prestar atención a la propia experiencia consciente durante la presentación de un estímulo. El método en sí mismo es una autoobservación altamente entrenada y estandarizada, y se aplica a experiencias inmediatas a partir de estímulos controlados, con reglas estrictas para describir las sensaciones sin nombrarlas, y un análisis comparativo para identificar las "partes" de la vida consciente, proporcionando así una comprensión detallada de la experiencia consciente (Klempe.2025).

Figura 10

Engrama Teórico del Voluntarismo de Wilhelm Wundt



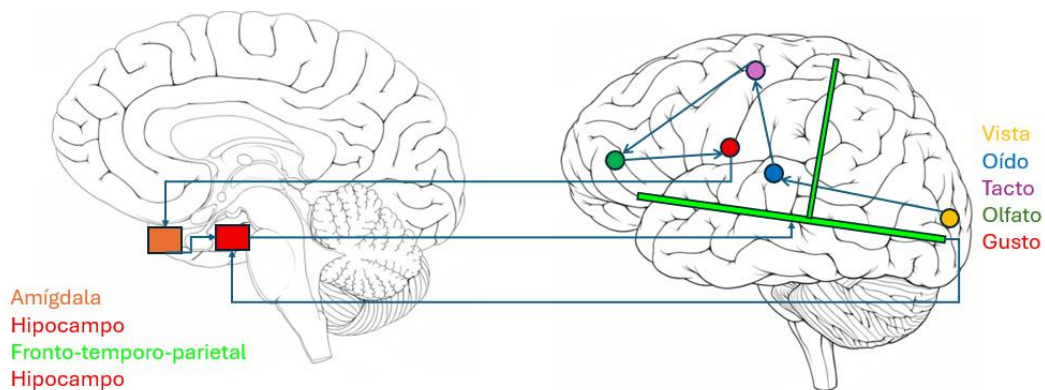
Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo de Introspección Experimental Wilhelm Wundt y Edward Titchener.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala - Hipocampo
3. Fronto-temporo-parietal
4. Hipocampo

Figura 11

Engrama de la Teoría de W. Wundt y E. Titchener



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del modelo de W. Wundt y E. Titchener [se lee de derecha a izquierda].

2.3.4. Corriente del Funcionalismo:

El funcionalismo psicológico es una escuela surgida a fines del siglo XIX en Estados Unidos que, frente al estructuralismo, centra su interés en las funciones adaptativas de la mente y la conducta: entiende la conciencia como un flujo permanente orientado a resolver problemas y a mediar entre el organismo y su entorno, valorando procesos como la formación de hábitos, la motivación y el aprendizaje por su utilidad práctica. También introduce técnicas adicionales como la observación sistemática, la medición, la experimentación y la comparación de individuos, y aboga por su aplicación en la educación, el empleo y la medicina. Entre sus figuras destacan William James (1890), John Dewey (1896) y James R. Angell (1906), cuyas ideas consolidaron una psicología centrada en la adaptación y prepararon el terreno para desarrollos posteriores como el conductismo y la psicología aplicada. Aunque se le critica cierto eclecticismo, y la ausencia de un programa experimental estrictamente delimitado, su legado perdura al tratar la visión operativa y contextualizada de los procesos psicológicos (Kumo 2025).

A. La Teoría Funcionalista de William James

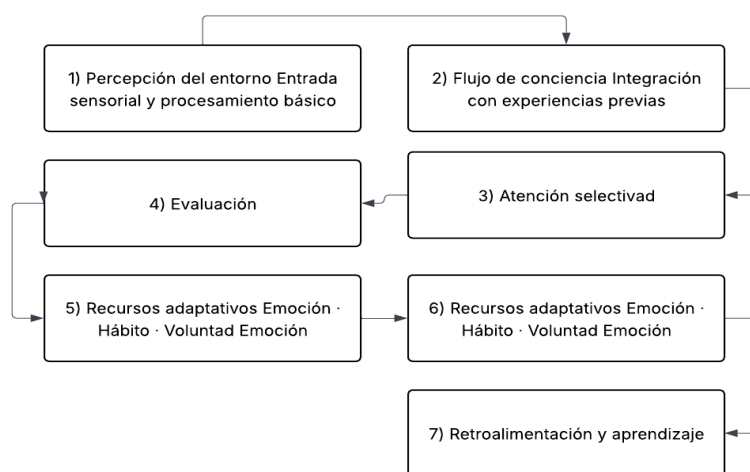
El funcionalismo fue desarrollado por William James 1890, promovió el desarrollo de esta corriente de pensamiento. Cuestionó la existencia de la mente, en lugar de su composición, ya que este era un aspecto clave de su enfoque funcionalista determinado por la premisa de que la mente se utiliza para adaptarse al mundo, lo que permite interactuar eficazmente con nuestro entorno. Para James, el pensamiento no es una cosa, sino un flujo de conciencia, por lo tanto, es un proceso dinámico y en constante cambio.

Es un flujo de pensamientos fluido y personal, que refleja las experiencias y perspectivas individuales. Seleccionamos lo relevante en función del propósito, y la atención y el hábito son los que conectan nuestras experiencias. En este sentido, las emociones, hábitos y voluntad permitían adaptarnos para responder a situaciones

cambiantes. W. James (1890), Prefería enfoques abiertos y pragmáticos, por lo que combinaba la introspección, la observación y la comparación, lo que permitía una comprensión más completa. Evaluó las ideas basándose en su aplicación práctica, y este enfoque fue un aspecto clave de su filosofía funcionalista (Goodman, 2024).

Figura 12

Estructura de La Teoría Funcionalista de William James



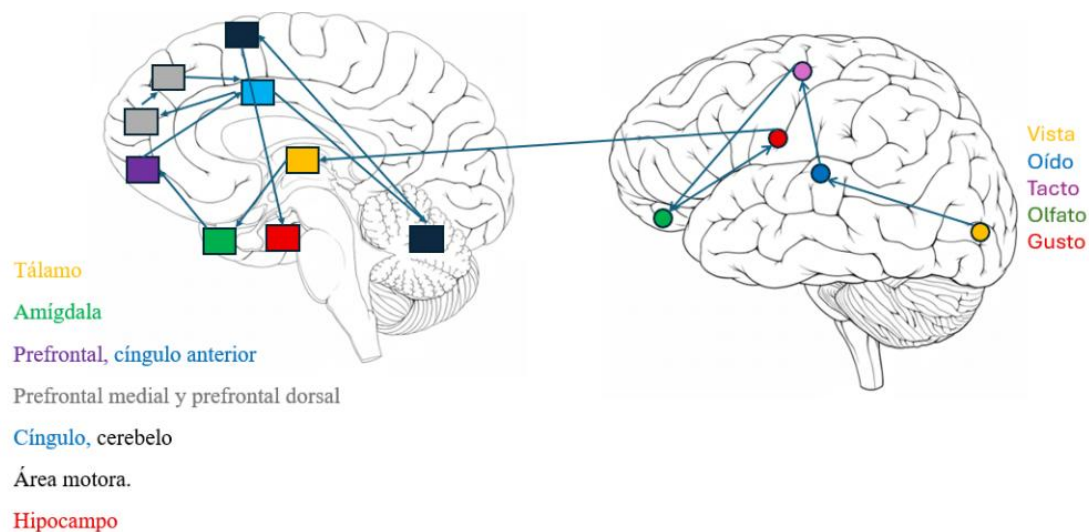
Nota. Estructura conceptual teórica de la propuesta funcionalista de William James.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Vista, oído, tacto, olfato, gusto, tálamo
2. amígdala
3. Prefrontal, cíngulo anterior
4. Prefrontal medial y prefrontal dorsal
5. Cíngulo, cerebelo
6. Área motora.
7. Hipocampo

Figura 13

Engrama de la Teoría Funcionalista de William James



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de William James [se lee de derecha a izquierda].

B. La Teoría del funcionalismo del Aprendizaje de William James, John Dewey y Harvey A. Carr

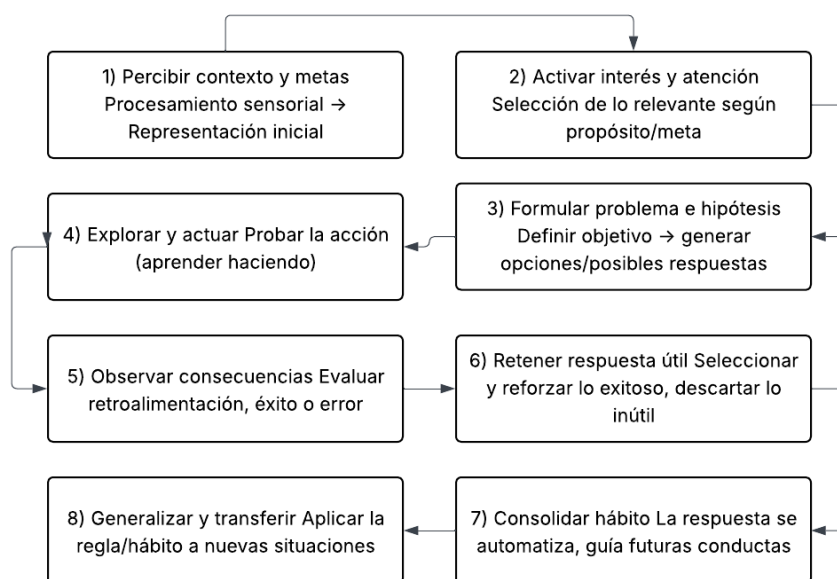
Para Zechuan (2024) “La psicología funcional se refiere a una escuela psicológica originada en Estados Unidos a finales del siglo XIX y principios del XX. Sostiene que la psicología debe centrarse en la función de la conciencia, más que en su contenido. Influenciada por la teoría de la evolución de Charles R. Darwin y el pragmatismo de William James, la psicología funcional defiende que el objeto de la psicología es la actividad mental adaptativa y enfatiza que la actividad consciente desempeña un importante papel mediador entre las necesidades humanas y el entorno. La psicología funcional se opone a la psicología estructural” (p.554-555).

El funcionalismo, como teoría del aprendizaje, resalta la función adaptativa de los procesos mentales y conductuales, enfatizando cómo el individuo responde y se

ajusta a su entorno. Desde esta perspectiva, aprender implica una interacción constante entre la mente, el comportamiento y el contexto ambiental, orientada siempre a la resolución eficaz de problemas. Entre los principales representantes de esta corriente se encuentran William James (1890), John Dewey (1896) y Harvey A. Carr (1925), quienes coincidían en que la mente y la conducta son interdependientes y que la adaptación constituye un principio esencial del aprendizaje. James (2024) sostenía que la mente es activa y orientada hacia un propósito, capaz de formar hábitos útiles y ejercer una atención selectiva que favorece la adaptación. Dewey (1896) afirmaba que aprendemos haciendo, que el conocimiento se construye a partir de la interacción con el entorno y que el pensamiento surge durante la investigación y resolución de problemas, razón por la cual la escuela debía estructurarse en torno a la experiencia práctica. Por su parte, Carr consideraba que el aprendizaje es una aplicación de la psicología funcionalista, en la que el individuo selecciona y retiene las respuestas exitosas, consolidando hábitos que facilitan la resolución de problemas.

Figura 14

Estructura de la Teoría del Funcionalismo de W. James et al



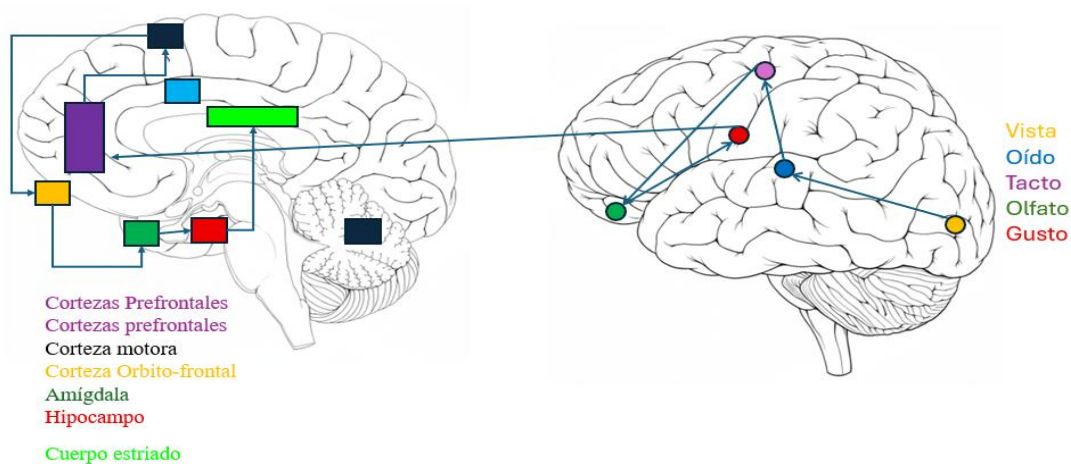
Nota. Estructura conceptual teórica del funcionalismo de W. James et al.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Cortezas Prefrontales
3. Cortezas prefrontales
4. Corteza motora
5. Corteza Orbito-frontal
6. Amígdala
7. Hipocampo
8. Cuerpo estriada

Figura 15

Engrama de la Teoría del Funcionalismo de W. James et al



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de William James et al. [se lee de derecha a izquierda].

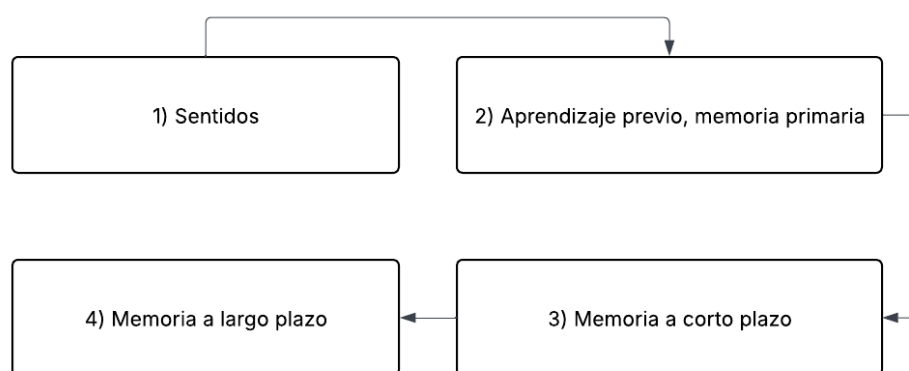
B. El Modelo de Memoria Primaria y Memoria Secundaria de William James

William James (1890) dijo que no todos los recuerdos son iguales y, según él, existe la memoria primaria. Es lo que piensas ahora mismo y lo que retienes en tu mente

durante unos segundos. Ayuda a terminar una frase y a mantener un número en la mente mientras lo marcas, lo que ayuda a terminar un pensamiento. Esta memoria es muy corta, por lo que se pierde rápidamente si no se reutiliza, por eso debemos poner en práctica lo aprendido. La otra memoria es secundaria, porque es un gran almacén de cosas del pasado. Esta memoria debe ser evocada en la mente para ser utilizada; por lo tanto, esta división entre lo que se retiene y lo que se almacena fue el origen de la distinción moderna entre memoria a corto plazo y memoria a largo plazo (Klein, 2025).

Figura 16

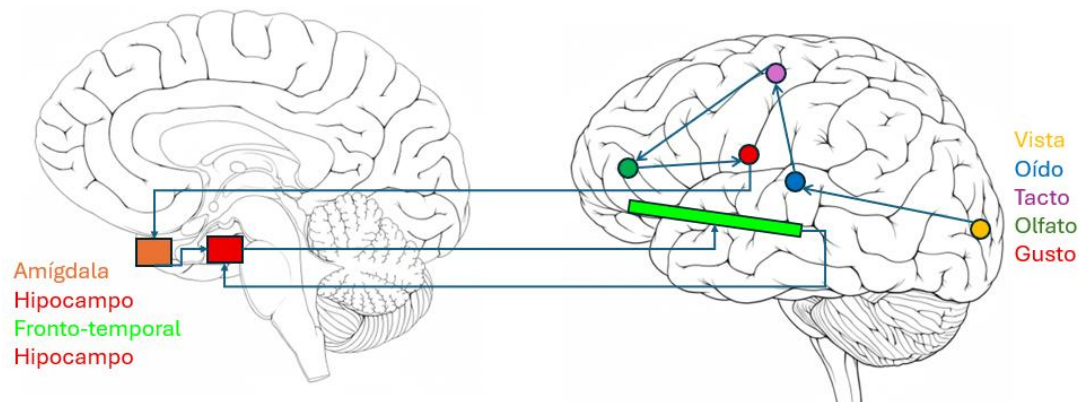
Estructura de la teoría de W. James



Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo de Memoria Primaria y Memoria Secundaria de William James.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala - Hipocampo
3. Fronto-temporal
4. Hipocampo

Figura 17*Engrama del Modelo de William James*

Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del Modelo de Memoria Primaria y Memoria Secundaria de William James [se lee de derecha a izquierda].

2.3.5. Corriente del Conductismo

El conductismo psicológico es una corriente que, surgida en el primer tercio del siglo XX y consolidada en Estados Unidos, propone estudiar de manera científica la conducta observable del organismo en interacción con el ambiente, prescindiendo de explicaciones mentalistas no operacionales. Inaugurado por John B. Watson (1913 a 1930) y desarrollado por figuras como Ivan Pavlov (finales del siglo XIX y hasta el 1920), Edward Thorndike (1898) y, de modo paradigmático, B. F. Skinner (1938), el conductismo distingue entre condicionamiento clásico (asociación entre estímulos) y condicionamiento operante (modificación de la probabilidad de respuesta por sus consecuencias), postulando que el aprendizaje se explica mediante leyes de estímulo como respuesta y principios de reforzamiento y castigo. Su programa metodológico enfatiza el control experimental, la medición objetiva y la replicabilidad, con proyección aplicada en ámbitos como la educación, la modificación de conducta, la psicología clínica y la psicología organizacional. Entre sus críticas se señalan la reducción de los fenómenos psicológicos a variables conductuales y la insuficiente consideración de procesos cognitivos y representacionales, objeciones que motivaron el desarrollo de

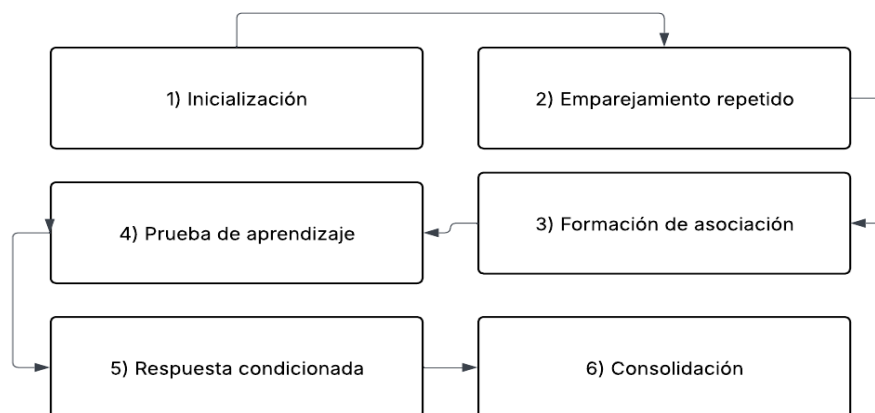
enfoques neoconductistas y, posteriormente, la revolución cognitiva; con todo, el legado conductista perdura en la precisión metodológica, el análisis experimental del comportamiento y los procedimientos basados en evidencia para el cambio conductual (Senem & Guljema, 2025).

A. La teoría del condicionamiento de Ivan Pavlov

El condicionamiento clásico es un tipo de aprendizaje que implica emparejar repetidamente una señal inocua con un estímulo natural hasta que la señal por sí sola pueda provocar una respuesta. El experimento de Pavlov, una campana (señal neutra) puede emparejarse repetidamente con comida (estímulo natural que evoca automáticamente una respuesta, uso de los sentidos) hasta que la campana por sí sola provoque la salivación en el perro y, finalmente, el simple hecho de tocar la campana provoca la salivación (Rehman, 2025).

Figura 18

Estructura de la Teoría del Condicionamiento de Ivan Pavlov



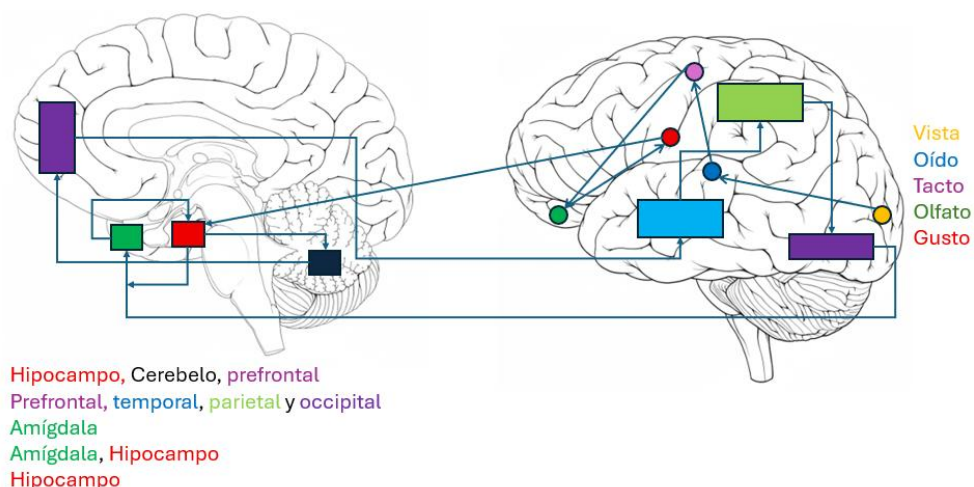
Nota. Estructura conceptual teórica del condicionamiento de Ivan Pavlov.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo, Cerebelo, prefrontal
3. Prefrontal, temporal, parietal y occipital
4. Amígdala
5. Amígdala, Hipocampo
6. Hipocampo

Figura 19

Engrama de la Teoría del Condicionamiento de Ivan Pavlov



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Ivan Pavlov [se lee de derecha a izquierda].

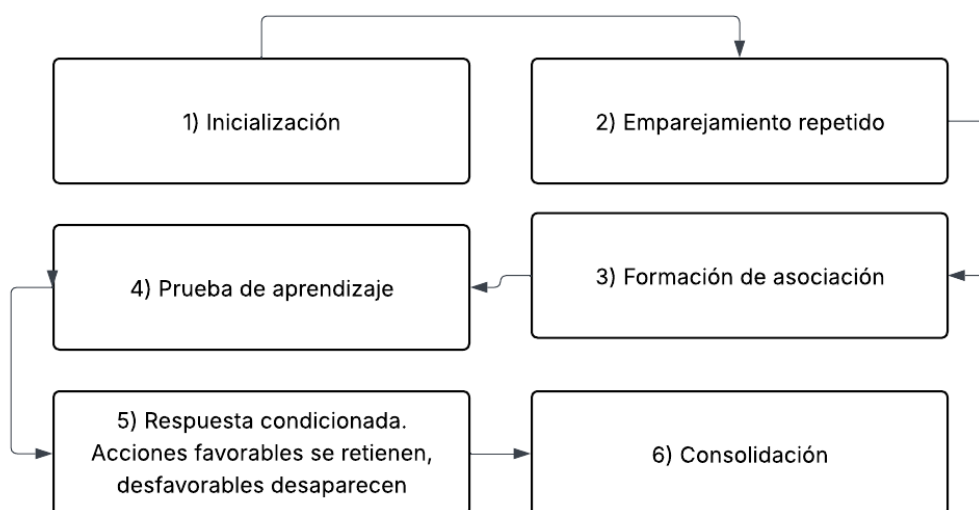
B. La Teoría del Conductismo Clásico de John B. Watson

John B. Watson creó el conductismo a principios del siglo XX, y su visión de la psicología se centraba exclusivamente en el comportamiento observable. Rechazó la introspección y el análisis de lo que no podemos observar, ya que, según Watson, la psicología debería centrarse en la relación entre estímulos y respuestas. El comportamiento se aprende a través de la interacción con el medio ambiente y la mente

es una pizarra en blanco, la persona aprende por asociación; se fundamenta en la teoría de Pavlov. Aprendemos de las consecuencias de nuestras acciones, y las acciones que tienen consecuencias favorables tienen más probabilidades de repetirse. Las acciones que tienen consecuencias desfavorables tienen menos probabilidades de repetirse porque aprendemos de las consecuencias de nuestras acciones (McLeod, 2025).

Figura 20

Estructura de la Teoría del Conductismo de John Watson



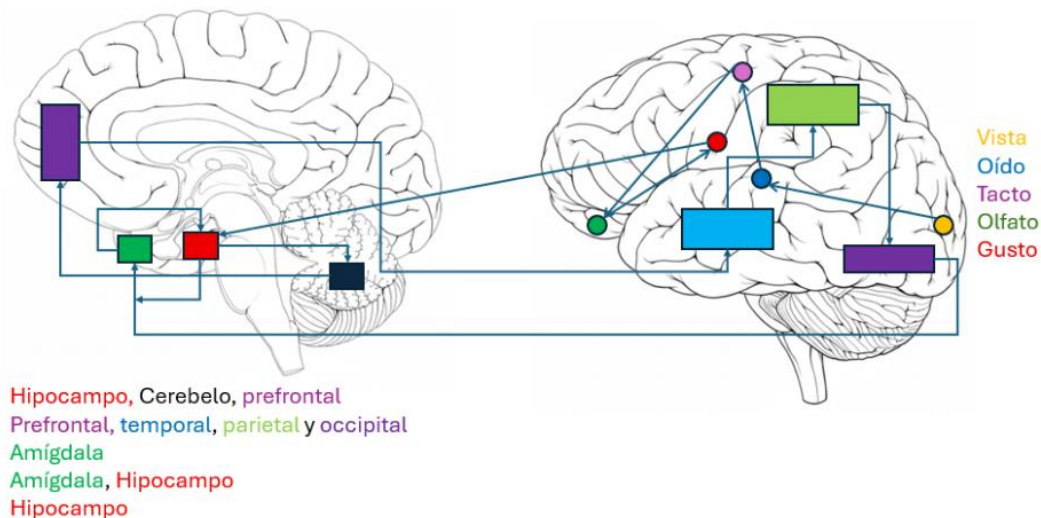
Nota. Estructura conceptual teórica del conductismo de John Watson.

Orden Secuencial teórico basado en el Flujo de la Construcción de una Estructura Conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo, Cerebelo, prefrontal
3. Prefrontal, temporal, parietal y occipital
4. Amígdala
5. Amígdala, Hipocampo
6. Hipocampo

Figura 21

Engrama de la Teoría del Conductismo de John Watson



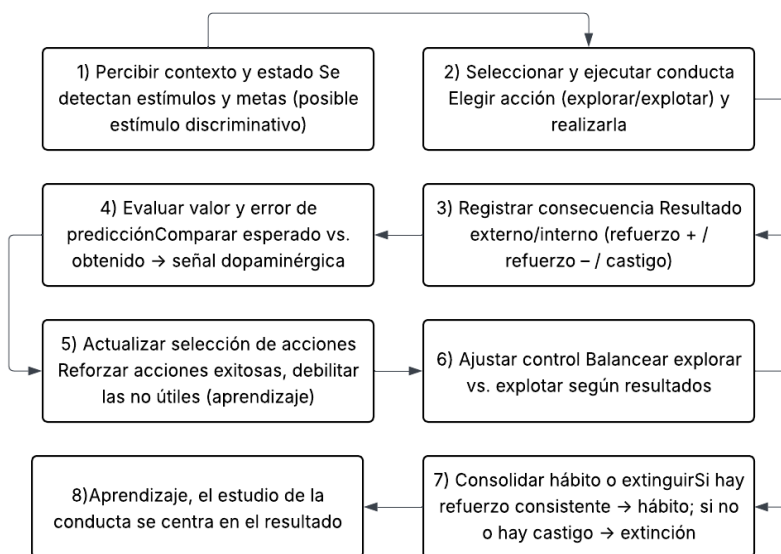
Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de John Watson [se lee de derecha a izquierda].

C. La Teoría del Condicionamiento Operante de Burrhus Frederic Skinner

En 1938, B. F. Skinner propuso que el aprendizaje se produce por condicionamiento operante, un proceso mediante el cual las consecuencias de una conducta controlan su frecuencia. Si una conducta va seguida de un refuerzo positivo (recompensa), es más probable que se repita. Si una conducta va seguida de un refuerzo negativo (eliminación de un estímulo desagradable), también es más probable que se repita, ya que esta eliminación actúa como motivador y, por lo tanto, se refuerza. Si una conducta va seguida de un castigo, es menos probable que se repita; por lo tanto, no se condiciona su continuidad. La conducta y su consecuencia están conjugadas, por lo que un organismo está condicionado a realizar actos con consecuencias positivas, mientras que evita aquellos con consecuencias negativas. Por lo tanto, el estudio de la conducta se centra en la consecuencia de la conducta, no en el antecedente, ya que comprender las consecuencias de una conducta es crucial para determinar su frecuencia y, por lo tanto, el estudio de la conducta se centra en el resultado de esta. (Rholetter, 2022).

Figura 22

Estructura conceptual del condicionamiento operante de Burrhus F. Skinner



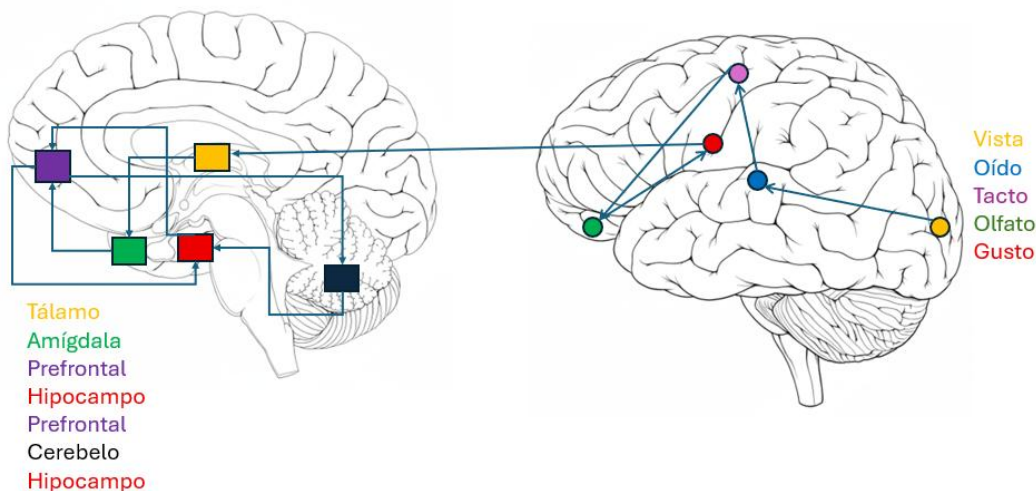
Nota. Estructura conceptual teórica del condicionamiento operante de Burrhus Frederic Skinner [se lee de izquierda a derecha].

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Tálamo
3. Amígdala
4. Prefrontal
5. Hipocampo
6. Prefrontal
7. Cerebelo
8. Hipocampo

Figura 23

Engrama de La Teoría de B.F. Skinner



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Burrhus Frederic Skinner [se lee de derecha a izquierda].

2.3.6. Corriente de la Psicología de la Gestalt

Cattaruzza, S., & Raynaud, S. (2025) mencionan que La Psicología de la Gestalt, desarrollada en el ámbito germano a inicios del siglo XX por Max Wertheimer (1912), Wolfgang Köhler (1912) y Kurt Koffka (1912), sostiene que los fenómenos psicológicos deben comprenderse como totalidades organizadas, no como simples sumas de partes; de ahí su principio rector de que el todo es diferente de la suma de sus componentes. En su programa clásico de investigación —especialmente en percepción— la Gestalt describió leyes de organización perceptiva (proximidad, semejanza, continuidad, cierre, destino común, figura–fondo) que explican cómo el sistema perceptual impone estructura, regularidad y pregnancia a estímulos ambiguos o fragmentarios.

Metodológicamente, combinó experimentación controlada con análisis fenomenológico, y teóricamente postuló procesos de organización isomórfica entre experiencia y dinámica cerebral. Su influencia se extendió a la solución de problemas, la memoria y el aprendizaje por Insight, así como a la psicología del arte, el diseño y la

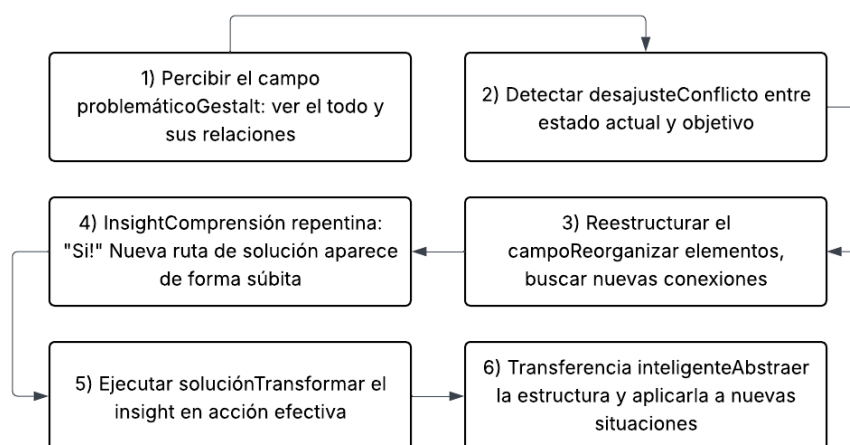
ergonomía, y más ampliamente a tradiciones contemporáneas de la ciencia cognitiva y la visión por computador. Aunque recibió críticas por la dificultad de formalizar algunas de sus leyes y por la ausencia de un nexo neurofisiológico plenamente demostrable en su época, su legado perdura en la concepción de la mente como sistema activo de organización y en la vigencia de principios gestálticos en investigación perceptual, interacción humano-computador y diseño de información.

La Teoría del Aprendizaje por Insight (conocimiento) de Wolfgang Köhler

La psicología de la Gestalt afirma que la mente agrupa la experiencia en "formas" o cosas completas. La idea principal radica en que el todo es más que las partes, y no vemos las cosas separadas, sino agrupadas; Köhler estudió el "aprendizaje intuitivo" primero hacemos Insight o comprensión repentina, luego reestructuración del campo de problemas y luego transferencia inteligente, aplicar una estructura que ya conocemos no solo repetimos. Köhler demostró que aprendemos comprendiendo relaciones y objetivos, un aspecto crucial de su teoría (Dasen, 2025).

Figura 24

Estructura de la Teoría del Aprendizaje por Insight de W. Köhler



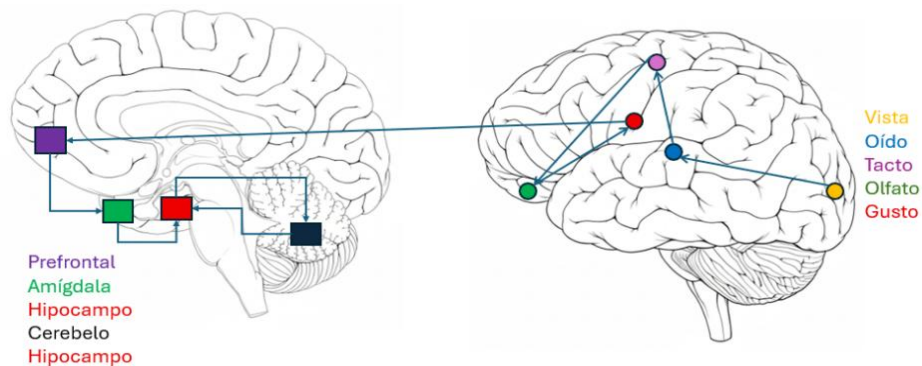
Nota. Estructura conceptual teórica del aprendizaje por Insight de W. Köhler basado en la psicología Gestalt.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Prefrontal
3. Amígdala
4. Hipocampo
5. Cerebelo
6. Hipocampo

Figura 25

Estructura de la Teoría del Aprendizaje por Insight de W. Köhler



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del aprendizaje por Insight basado en la psicología Gestalt de Wolfgang Köhler [se lee de derecha a izquierda].

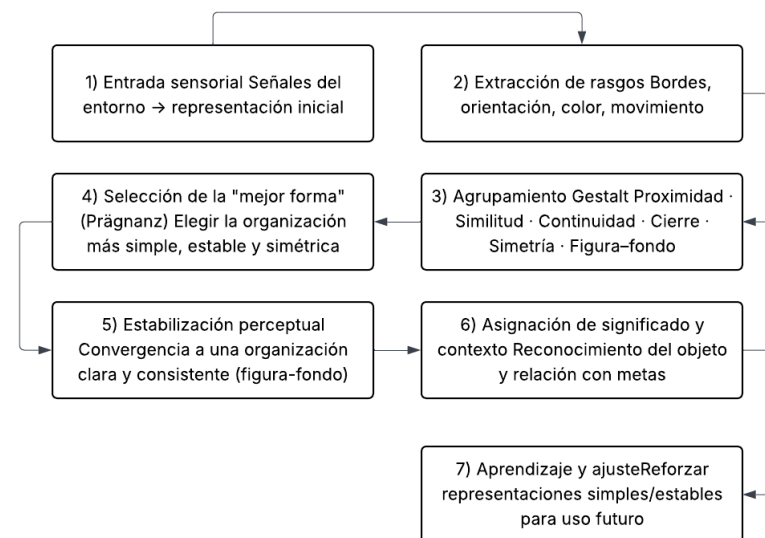
Ley de Prägnanz, de Max Wertheimer, Wolfgang Köhler y Kurt Koffka

Según Van Geert (2024) los psicólogos, Max Wertheimer, Wolfgang Köhler y Kurt Koffka, establecen en el año 1912 que la percepción debe ser lo más simple posible: clara, estable, simétrica y ordenada. “Prägnanz” significa breve o «buena forma», y la percepción prefiere la solución más simple y ordenada cuando existen muchas posibilidades, porque este es el principio fundamental de la psicología Gestalt. Aprendemos mejor cuando la información se presenta en formas simples y estables, y nuestro cerebro busca formas adecuadas para que los datos tengan sentido. No solo

memorizamos datos, sino que nuestro cerebro busca formas adecuadas para que los datos tengan sentido.

Figura 26

Estructura de la Ley de Prägnanz de Max Wertheimer



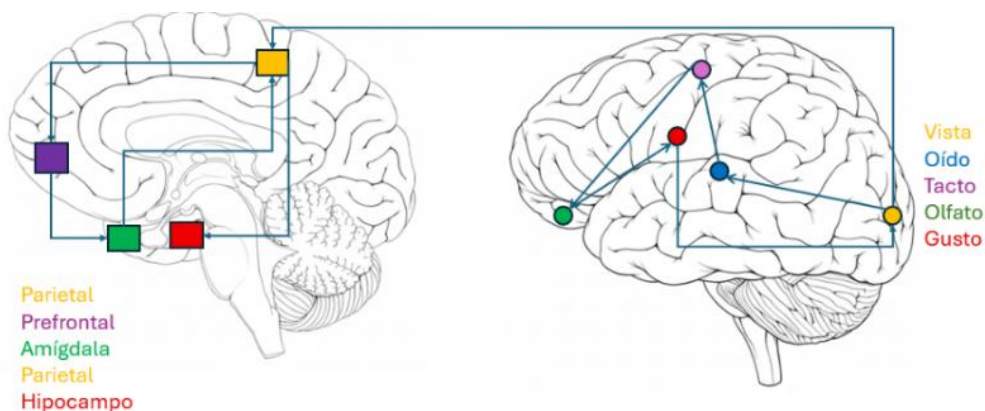
Nota. Estructura conceptual teórica de la ley de Prägnanz, de Max Wertheimer, Wolfgang Köhler y Kurt Koffka basado en la psicología Gestalt.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales especialmente visual
2. Parietal
3. Prefrontal
4. Amígdala
5. Prefrontal
6. Parietal
7. Hipocampo

Figura 27

Engrama Teórico de la Ley de Prägnanz, de M. Wertheimer



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica por Insight la ley de Prägnanz, de Max Wertheimer, Wolfgang Köhler y Kurt Koffka basado en la psicología Gestalt [se lee de derecha a izquierda].

2.3.7. Corriente de la Psicología Cognitiva

La psicología cognitiva examina procesos mentales como la memoria, la percepción, el pensamiento, el juicio, el lenguaje, el aprendizaje y la resolución de problemas. Surgió a mediados del siglo XX como reacción al conductismo. Se basa en la noción de procesamiento de la información y en modelos computacionales de la mente, y busca comprender cómo el cerebro humano adquiere, codifica, almacena y recupera información. Los métodos de investigación empleados en psicología cognitiva incluyen experimentos de laboratorio, estudios de tiempo de reacción, pruebas de memoria, simulaciones por computadora y técnicas de neuroimagen.

Entre sus principales contribuyentes desde la década de 1950 a finales del 1960 se encuentran Ulric Neisser, George A. Miller, Noam Chomsky, Herbert A. Simon y Allen Newell. Las perspectivas contemporáneas en psicología cognitiva incluyen la cognición situada, la cognición corporizada y el conexionismo. Esta disciplina resulta

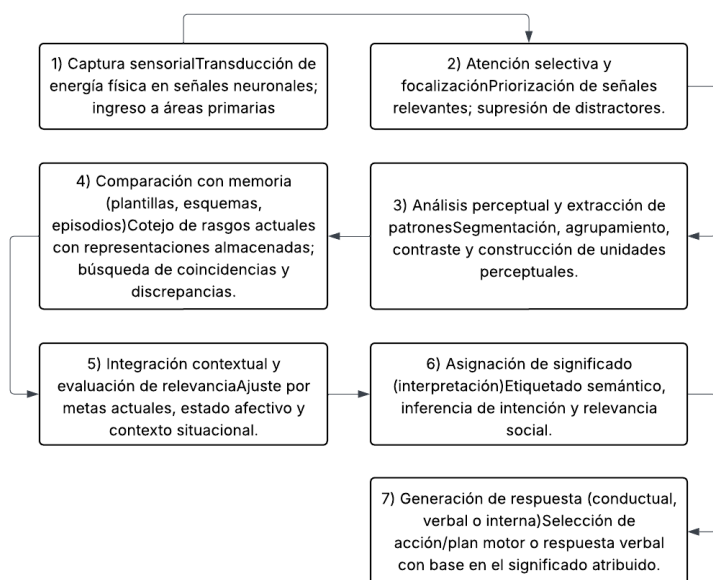
útil para la evaluación neuropsicológica, la educación, la terapia cognitivo-conductual, la interacción persona-ordenador, el diseño de interfaces, la inteligencia artificial y la ciencia de datos. Aunque criticada por centrarse en tareas de laboratorio o descuidar los aspectos sociales, la psicología cognitiva contemporánea integra perspectivas computacionales, biológicas y situacionales para ofrecer un enfoque poderoso y basado en la evidencia para comprender y mejorar la cognición humana. (Claxton 2025).

A. La Teoría del Procesamiento de la Información de Ulric Neisser

Según Shenlian (2024), Se le conoce también como “teoría de la percepción” La idea es que percibir cosas no es tan simple como una cámara que capta estímulos, sino que el cerebro recibe lo que hacen los sentidos, determina en se debe concentrar, lo compara con lo que sabe, lo clasifica, lo coloca en el entorno, etc. y tienes entrada (estímulos) y luego el cerebro procesa (enfoca, contrasta, categoriza, interpreta) porque así es como funciona el proceso. Posteriormente le da una salida: un significado de lo que percibe, así que esto le ayuda a decidir qué hacer. No se ven las cosas como son, por lo tanto, el individuo ve lo que su cerebro hace a partir de lo que ve y lo que él conoce o sabe, percibiendo así las cosas de una manera única.

Figura 28

Estructura de la Teoría de U. Neisser



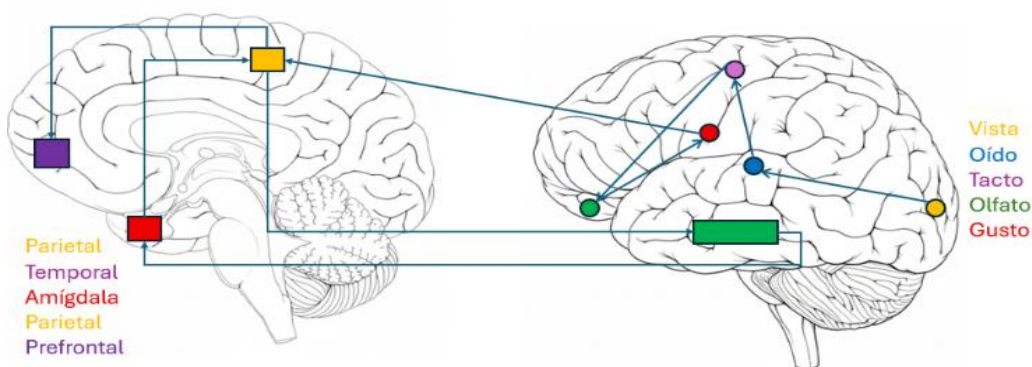
Nota. Estructura conceptual teórica de la teoría del Procesamiento de la Información de Ulric Neisser.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Parietal
3. Temporal
4. Amígdala
5. Prefrontal
6. Parietal
7. Hipocampo

Figura 29

Engrama Teórico de la Propuesta de Ulric Neisser



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Ulric Neisser [se lee de derecha a izquierda].

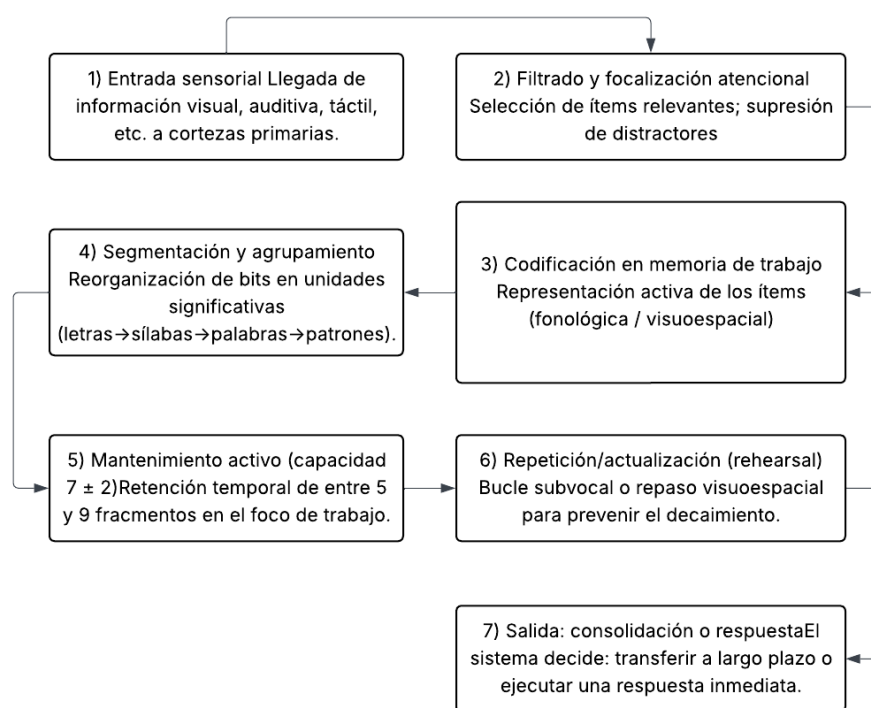
B. La "Teoría del Número Mágico 7 ± 2 " de George A. Miller

Menciona Pandey (2025) que para Miller la memoria de trabajo humana almacena sólo unos siete fragmentos de información a la vez. Normalmente son 7 más o menos 2, es decir, 5 o 9, fragmentos. La memoria de trabajo posee una capacidad

limitada para mantener información activa en un momento dado. Sin embargo, lo que se considera un “elemento” depende del proceso de agrupación significativa, mediante el cual el individuo organiza varios fragmentos de información en unidades más amplias y coherentes. Esta capacidad de *fragmentación* permite optimizar el uso de la memoria de trabajo al reducir la carga cognitiva y facilitar el procesamiento eficiente de la información. Un fragmento puede ser pequeño, como una letra, o grande, como una palabra, una fecha o un patrón; esto depende de cómo lo agrupemos.

Figura 30

Estructura de la "Teoría del Número Mágico 7 ± 2 " de G. Miller



Nota. Estructura conceptual teórica La "Teoría del Número Mágico 7 ± 2 " de George A. Miller.

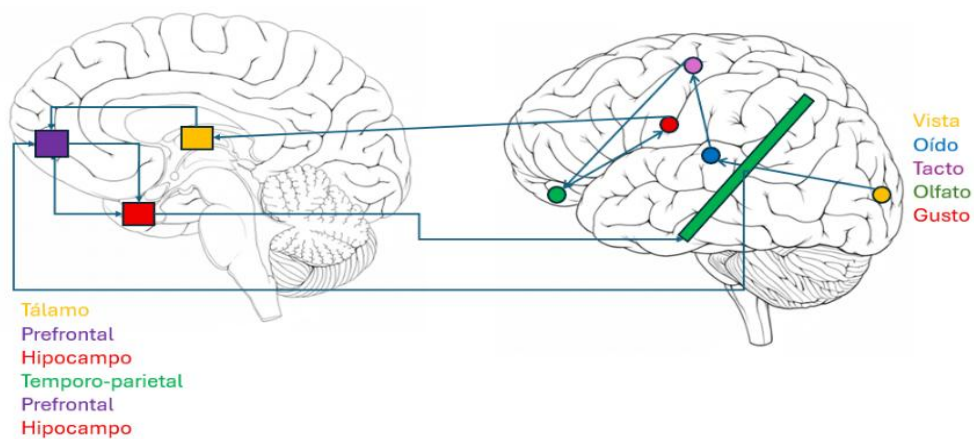
Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales

2. Tálamo
3. Prefrontal
4. Hipocampo
5. Temporal-parietal
6. Prefrontal
7. Hipocampo

Figura 31

Engrama de la "Teoría del Número Mágico 7 ± 2 " de G. Miller



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de George A. Miller [se lee de derecha a izquierda].

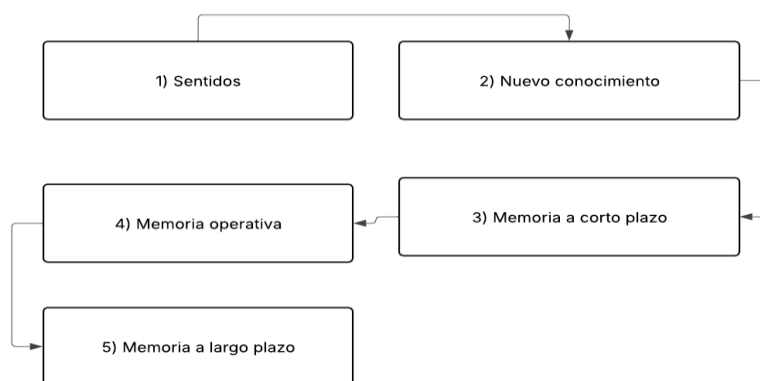
Desde la década de los años 60 se presentaron nuevos modelos que podrían explicar el proceso de memoria, aprendizaje y evocación, entre los más destacados podemos presentar el modelo de Atkinson y Shiffrin. (Ghosh, et al., 2021).

El influyente modelo de procesamiento mnésico de Atkinson y Shiffrin, publicado en 1965, propuso las bases para pensar en una nueva forma de conceptualización de la memoria humana, como si fuese un sistema modular para almacenamiento y recuperación de información. Según este modelo, los estímulos ambientales intervienen en la generación de representaciones neurales únicas y

almacenamiento de registros icónicos, ecoicos y hápticos, encargados del procesamiento visual, auditivo y táctil respectivamente (Atkinson 1965). Finalmente, mediante procesos de ensayo y consolidación, la información importante se transfiere a la memoria de largo plazo, para ser utilizada en un futuro. (Ghosh, et al., 2021).

Figura 32

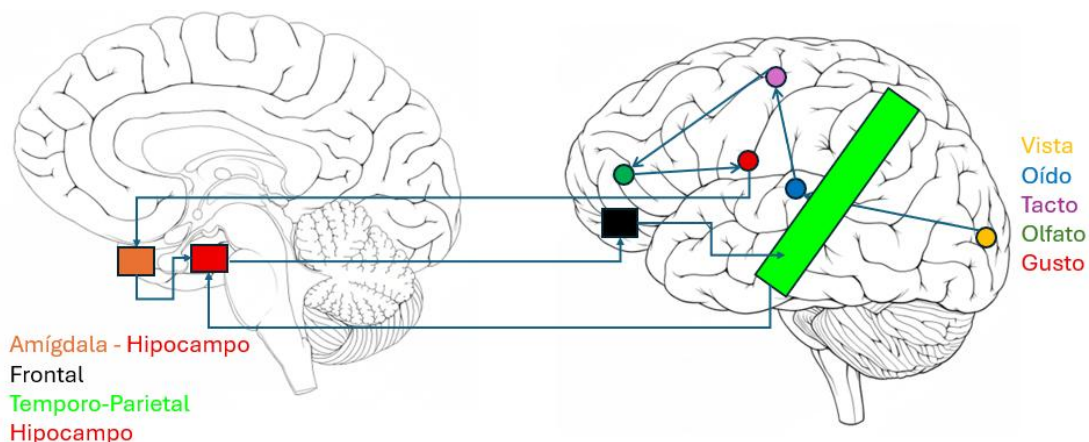
Estructura del Modelo de Atkinson y Shiffrin



Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo jerárquico unidireccional de Atkinson y Shiffrin

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala - Hipocampo
3. Frontal
4. Temporal - Parietal
5. Hipocampo

Figura 33*Engrama del Modelo de Atkinson y Shiffrin*

Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del modelo jerárquico unidireccional de Atkinson y Shiffrin [se lee de derecha a izquierda].

2.3.8. Corriente del Constructivismo

El constructivismo sostiene que los individuos construyen su propio conocimiento a través de la experiencia y la interacción con el entorno. Además, está influenciado por la historia personal y la cultura, ya que estos factores moldean nuestras percepciones y comprensión del mundo. Piaget analizó las etapas del desarrollo cognitivo y mencionó cómo asimilamos nueva información a los marcos conceptuales existentes, así como la forma en que la incorporamos modificando nuestra comprensión actual ante contradicciones. Vygotsky enfatizó que el aprendizaje se produce mediante la interacción social y propuso que el lenguaje apoya el desarrollo cognitivo, por lo que desempeña un papel crucial en el proceso de aprendizaje.

También propuso que la instrucción con andamiaje facilita un mayor crecimiento, proporcionando así un marco para un aprendizaje efectivo. Bruner abogó por el aprendizaje por descubrimiento y creía que aprendemos inicialmente a través de la

acción, luego mediante imágenes y finalmente mediante símbolos; por lo tanto, este enfoque de aprendizaje se basa en una serie de etapas de desarrollo. Ausubel creía que el aprendizaje es más efectivo cuando se relaciona con algo que ya conocemos; por lo tanto, el conocimiento previo es esencial para un aprendizaje efectivo.

El constructivismo aplicado a la pedagogía ofrece un aprendizaje en el que el estudiante participa activamente. Este aprendizaje incluye tareas de aprendizaje auténticas, la búsqueda de ayuda entre pares y la evaluación de la comprensión a lo largo del proceso. También implica el desarrollo de un entorno de aprendizaje donde los estudiantes puedan reflexionar sobre sus propios procesos de pensamiento y colaborar con otros, fomentando así un sentido de comunidad y cooperación.

Los críticos del constructivismo afirman que no abarca suficientemente la enseñanza de habilidades básicas, y otros argumentan que los docentes no pueden implementarlo sin la formación adecuada, ya que su implementación efectiva requiere una comprensión profunda de sus principios subyacentes. Otros sostienen que la cultura dificulta el aprendizaje colaborativo y, en general, el constructivismo ofrece una perspectiva del proceso de aprendizaje y de cómo se transforma nuestro conocimiento, por lo que es esencial que los docentes comprendan estas dinámicas.

Además, fundamenta métodos de enseñanza que conectan nuevos conceptos con conocimientos previos, fomentan el aprendizaje independiente y utilizan las interacciones sociales para potenciar el aprendizaje; por lo tanto, es un enfoque valioso para la educación. (Rachmad, Y.2025)

A. La Teoría del Desarrollo Cognitivo de Jean Piaget

Piaget (1896-1980), diferencia entre el desarrollo y aprendizaje. Entre los años 1926 a 1931 propone que el desarrollo es un proceso espontáneo y total que involucra las estructuras del conocimiento, mientras que el aprendizaje y la memoria son un proceso provocado y limitado a una estructura o problema específico, Una respuesta es, pues, un caso particular de interacción entre el mundo externo y el sujeto, pero a

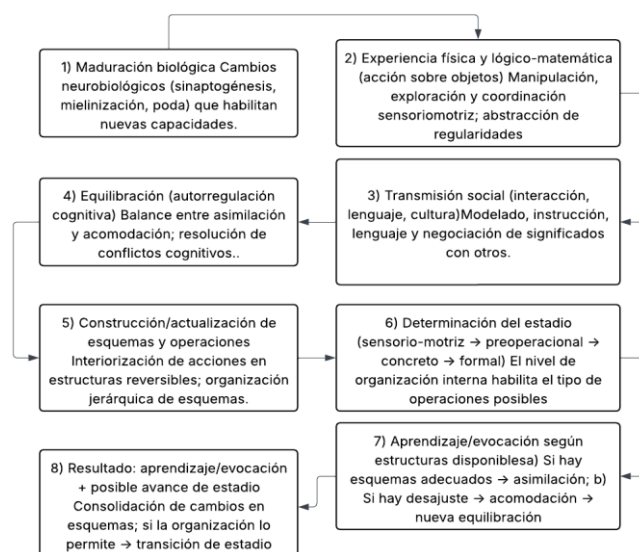
diferencia de las interacciones fisiológicas, que son de naturaleza material e implican un cambio interno en los cuerpos presentes, las respuestas estudiadas por la psicología son de naturaleza funcional y se alcanzan a distancias cada vez mayores en el espacio (percepción, etc.) y en el tiempo (memoria, etc.), además de seguir caminos cada vez más complejos (reversiones, desvíos, etc.). Piaget (1950). Describe cuatro estadios principales en el desarrollo cognitivo:

- Sensorio-motriz (0-2 años)
- Preoperacional (2-7 años)
- Operaciones concretas (7-11 años)
- Operaciones formales (11+ años)

En cada estadio hay un avance en la complejidad de las estructuras cognitivas, plantea que el desarrollo explica el aprendizaje y evocación y no al revés. El aprendizaje y evocación exitosos requieren de una actividad asimiladora por parte del sujeto sobre la base de estructuras cognitivas existentes. Esta teoría es un marco de referencia muy útil para entender la relación entre desarrollo cognitivo, aprendizaje y evocación (Piaget, 1964).

Figura 34

Estructura de la Teoría de Jean Piaget

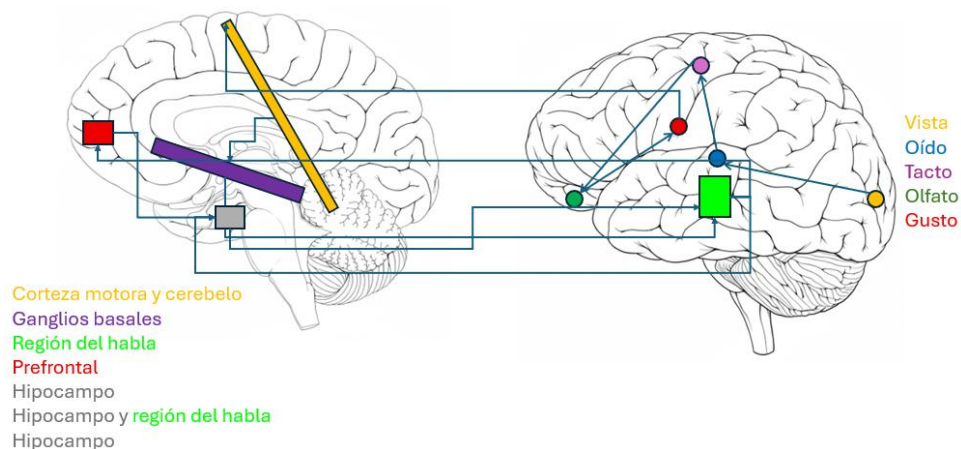


Nota. Estructura conceptual de la propuesta del desarrollo cognitivo de Jean Piaget.

1. Corteza motora y cerebelo
2. Ganglios basales
3. Región del habla
4. Prefrontal
5. Hipocampo
6. Hipocampo y región del habla
7. Hipocampo

Figura 35

Engrama de la Teoría de Jean Piaget



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Jean Piaget [se lee de derecha a izquierda].

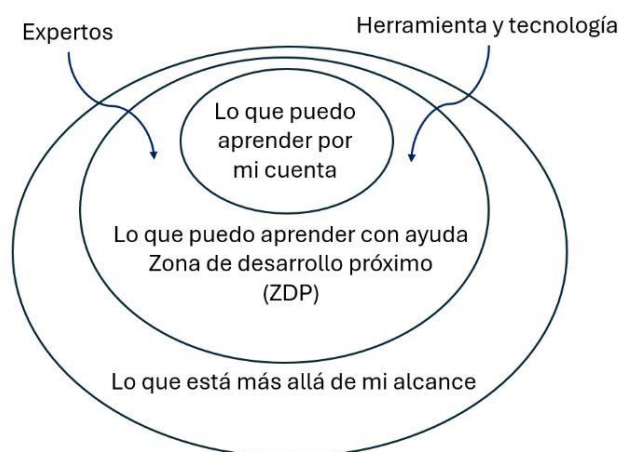
B. La Teoría Sociocultural de Lev Vygotsky

Lev Vygotsky (1896-1934) fue un destacado psicólogo ruso que desarrolló la teoría sociocultural del desarrollo cognitivo. Para Vygotsky los conceptos centrales incluyen herramientas culturales, habla privada (lenguaje que los niños pequeños dirigen hacia sí mismos en voz alta) y la zona de desarrollo próximo (ZDP).

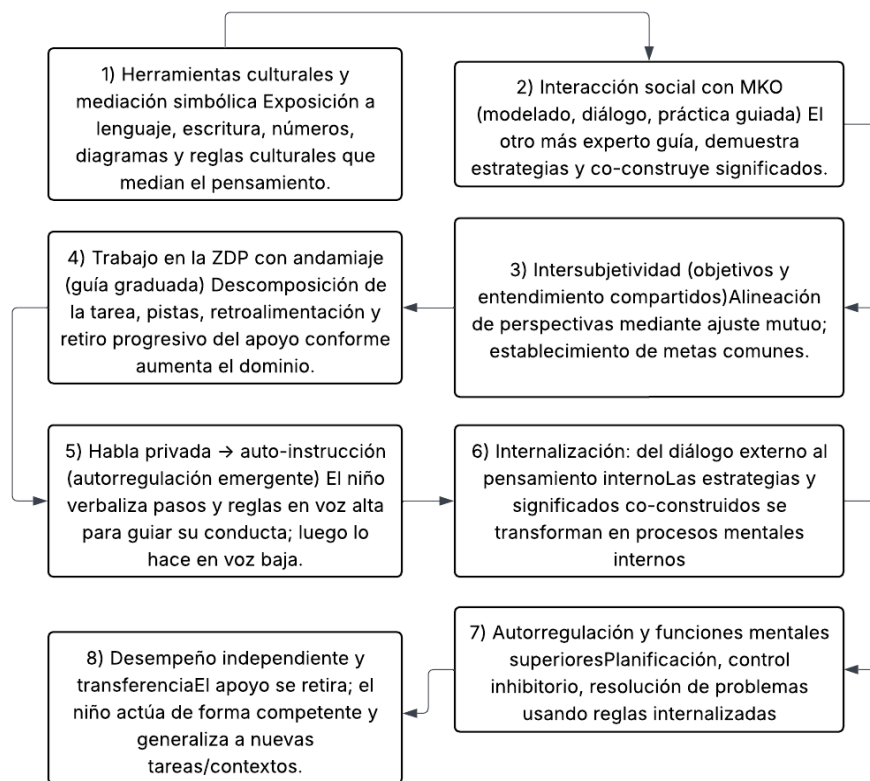
Las herramientas culturales se refieren a los sistemas simbólicos proporcionados por una cultura que permiten el pensamiento y la resolución de problemas. Estos incluyen el lenguaje, la escritura, los diagramas, entre otros. Según Vygotsky, las habilidades cognitivas se forman y transforman socialmente a través de la participación en diálogos e interacciones basados en la cultura y en la resolución colaborativa de problemas con ayuda del “otro más experto” (MKO) que proporciona interpretaciones, significados y respuestas basadas culturalmente para guiar el pensamiento del niño. (McLeod, 2023). La zona de desarrollo próximo (ZDP) es la distancia entre el nivel de desarrollo real, lo que hace por sí solo frente al nivel de desarrollo potencial, que es lo que puede llegar a hacer con la ayuda de personas más avanzadas y experimentadas.

Figura 36

ZDP y el Andamiaje



Nota. La figura ilustra el concepto de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) de Vygotsky y su relación con el andamiaje pedagógico, que no es más que el apoyo temporal y gradual que recibe el estudiante para alcanzar niveles más altos de competencia (Modificada de McLeod, 2025. P. 10).

Figura 37*Estructura de la Teoría de Lev Vygotsky*

Nota. Estructura conceptual de la Teoría Sociocultural de Lev Vygotsky.

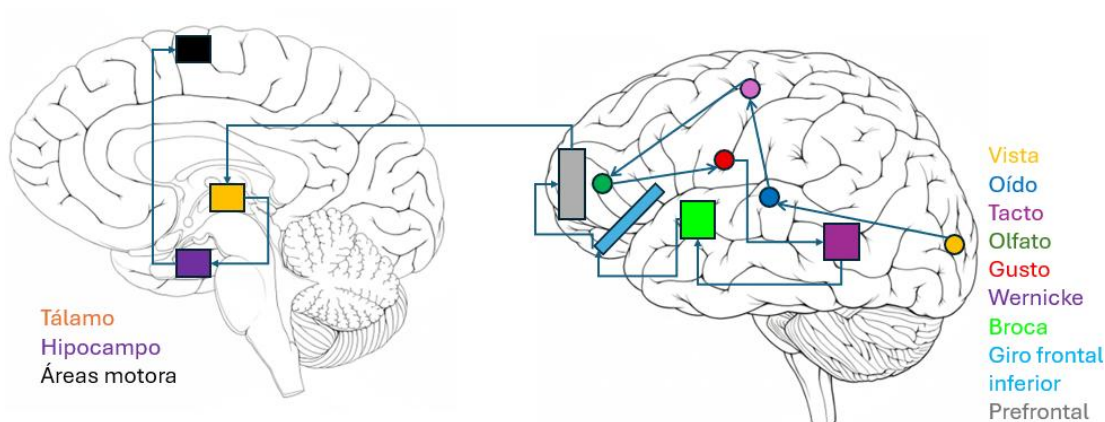
Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales, Wernicke, broca
2. Giro frontal inferior y prefrontal
3. Corteza frontal
4. Corteza frontoparietal
5. Corteza-frontoparietal-ínsula
6. Tálamo
7. Hipocampo

8. Corteza motora

Figura 38

Engrama de la Teoría de Lev Vygotsky



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica sociocultural de Lev Vygotsky [se lee de derecha a izquierda].

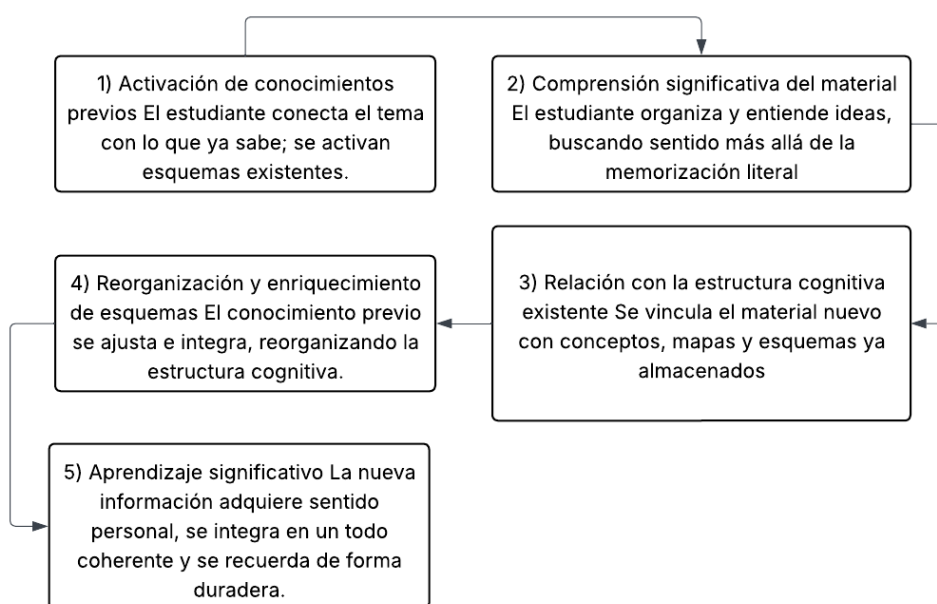
Los principios de la teoría sociocultural de Vygotsky se reflejan de manera evidente en los resultados de esta investigación, al demostrarse que el aprendizaje no es un proceso aislado, sino socialmente mediado y dependiente del contexto cultural. La evidencia obtenida mediante electroencefalografía muestra cómo la orientación del docente y la colaboración entre pares generan activaciones neuronales asociadas a la atención compartida, la regulación cognitiva y la consolidación de la memoria, procesos que corresponden a la dinámica de la zona de desarrollo próximo. De este modo, los hallazgos empíricos confirman que la guía del “otro más experto” actúa como catalizador de la neuroplasticidad y la formación de engramas, validando la propuesta del modelo neuroeducativo holístico como una síntesis entre mediación social, evidencia cerebral y aprendizaje significativo.

C. La Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel

Ausubel postula en 1963 que el aprendizaje ocurre cuando la nueva información se integra de manera sustantiva y no arbitraria con los conocimientos previos del estudiante, trascendiendo la simple memorización. Para que este proceso sea posible, es indispensable que el aprendiz se encuentre cognitivamente involucrado y que el material posea significado lógico y psicológico. Cuando estas condiciones se cumplen, el estudiante no solo incorpora datos nuevos, sino que reorganiza y reconstruye sus esquemas previos, generando una estructura cognitiva más coherente, profunda y enriquecida, el aprendizaje es profundo y duradero, un aprendizaje significativo (Bryce & Blown, 2024).

Figura 39

Estructura de la Teoría de David Ausubel



Nota. Estructura de la propuesta del Aprendizaje Significativo de David Ausubel.

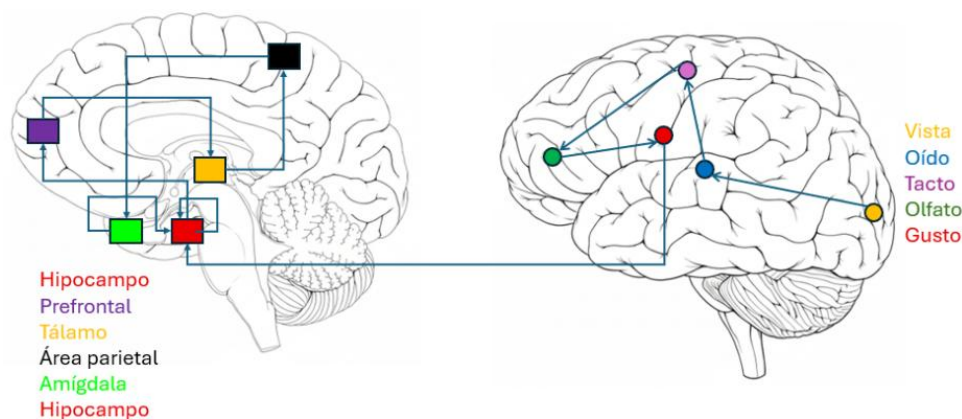
Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales- Hipocampo
2. Prefrontal

3. Tálamo - Parietal
4. Amígdala – hipocampo
5. Hipocampo

Figura 40

Engrama de la Teoría de David Ausubel



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de David Ausubel [se lee de derecha a izquierda].

Los postulados de Ausubel encuentran plena correspondencia con los resultados de este estudio, al demostrarse que el aprendizaje se fortalece cuando el nuevo conocimiento se vincula con estructuras mentales ya existentes. La evidencia neurofisiológica obtenida mediante EEGi mostró patrones de activación que reflejan la integración entre información previa y nueva, confirmando que los engramas se reorganizan y consolidan en función del significado. Este proceso, observable en las modulaciones fronto-hipocampales registradas, válida la premisa ausubeliana del aprendizaje significativo como un fenómeno tanto cognitivo como biológico. Así, el modelo neuroeducativo propuesto traduce estos mecanismos en estrategias pedagógicas concretas que promueven la comprensión profunda, la retención duradera y la transformación del conocimiento en experiencia significativa.

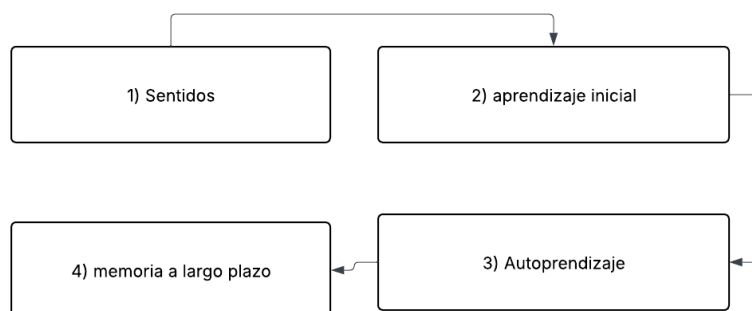
D. El Modelo Constructivista – Humanista con Base Científica de María Montessori

Según la Asociación Montessori Internacional (AMI), la historia del método Montessori puede comprenderse en tres períodos fundamentales. El primero inicia en 1907 con la apertura de la primera Casa dei Bambini en Roma, donde María Montessori comenzó a poner en práctica y refinar sus observaciones y principios educativos basados en el desarrollo infantil. En 1909 publicó su primera obra sistemática sobre el método, la cual sentó las bases doctrinales de su propuesta pedagógica. Posteriormente, la traducción al inglés en 1912 permitió la difusión internacional del enfoque Montessori y consolidó su reconocimiento más allá del contexto europeo (Asociación Montessori Internacional, s.f.).

El método Montessori. Se fundamenta en que: a) El niño debe ser comprendido y respetado en el proceso de su desarrollo, b) La absorción del conocimiento desde la psiquis del niño según su edad desarrollo y así aprende por sí solo, c) Tiene periodos de mayor predisposición aprender, d) el ambiente propio para el niño, y e) el niño aprende por sí mismo.

Figura 41

Estructura del Modelo de María Montessori



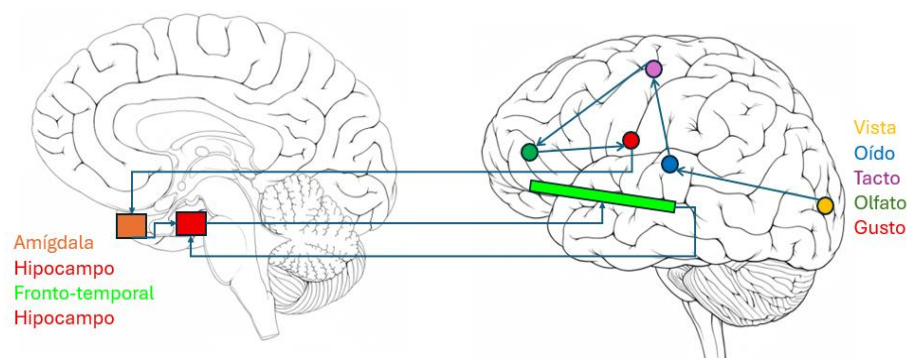
Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo constructivista – humanista con base científica de María Montessori.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala - Hipocampo
3. Fronto-temporal
4. Hipotálamo

Figura 42

Engrama del Modelo de María Montessori



Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo constructivista - humanista con base científica de María Montessori [se lee de derecha a izquierda].

2.3.9. Corriente Teórica del Aprendizaje Social

Según Cherry (2025), la teoría del aprendizaje social postula que las personas aprenden unas de otras mediante la observación, la imitación y el modelado. Esta teoría fue desarrollada por Albert Bandura (1961), quien llevó a cabo el controvertido experimento en Stanford. El aprendizaje se basa en cuatro procesos psicológicos:

atención, memoria, reproducción y motivación. Las personas observan las conductas de los demás y sus consecuencias, y luego deciden si imitarlas o no. Por lo tanto, el aprendizaje por observación no es necesariamente igual a la imitación, ya que el observador puede no replicar la conducta con exactitud. La teoría del aprendizaje social incorpora la teoría cognitiva, dado que los procesos mentales son esenciales para el aprendizaje; por consiguiente, considera a la persona, la conducta y el entorno como fuerzas que interactúan entre sí.

Los cuatro componentes del modelado son la observación, la retención, la reproducción y la motivación. La autoeficacia se refiere a la creencia en la propia capacidad para realizar una tarea, lo que influye en la selección de actividades, el nivel de esfuerzo, la persistencia y las reacciones emocionales. En educación, la teoría se aplica mediante el modelado por parte del profesor y los compañeros, la retroalimentación, el refuerzo diferido y la estructuración del entorno de aprendizaje para contar con modelos a seguir positivos, ya que estos métodos son eficaces para promover el aprendizaje.

Por ello, la teoría se utiliza ampliamente en contextos educativos. En el ámbito de la salud, se emplea para intervenciones de cambio de comportamiento y prevención que involucran objetivos, autocontrol y expectativas de resultados. Por lo tanto, se ha aplicado en diversos campos relacionados con la salud y sigue siendo una teoría importante en la educación para la salud. En los medios de comunicación y la tecnología, la teoría permite comprender cómo la exposición a modelos a seguir a través de los medios altera las actitudes y los comportamientos, dado que las personas suelen estar influenciadas por los medios que consumen.

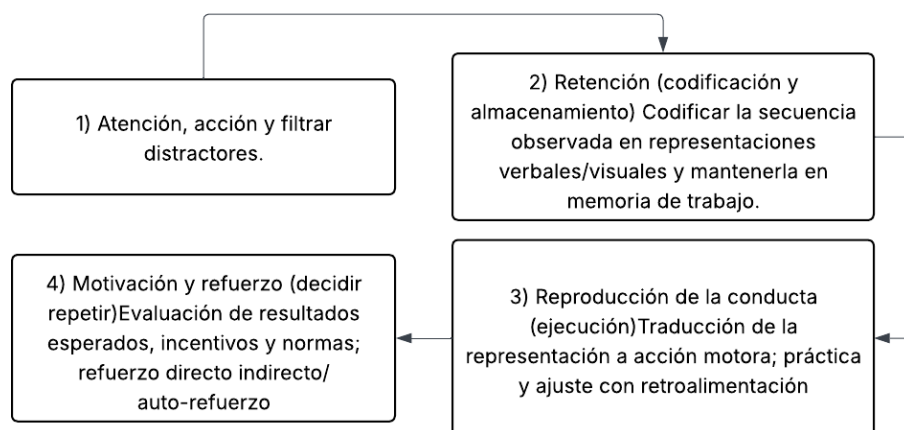
En consecuencia, la teoría es relevante para comprender el impacto de los medios en el comportamiento. Entre las críticas a la teoría se incluyen la necesidad de mayor especificidad en cuanto a los mecanismos de acción y la posibilidad de desacuerdos culturales sobre los modelos a seguir. Por ello, la teoría ha evolucionado para abordar estas críticas, incorporando el aprendizaje autorregulado y modelos sociocognitivos, que siguen enfatizando la agencia humana, el contexto social y la cognición como mediadora.

A. La Teoría del aprendizaje observacional de Alberto Bandura

Según Rumjaun y Narod (2025), Bandura (1961) planteó que el aprendizaje observacional consiste en adquirir conductas, actitudes y respuestas emocionales a través de la observación de otras personas. Este proceso, también denominado modelado, se estructura en cuatro fases esenciales. Primero, el observador debe prestar atención al modelo y a la conducta que desea aprender. Segundo, debe retener la información observada, es decir, codificar y almacenarla en la memoria. Tercero, requiere la capacidad de reproducir la conducta. Finalmente, el observador debe contar con la motivación necesaria para ejecutar lo aprendido, ya sea por refuerzos externos, internos o por expectativas de logro.

Figura 43

Estructura de la Teoría de Alberto Bandura



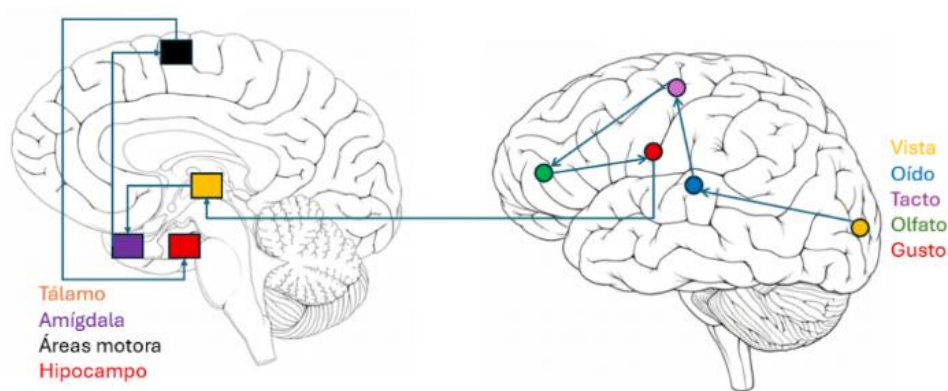
Nota. Estructura teórica de la propuesta de la teoría del aprendizaje observacional de Alberto Bandura.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Tálamo - Amígdala
3. Corteza motora- hipocampo
4. Hipocampo

Figura 44

Engrama de la teoría de Albert Bandura



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de Alberto Bandura [se lee de derecha a izquierda].

Los planteamientos de Bandura sobre el aprendizaje observacional encuentran un respaldo empírico en los resultados de este estudio, al evidenciarse que los procesos de atención, retención, evocación y motivación se corresponden con patrones específicos de activación cerebral observados mediante electroencefalografía. La formación de engramas durante la observación y reproducción de conductas demuestra que el aprendizaje no solo depende de la experiencia directa, sino también de la capacidad del individuo para internalizar modelos y transformarlos en representaciones neuronales propias. De este modo, los hallazgos de la investigación confirman que la observación activa, combinada con la práctica guiada, potencia la consolidación sináptica y

promueve un aprendizaje más profundo, coherente con los principios del modelo neuroeducativo holístico propuesto.

2.3.10. Corriente de Neurociencia Cognitiva

La neurociencia cognitiva es la ciencia del cerebro y la mente, y examina cómo el cerebro permite pensar, percibir, aprender, recordar, comunicarnos, tomar decisiones y experimentar emociones. Se basa en conceptos y métodos tanto de la psicología como de la neurociencia, y vincula la conducta observable con áreas específicas del cerebro. Utiliza la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (TEP) para visualizar la activación cerebral, y la electroencefalografía (EEG) y la magnetoencefalografía (MEG) para medir la actividad cerebral a lo largo del tiempo.

Para Koushik C. et al (2020), de este modo, la estimulación magnética transcraneal (EMT) y la estimulación transcraneal por corriente directa (ETCD) se emplean para inferir causalidad, ya que también se estudia el daño cerebral. Las simulaciones por ordenador se utilizan para validar hipótesis y generar predicciones, por lo que su surgimiento se produjo tras la revolución cognitiva y el auge de las técnicas de neuroimagen durante las décadas de 1980 y 1990. Incluye conceptos como plasticidad sináptica, codificación distribuida, red neuronal por defecto, red ejecutiva, oscilaciones neuronales y codificación predictiva, y contribuye al mapeo cerebral, la intervención clínica, el diseño del aprendizaje en educación, la interacción persona-ordenador y la interfaz cerebro-ordenador.

Entre los desafíos se encuentran el riesgo de reduccionismo, el establecimiento de relaciones válidas entre cerebro y comportamiento, el logro de una mayor replicabilidad y la vinculación de los contextos experimentales con los cotidianos. Por lo tanto, busca comprender cómo surge la mente a partir de la función cerebral y cómo este conocimiento puede aplicarse a la medicina, la educación y la tecnología.

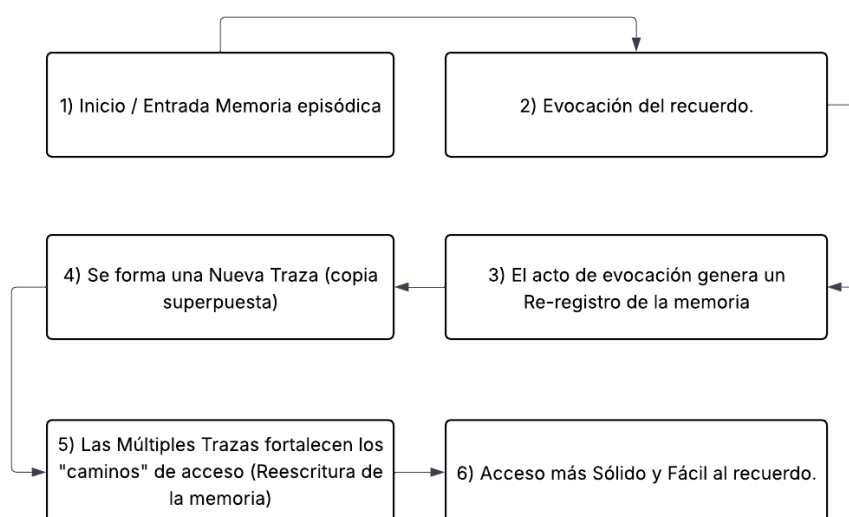
A. La Teoría de la Consolidación de la Memoria de Lynn Nadel y Morris Moscovitch

Como ha mencionado Lee (2025), Nadel y Moscovitch, dijeron que, siempre que se recupera la memoria episódica, está no solo se recupera del archivo, sino que también se forma un nuevo rastro en el hipocampo. Con el paso del tiempo y múltiples asistencias de evocación, los engramas se fortalecen y se facilita el camino hacia la misma información.

Las aportaciones de Nadel y Moscovitch guardan una estrecha relación con los hallazgos de esta investigación, ya que explican cómo la evocación repetida de la memoria no sólo reactiva el engrama original, sino que también genera nuevas huellas neuronales en el hipocampo. Este proceso de consolidación coincide con los patrones observados en los registros electroencefalográficos del estudio, donde la repetición de tareas y la recuperación activa fortalecieron las conexiones sinápticas y mejoran el rendimiento cognitivo. En consecuencia, la teoría de la memoria episódica y los resultados empíricos aquí obtenidos convergen en un mismo principio: el aprendizaje significativo se construye a partir de la reactivación y el fortalecimiento progresivo de los engramas, base neurobiológica que sustenta la propuesta transformacional del modelo neuroeducativo.

Figura 45

Estructura de la teoría de L. Nadel y M. Moscovitch



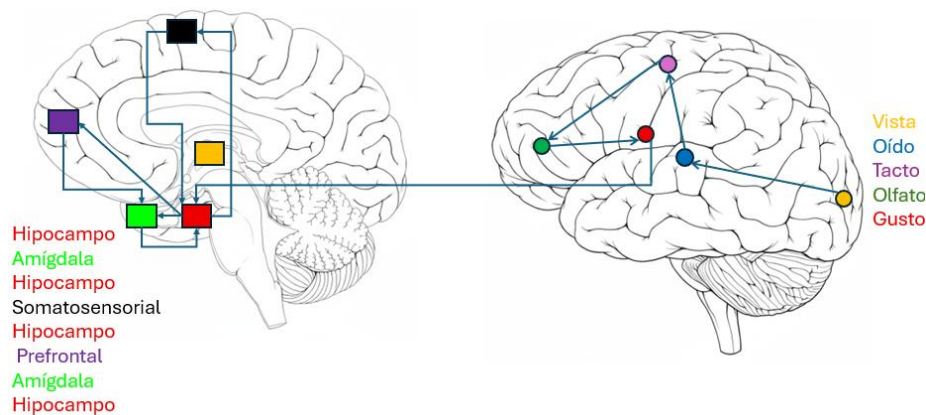
Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de la memoria de Lynn Nadel y Morris Moscovitch.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales - Hipocampo
2. Amígdala
3. Hipocampo
4. Somatosensorial,
5. hipocampo – prefrontal
6. Amígdala -Hipocampo

Figura 46

Engrama de la Teoría de L. Nadel y M. Moscovitch



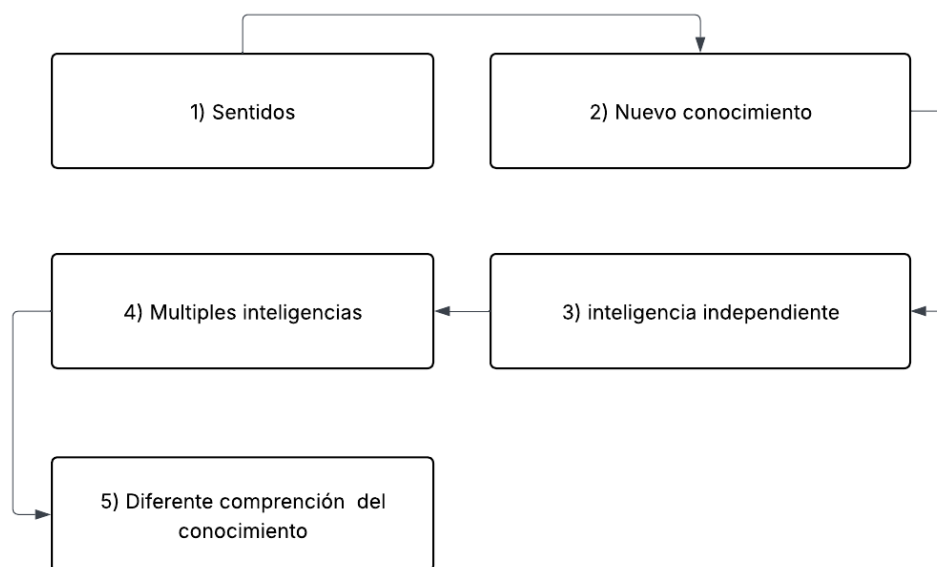
Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica Lynn Nadel y Morris Moscovitch [se lee de derecha a izquierda].

B. La Teoría de las Inteligencias Múltiples de Howard Gardner

Gardner propone que existen múltiples inteligencias y maneras de resolver problemas o de "conocer" y, en su lugar dice que la mente humana podría tener centros de inteligencia independientes, lo que permite una comprensión más matizada de las capacidades humanas (May-Varas et al, 2023) La teoría de las inteligencias múltiples de Gardner complementa los resultados de esta investigación al ofrecer un marco conceptual que explica la diversidad de activaciones cerebrales observadas durante el aprendizaje. La evidencia obtenida mediante electroencefalografía confirma que los estudiantes movilizan distintos circuitos neuronales según el tipo de tarea y el estilo cognitivo predominante, lo que coincide con la idea de que existen múltiples formas de inteligencia y de representación del conocimiento. Esta convergencia entre teoría y evidencia empírica refuerza la necesidad de un enfoque educativo personalizado, capaz de reconocer la singularidad neurocognitiva de cada estudiante y de diseñar estrategias pedagógicas acordes con su perfil de aprendizaje.

Figura 47

Estructura de la Teoría de Howard Gardner



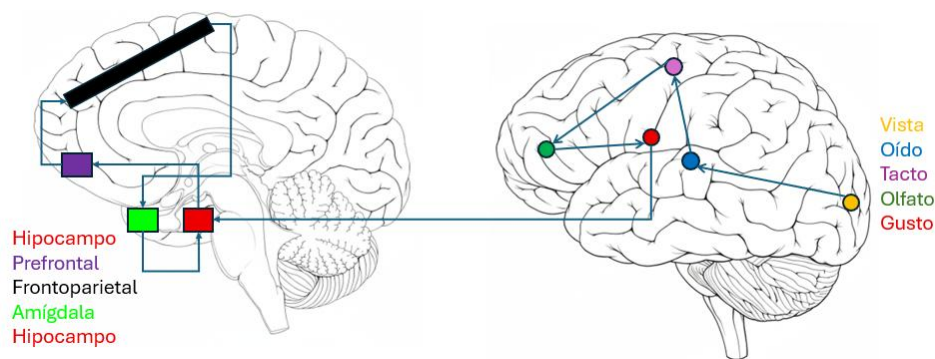
Nota. Estructura teórica de la propuesta teórica de las inteligencias múltiples de Howard Gardner.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo
3. Prefrontal
4. Fronto-Parietal
5. Amígdala -Hipocampo

Figura 48

Engrama de la Teoría de Howard Gardner



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de las Inteligencias Múltiples de Howard Gardner [se lee de derecha a izquierda].

C. La Teoría de la Plasticidad Cerebral de Eric Kandel y James McGaugh

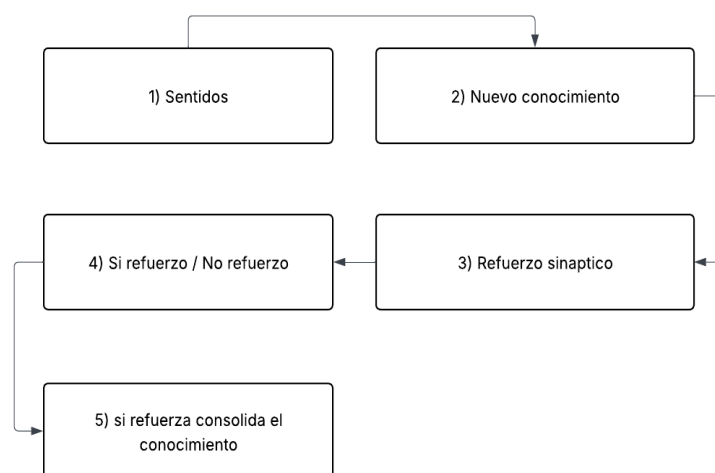
La neuroplasticidad es la capacidad del cerebro para cambiar, y esta capacidad cambia a través de la experiencia y la práctica. Eric Kandel (1970) demostró que el aprendizaje aumenta la fuerza de las sinapsis y, por lo tanto, algunas se fortalecen o debilitan según la experiencia. James McGaugh sostiene que se produce la consolidación de la memoria con el tiempo e identificó los procesos neurobiológicos, incluyendo el papel de las hormonas del estrés, los neuromoduladores y otros mecanismos que influyen en la fuerza y la estabilidad de los rastros de memoria. Como

menciona McGaugh (1995) “el cerebro no es fijo, sino plástico y, por lo tanto, cambia su estructura y función en respuesta a la experiencia”. (p. 3).

Los avances de esta teoría siguen incluso en la actualizada con el descubrimiento de nuevos procedimientos en neuroimagen, como lo menciona Wu (2025) “la neuroplasticidad impulsa cambios significativos en el sistema nervioso y es fundamental para el desarrollo, el aprendizaje permanente, así como para la formación de la memoria”. (p. 3) La plasticidad ayuda al aprendizaje y evocación, y la memoria durante el desarrollo, pero también a la recuperación del cerebro después de una lesión (Axelrod et al. 2023; Daugirdiene, 2024).

Figura 49

Estructura de la Teoría de E. Kandel y J. McGaugh



Nota. Estructura teórica de la propuesta de la Plasticidad Cerebral de Eric Kandel y James McGaugh Gardner.

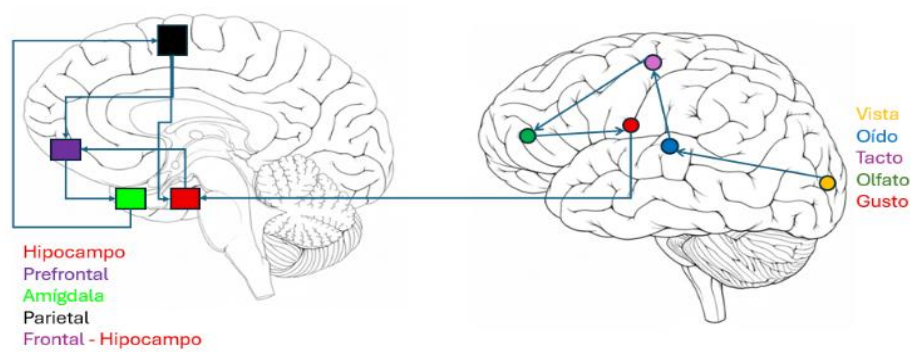
Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo
3. Prefrontal
4. Amígdala - Parietal

5. Fronto-Hipocampal

Figura 50

Engrama de la Teoría de E. Kandel y J. McGaugh



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de E. Kandel y J. McGaugh [se lee de derecha a izquierda].

En el contexto de este estudio, la neuroplasticidad constituye el eje explicativo que permite comprender los resultados obtenidos mediante el registro electroencefalográfico y la observación de los engramas durante las tareas de aprendizaje. Los cambios en la actividad eléctrica cerebral reflejan la reorganización sináptica descrita por Kandel y McGaugh (1970), demostrando que cada experiencia de aprendizaje modifica de manera tangible la estructura funcional del cerebro. Esta capacidad adaptativa, evidenciada en los adolescentes participantes, confirma que el aprendizaje significativo depende de la activación y consolidación de redes neuronales dinámicas. Así, los hallazgos empíricos de la investigación no solo reafirman los postulados teóricos de la neuroplasticidad, sino que también proporcionan una base sólida para el modelo neuroeducativo propuesto, que busca traducir estos mecanismos biológicos en estrategias pedagógicas aplicables y efectivas en el aula.

D. La Teoría Universal de las Conexiones de “las ondas cerebrales” de Vitaly L. Galinsky y Lawrence R. Frank

Las capas de la corteza del cerebro son capaces de alojar ondas eléctricas suaves que se propagan y que tienen una duración más larga que los impulsos de las neuronas, y estas ondas pueden propagarse sin estar necesariamente restringidas a las direcciones de las fibras nerviosas, particularmente en regiones muy curvas del cerebro.

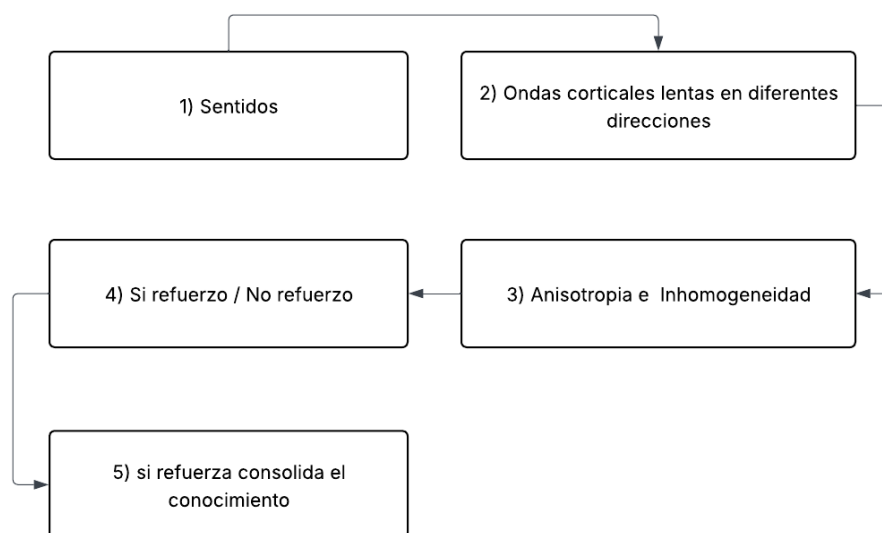
Galinsky y Frank (2020) plantean una teoría que propone un posible mecanismo físico sustentado en dos elementos fundamentales. El primero es la anisotropía, entendida como la variabilidad de las propiedades eléctricas del tejido cerebral así como la conductividad y la permisividad en función de la dirección en la que la corriente se propaga a través de las neuronas. En otras palabras, la conducción eléctrica no es uniforme, sino que depende de la orientación y del tipo de fibras neuronales implicadas. El segundo elemento es la inhomogeneidad, la cual describe cómo las propiedades eléctricas del tejido cerebral varían en función de la región o la estructura hacia la que se dirigen las señales neuronales, independientemente del nivel de conductividad. Ambos fenómenos explican las diferencias en la propagación de la actividad eléctrica cerebral y ayudan a comprender cómo se configuran los patrones neurofisiológicos que sustentan el aprendizaje y la memoria.

Estos principios físicos permiten comprender con mayor precisión cómo la actividad eléctrica cerebral se organiza y distribuye durante los procesos de aprendizaje. La anisotropía y la inhomogeneidad explican la variabilidad en la activación de redes neuronales observada en los registros electroencefalográficos, especialmente durante las fases de codificación, evocación y toma de decisiones. En este contexto, los engramas pueden interpretarse como configuraciones dinámicas de conectividad que se modifican a medida que el cerebro reorganiza sus patrones eléctricos y sinápticos frente a nuevos

estímulos. Así, la evidencia obtenida mediante EEGi en tiempo real confirma que el aprendizaje no solo implica una respuesta cognitiva, sino también una reorganización estructural y funcional del cerebro, lo que constituye la base neurofisiológica del modelo de aprendizaje propuesto en esta investigación.

Figura 51

Estructura de la Teoría de V. Galinsky y L. Frank



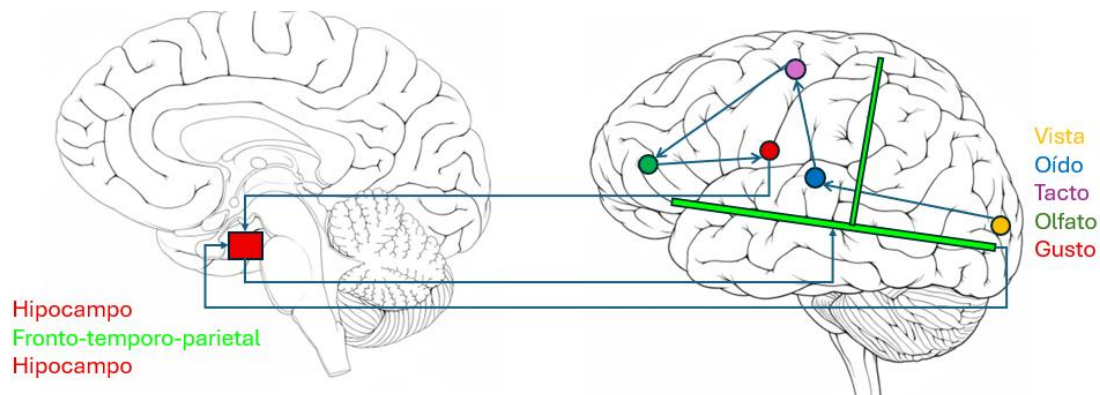
Nota. Estructura teórica de la propuesta de la Teoría Universal de las Conexiones de “las ondas cerebrales” de Vitaly L. Galinsky y Lawrence R. Frank.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo
3. Fronto-temporo-parietal
4. Hipocampo

Figura 52

Engrama de la Teoría de V. Galinsky y L. Frank

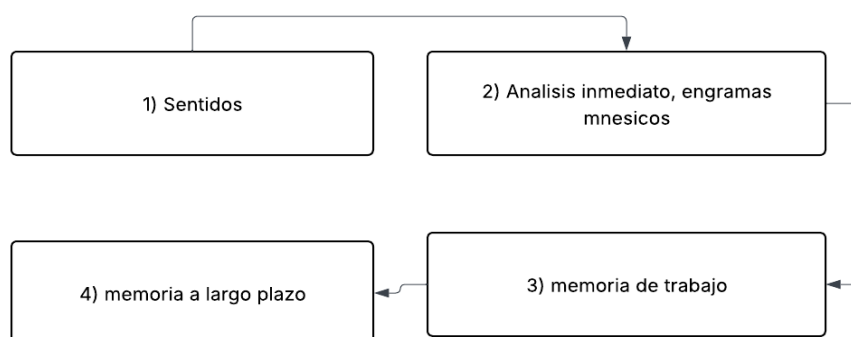


Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica de la teoría de las conexiones de “las ondas cerebrales” de Vitaly L. Galinsky y Lawrence R. Frank [se lee de derecha a izquierda].

El modelo de Tvetter publicado en el año 1966, fue un gran avance respecto al modelo jerárquico unidireccional de Atkinson y Shiffrin, al proponer nuevas vías interconectadas a los subsistemas de la memoria, lo que permitiría la reactivación de los engramas para su posterior mantenimiento (la memoria de trabajo hacia la memoria de largo plazo): Una primera conexión la memoria operativa. La segunda, la potenciación a largo plazo (Ghosh et al., 2020).

Figura 53

Estructura del Modelo de Tvetter



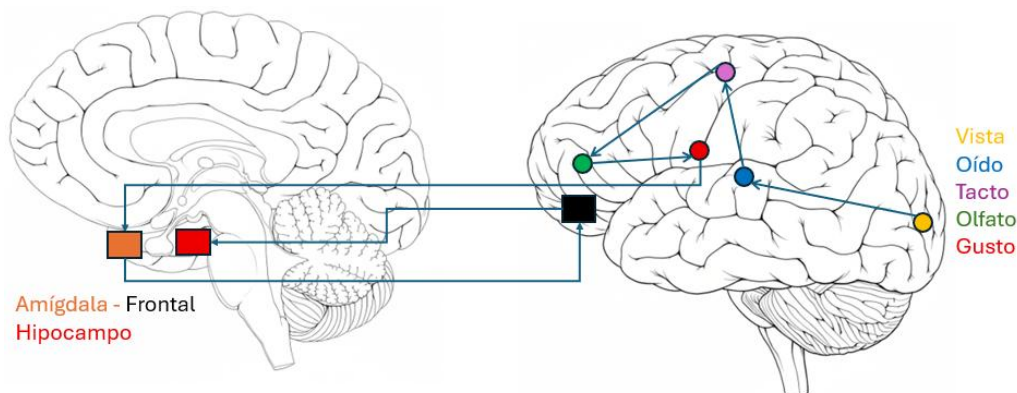
Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo de Tvester de la memoria de trabajo hacia la memoria de largo plazo.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala - Frontal
3. Hipocampo

Figura 54

Engrama del Modelo de Tvester



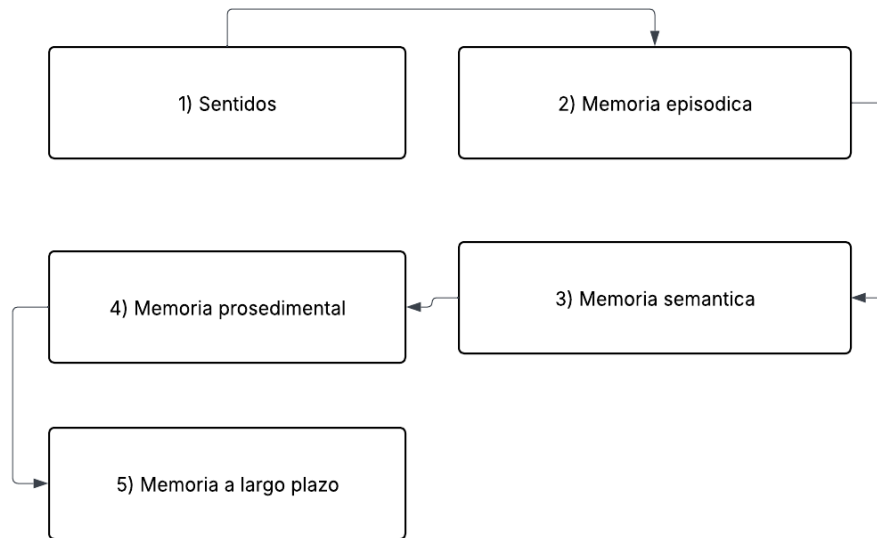
Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del modelo de Tvester de la memoria de trabajo hacia la memoria de largo plazo [se lee de derecha a izquierda].

Modelo de Tulving (1987), En la década de 1970, Tulving definía la memoria como “la capacidad de los organismos para retener y utilizar información previamente adquirida” (Tulving, 1972), postuló para su modelo un sistema por jerarquías de memoria en tres etapas (Ghosh et al., 2020):

- La memoria episódica, que almacena episodios personales;
- La memoria semántica, que deriva relaciones entre episodios; y
- La memoria procedimental, que extrae acciones coordinadas.

Figura 55

Estructura del Modelo de Tulving



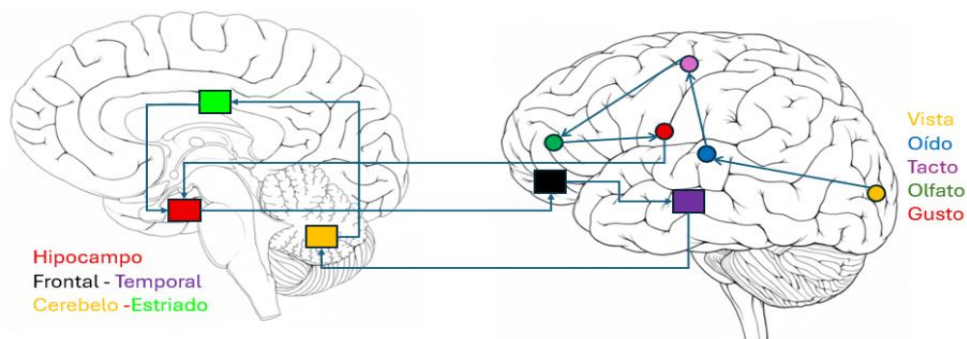
Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo jerárquico de Tulving.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Hipocampo
3. Frontal-Temporal
4. Cerebelo -Estriado
5. Hipocampo

Figura 56

Engrama del Modelo de Tulving

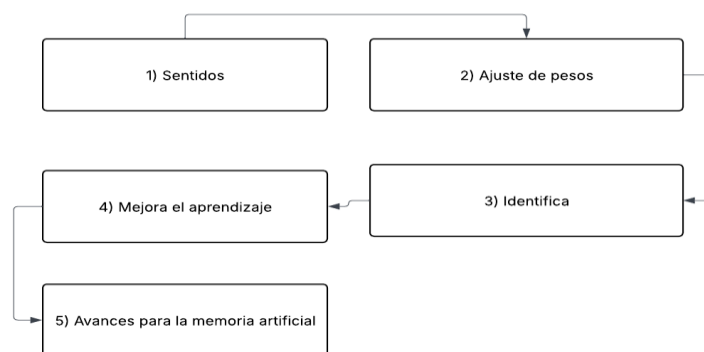


Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del modelo jerárquico de Tulving [se lee de derecha a izquierda].

A finales de la década de 1980 y comienzos de la de 1990, Rumelhart, Hinton y Williams (1986) publicaron su modelo basado en redes neuronales, en el cual plantearon la existencia de pesos de entrada y de salida cuya actualización progresiva permite minimizar los errores cognitivos durante el aprendizaje. Este modelo teórico sirvió de base para la creación formal de la inteligencia artificial, Según Squire (2029) “Después de la adquisición inicial, la actividad neuronal es selectiva a esa asociación y va en aumento” es el fundamento para que las redes aprendan mejor. (p.127).

Figura 57

Estructura del Modelo de Rumelhart, Hinton y Williams



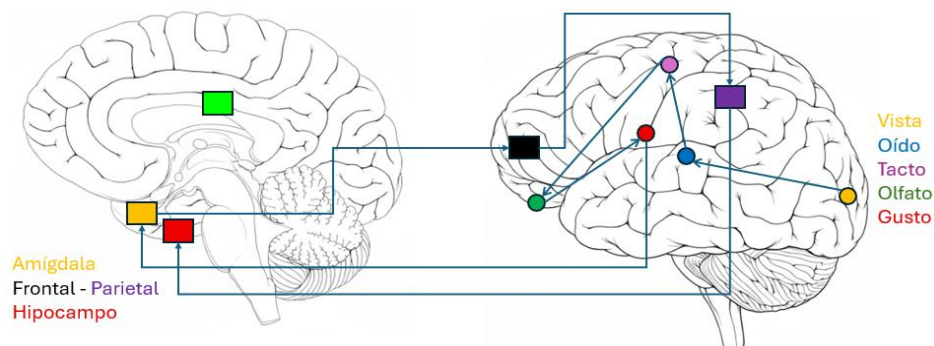
Nota. Estructura teórica de la propuesta del modelo de las redes neuronales de Rumelhart, Hinton y Williams.

Orden secuencial cerebral teórico basado en el flujo de la construcción teórica de la estructura conceptual:

1. Receptores sensoriales
2. Amígdala
3. Frontal- Parietal
4. Hipocampo
5. Modelo para la inteligencia artificial

Figura 58

Engrama del Modelo de Rumelhart, Hinton y Williams



Nota. Engrama cerebral hipotético de la propuesta teórica del modelo de las redes neuronales de Rumelhart, Hinton y Williams [se lee de derecha a izquierda].

En los últimos dos años antes del 2025 ha tomado mucho auge y se ha postulado que el aprendizaje contextual se puede explicar de manera más simple entendiendo tres aspectos fundamentales.

- Primero, nuestro cerebro interpreta el contexto basándose en las señales de éxito o fracaso, el medio ambiente y los factores naturales como el paso del tiempo.
- Segundo, nuestra experiencia previa modifica lo que significa el nuevo aprendizaje.
- Tercero, una vez que comprendemos el contexto actual, esto influye necesaria y significativamente en cómo recordamos y aprendemos (Heald et al., 2023).

Los estudios actuales de imagen funcional en seres han mostrado que la actividad hipocampal es capaz de predecir el tipo de memoria que generará; estos hallazgos proporcionaron la evidencia que relaciona engramas hipocampales durante el aprendizaje y la evocación (Watson et al., 2024).

2.3.11. Anatomía funcional cerebral orientada al proceso del aprendizaje

Históricamente, los procesos cerebrales fueron aceptados desde la teoría localizacionista, pero la tecnología en neuroimagen funcional demostró que, si bien existen regiones, estas no se comportan en forma estática, son en extremo dinámicas.

Basados en los modelos funcionales más realistas se evidencia las conexiones intracerebrales las cuales deben ser conocidas para poder fundamentar los engramas,

Este nuevo paradigma, que se fundamenta en el modelado basado en la anatomía funcional, tiene muchas aplicaciones a favor de la neuroeducación (Herbet, G., & Duffau, H. 2020).

2.3.11.1 La teoría localizacionista

Hace dos siglos, algunos pensadores propusieron que el cerebro trabajaba por regiones, Pierre Flourens propuso la teoría de la equipotencialidad y Joseph Gall en 1818 propuso las bases conceptuales de la frenología, que manifestaba que el cerebro tenía áreas únicas de funcionamiento. Broca en 1861 asoció los daños presentados por un paciente en la tercera circunvolución frontal con deficiencias del habla. De igual

manera, Wernicke (Wernicke C. 1874) asoció la comprensión de palabras con la circunvolución temporal posterior izquierda. Esta forma de ver el cerebro dio paso a pensar que el cerebro era único y que trabajaba por regiones. (Herbet & Duffau, 2020).

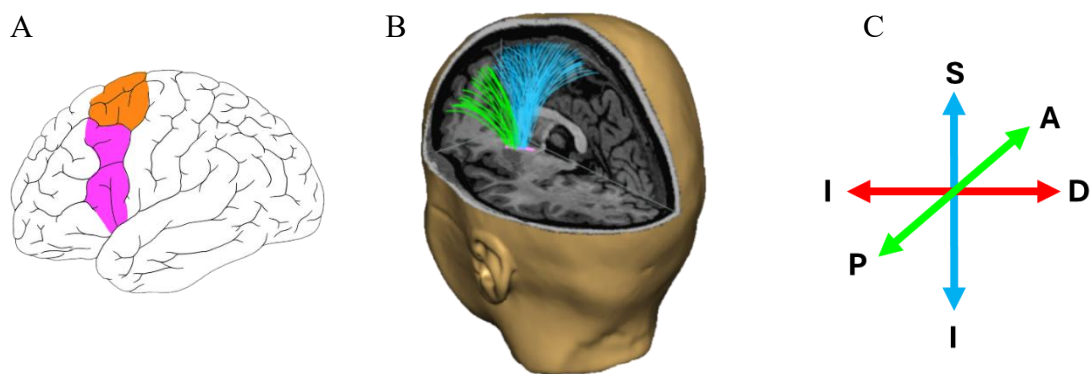
Pacientes con lesiones graves se recuperaron, lo que dio a pensar en interconectividad y neuroplasticidad pero la idea no fue muy aceptada. (Luria et al., 1969; Pia, 1985; Saporta, 1992; Molenberghs, 2016). Esta teoría de localización por regiones fue aceptada por dos siglos. Campbell (1905) ya proponía en firme modelos de conexión. A continuación, veremos las principales conexiones que son utilizadas en los procesos de aprendizaje y memoria.

2.311.2 Cognición Sensoriomotora

Los seres humanos somos altamente conscientes de nuestras acciones motoras y sensoriales, fenómeno conocido como cognición sensoriomotora. Esta capacidad permite ejecutar acciones con significado y aprovecharlas como base para el aprendizaje (Jeannerod, 1997; Rech et al., 2016; Kinoshita et al., 2015). Las vías son la vía motora y el fascículo frontal inclinado. Una disrupción transitoria de esta vía puede provocar alteraciones en el inicio del habla (arresto del habla o tartamudeo) o de movimientos. (Herbet & Duffau, 2020).

Figura 59

Cognición Sensorio Motora, Localización y Trayectos

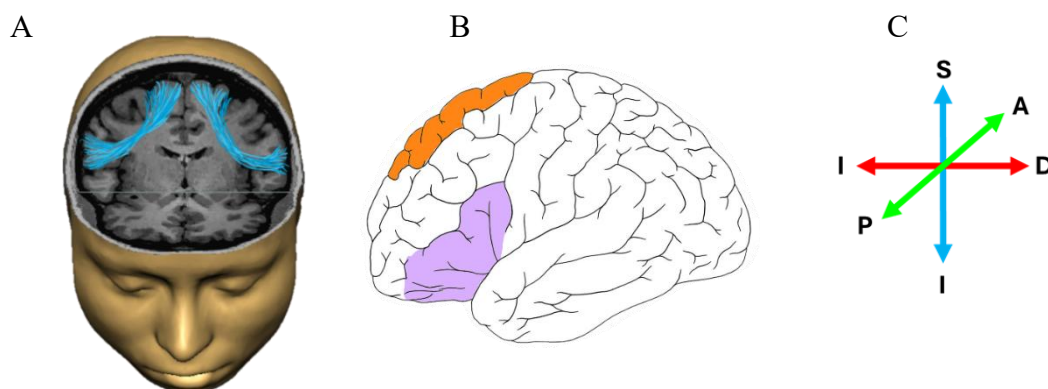


Nota. Corte a tres planos de la sub vía motora:

- En la figura A, vemos que esta vía está constituida por el área motora suplementaria resaltada de color naranja en la figura y la corteza premotora lateral de color rosa.
- En la figura B, se aprecia cómo estas áreas están interconectadas con la cabeza del núcleo caudado (color rosa) a través del tracto frontoestriado (color azul y verde),
- La figura C es el código estándar de colores, verde anteroposterior, azul supero inferior y rojo de izquierda a derecha. de la figura A, los tractos B y código de colores C. Los cortes tomográficos realizados con el software BrainVoyager de Brain Innovation ©.

Figura 60

Fascículo frontal inclinado



Nota. Corte a dos planos. Figura A muestra el corte a dos planos de fascículo frontal inclinado de color azul, que provee densas conexiones intralobares en dirección superior e inferior entre el área motora suplementaria de color naranja y el giro frontal inferior de color violeta en la figura B, que son el inicio de la acción y el habla. Una disrupción transitoria de esta vía puede provocar alteraciones en el inicio del habla (arresto del habla o tartamudeo) o de movimientos. La figura C es el código estándar de colores, verde anteroposterior, azul supero inferior y rojo de izquierda a derecha. de los tractos

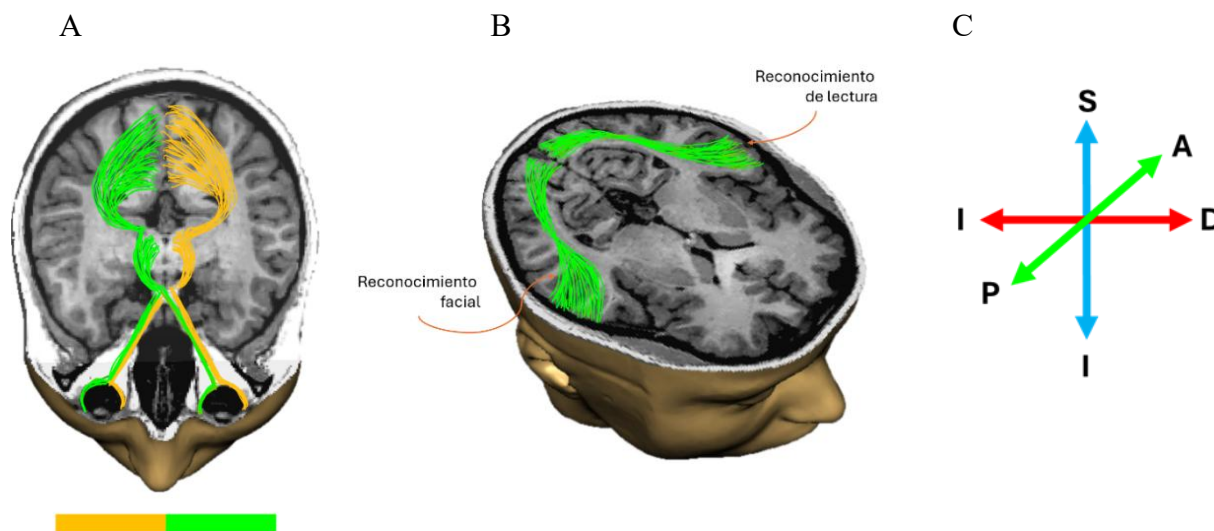
de la figura A, la figura B y el código de colores C. Los cortes tomográficos realizados con el software BrainVoyager de Brain Innovation ©.

2.3.11.3 Cognición visual y espacial

La información visual llega al polo occipital a través del tracto óptico y las radiaciones ópticas, y es procesada por la vía inferolateral occipito-temporal en la cual la transmisión de señales es apoyada por el ILF (fascículo longitudinal inferior) (figura 16 B). Esta conectividad de sustancia blanca interconecta las regiones occipitales y temporo-occipitales con la parte lateral y medial del polo temporal, difundiendo información crítica para la cognición visual y el reconocimiento de objetos. La lesión de este tracto causa pérdida parcial de la visión; la participación del ILF derecho desempeño en reconocimiento facial y en el hemisferio izquierdo, está relacionada con lectura, recuperación léxica y procesos semánticos, de acuerdo con el dominio hemisférico izquierdo del lenguaje (Herbet & Duffau, 2020).

Figura 61

Cognición Visual y Espacial



Nota. El tracto y las radiaciones ópticas. (Para diferenciar las vías derecha e izquierda usamos color naranja y verde que en este caso indican dirección anteroposterior) (A).

La vía inferolateral occipito-temporal (color verde) con el ILF (fascículo longitudinal inferior derecho relacionado con el reconocimiento facial y el ILF izquierdo se relacionaría con la lectura) (B). Código de colores C. gráfico de los tractos A y B. La figura C es el código estándar de colores, verde anteroposterior, azul supero-inferior y rojo de izquierda a derecha. Los cortes tomográficos realizados con el software BrainVoyager de Brain Innovation ©.

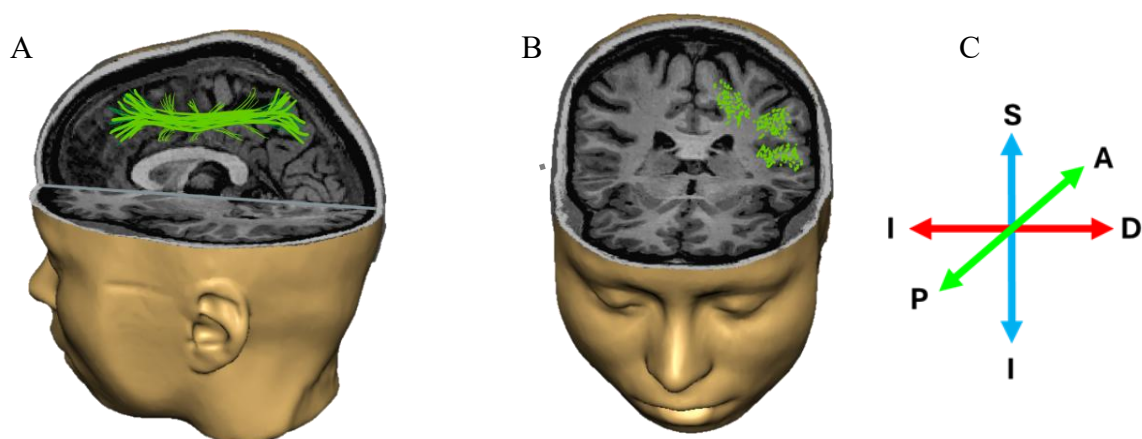
2.3.11.4 Cognición del lenguaje y la semántica

La cognición semántica y del lenguaje abarcan procesos centrados en el significado y el lenguaje respectivamente, sustentados por redes neurales distribuidas principalmente en los lóbulos frontal, temporal y parietal. Las rutas neurales involucradas en el procesamiento cognitivo del lenguaje y la semántica presentan dos rutas principales:

- Ruta dorsal: Mapea información visual a articulación a través de conversión viso-fonológica que involucra el fascículo longitudinal superior (SLF) figura 17, que conecta áreas temporales con frontales. Se lateraliza al hemisferio izquierdo. Su lesión causa afasia de conducción.

Figura 62

Fascículo Longitudinal Superior

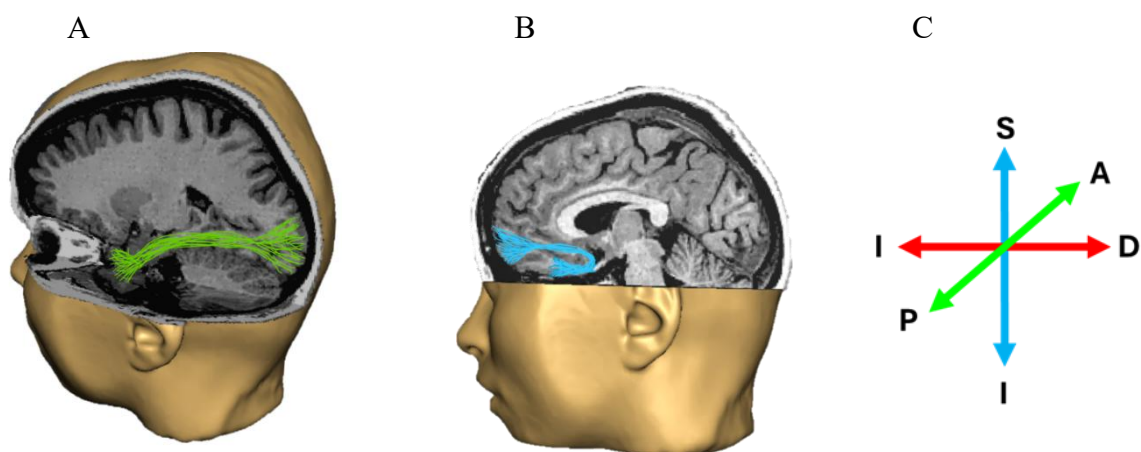


Nota. Figura (A) Fascículo longitudinal superior vista sagital. (B) Fascículo longitudinal superior vista frontal, nótese como las fibras del fascículo invaden la región temporal. Gráfico de los tractos A y B. La figura C es el código estándar de colores, verde anteroposterior, azul supero-inferior y rojo de izquierda a derecha. Los cortes tomográficos realizados con el software BrainVoyager de Brain Innovation © 2024.

- Ruta ventral: Procesa información visual en significado semántico. Tiene distribución más bilateral. Involucra conexiones directas vía fascículo occipitofrontal y conexiones indirectas vía fascículo longitudinal inferior (ILF) y fascículo uncinado (UF). Participa en el procesamiento semántico verbal y no verbal. Figura 62.

Figura 63

Fascículo Longitudinal Inferior y Uncinado



Nota. Fascículo Inferior (A) y Fascículo uncinado (B) relacionado a la cognición semántica y no semántica. Gráfico de los tractos A y B. La figura C es el código estándar de colores, verde anteroposterior, azul supero-inferior y rojo de izquierda a derecha. Los cortes tomográficos realizados con el software BrainVoyager de Brain Innovation © 2024.

Este fascículo está estrechamente relacionado con la memoria de trabajo cognitivo (MTC), una función esencial para el procesamiento y la coordinación de la información. La utilizamos para planificar, razonar, reconocer rostros, recordar nombres, seguir instrucciones, mantener conversaciones y resolver problemas complejos (Naveh-Benjamin & Cowan, 2023). Además, se han descrito asociaciones entre este fascículo y la memoria de trabajo tanto en niños como en adultos (Öngür, 2010; Darby, 2017).

Análisis Comparativo los Engramas con las Diferentes Corrientes Psicológicas del Aprendizaje

Partiendo de los fundamentos conceptuales y la literatura especializada presentados, podemos desarrollar un análisis comparativo, sintético y argumentativo de las principales tendencias del aprendizaje psicológico y su mapeo hipotético de engramas, con implicaciones para el diseño pedagógico avanzado; así, este análisis proporcionará una comprensión integral de las diversas tendencias del aprendizaje.

El estructuralismo, con su énfasis en los átomos de la experiencia y la introspección controlada, inicia una preocupación por la estructura representacional y, por lo tanto, anticipa la codificación contemporánea y la división de rasgos; desde la perspectiva de los engramas esto implica vías sensoriales tempranas, conexión tálamo-cortical y registros hipocampales nacientes que facilitan la disección analítica y el etiquetado fenomenológico.

El funcionalismo desplaza el énfasis hacia el valor adaptativo de la mente, sugiriendo que la atención, el hábito, la emoción y la voluntad organizan el flujo de la conciencia por objetivos, porque esto se alinea con los sistemas atencionales frontoparietales, los ajustes límbicos y la consolidación hipocampo-orbitofrontal que permiten la selección, la retroalimentación y la transferencia contextual de respuestas efectivas.

Por el contrario, el conductismo postula una ontología parsimoniosa del aprendizaje a través de la asociación y las consecuencias, respaldada por pruebas experimentales reproducibles, y por lo tanto, las huellas neurofuncionales plausibles

abarcan vías sensoriales, la amígdala para las evaluaciones emocionales, el cuerpo estriado para el desarrollo de hábitos y el cerebelo para la automatización, sustentando estrategias de instrucción que enfatizan los discriminantes en el refuerzo diferencial y el moldeamiento del desempeño.

La teoría de la Gestalt propone que el aprendizaje surge de totalidades organizadas y reestructuraciones abruptas del campo de problemas, por lo que los correlatos de engramas sensatos incluyen jerarquías de organización figura-fondo visual-parietales, interacción prefrontal para la reconfiguración de hipótesis e implicación del hipocampo para anclar "buenas formas", lo que legitima las tareas de alta prominencia perceptual, los problemas estructurados y la evaluación de la comprensión.

La psicología cognitiva sintetiza estas perspectivas bajo el paradigma del procesamiento de la información, formalizando la atención, la memoria de trabajo, la codificación y los procesos de recuperación, y por lo tanto, esto se relaciona con las redes ejecutivas frontoparietales, los bucles fonológicos y visuoespaciales, el acoplamiento hipocampo-cortical para la consolidación y, fundamentalmente, las limitaciones operativas (por ejemplo, la carga y la agrupación) que guían la segmentación, la práctica espaciada, la intercalación y la evaluación basada en la recuperación.

El constructivismo, tanto a nivel individual (Piaget) como sociocultural (Vygotsky), afirma que el aprendizaje es una reestructuración a través de la asimilación-acomodación y la mediación cultural. Desde los engramas, el acoplamiento hipocampo-cortical para la resolución de esquemas y las redes parietales-frontales para los instrumentos semióticos y el habla privada que progresa hacia la autorregulación, justifican el andamiaje gradual, la activación explícita del conocimiento previo y las actividades auténticas de negociación del significado.

La teoría del aprendizaje social de Bandura introduce además el principio de agencia observacional, donde los cuatro factores de atención, retención, reproducción y

motivación están modulados por las creencias en la autoeficacia, y por lo tanto, un mapeo neuronal plausible incluye el sistema de control atencional frontoparietal, la codificación de secuencias del hipocampo, la planificación motora y la valoración amigdalina de los resultados vicarios, lo que justifica el uso deliberado del modelado de pares expertos y la retroalimentación diferida para optimizar la adherencia y la transferencia del conocimiento.

Finalmente, la neurociencia cognitiva ofrece un marco explicativo transversal que vincula la plasticidad sináptica, las múltiples huellas y las oscilaciones con el desempeño conductual, y así, la evidencia de la consolidación dependiente del hipocampo, el papel del cuerpo estriado en la formación de hábitos, las contribuciones de las redes por defecto y ejecutivas, convergen con hallazgos recientes sobre engramas hipocampales dinámicos y codificación contextual, que validan las decisiones instruccionales con respecto a la dosificación temporal, la alternancia exploración-explotación y la evaluación multimodal de la retención y la transferencia.

Estas corrientes no son mutuamente excluyentes sino complementarias, porque mientras el conductismo refuerza la ingeniería del desempeño, la Gestalt optimiza la forma de la información, la cognición regula la carga y la recuperación, el constructivismo asegura un anclaje significativo y la sociocognición impulsa la imitación guiada y la agencia, y por lo tanto, su integración neuroeducativa, articulada a través de trayectorias de los engramas plausibles (sensorial-límbica-frontal/estratificada-hipocampal), permite al especialista en educación alinear la intención didáctica, la secuenciación, la forma perceptual, las contingencias y la evaluación, maximizando la fijación y la probabilidad de transferencia sin sacrificar la comprensibilidad, la validez ecológica o el rigor empírico.

2.4 Marco Contextual.

La presente investigación se desarrolló en un contexto socioeducativo real, caracterizado por dinámicas escolares propias de la educación secundaria y por la

coexistencia de retos y oportunidades para la innovación pedagógica. El estudio se ejecutó en la Unidad Educativa “Lev Vygotsky”, ubicada en San Juan Bautista de Sangolquí, provincia de Pichincha, Ecuador, durante los meses de julio y agosto del año lectivo 2025. La muestra estuvo conformada por estudiantes adolescentes voluntarios, con edades entre 13 y 18 años, quienes cursan la educación secundaria en dicha institución.

El marco contextual se sustenta en la necesidad contemporánea de producir evidencia con alta validez ecológica, es decir, obtenida en condiciones auténticas de aprendizaje. Las experiencias más recientes y los principales aportes identificados en el estudio muestran que la práctica investigativa del objeto de estudio se está desplazando, de manera justificada, desde escenarios controlados de laboratorio hacia contextos escolares reales, porque solo en un entorno ecológico es posible captar la verdadera complejidad auténtica del aprendizaje adolescente y evitar conclusiones poco transferibles a la escuela.

En ese marco, el uso de electroencefalografía inalámbrica no invasiva (EEGi) y el uso de los paquetes de software como EEGLAB® (Delorme y Makeig, 2004) permiten el análisis de datos complejos y proporcionan información sobre la función cerebral durante el aprendizaje, lo que lleva a lograr un valor metodológico decisivo, no se trata únicamente de “medir” actividad cerebral, sino de sostener una investigación educativa con protocolos estandarizados y análisis rigurosos de señal mediante software especializado, lo cual fortalece la validez y la trazabilidad de los hallazgos. A la vez, la literatura revisada respalda que los procesos de memoria y aprendizaje no son entidades fijas, sino patrones dinámicos “como los engramas” que dependen del contexto de codificación y recuperación; por ello, resulta argumentativamente necesario diseñar tareas y actividades que contemplen dicha plasticidad y que, además, se contrasten con evidencia conductual y de desempeño académico.

Esta convergencia impulsará una integración multinivel propia de la neuroeducación contemporánea; los registros neurofisiológicos deben dialogar con marcos teóricos del aprendizaje (conductuales, cognitivos, constructivistas y socioculturales) para evitar reduccionismos y producir explicaciones pedagógicamente

pertinentes. En consecuencia, el aporte no queda en el plano técnico, sino que se traduce en orientaciones operativas para la escuela tales como la segmentación de ciclos de aprendizaje, pausas breves, recursos multimodales y práctica de recuperación espacial, siempre bajo criterios éticos y legales aplicables a población adolescente en el sistema educativo ecuatoriano; así, la investigación no solo describe, sino que fundamenta transformaciones pedagógicas basadas en evidencia empírica y contextualizada.

Esta investigación cumplió con todas las normas éticas y legales nacionales e internacionales, y la Declaración de Helsinki (2024) establece los principios fundamentales que deben respetarse al realizar investigaciones con seres humanos. Esta declaración garantiza los derechos y la dignidad de los participantes, y, además, se respetó la legislación nacional sobre educación e investigación en Ecuador (Declaración de Helsinki, 2024; Ley Orgánica de Educación Intercultural, 2011).

El uso de la diadema de EEGi, EmotivPRO para medir la actividad cerebral de los estudiantes mientras realizan tareas de aprendizaje y memoria, y su carácter no invasivo y la capacidad para recopilar datos en entornos ecológicamente válidos, como las aulas, lo hacen particularmente valioso para la investigación educativa aplicada (Palacios, 2002).

2.5 Marco Legal y Normativo

2.5.1 Las reglas que rigen el desarrollo del tema investigado

Tras las atrocidades cometidas a nombre de la ciencia durante la Segunda Guerra Mundial, aparecen las declaraciones de principios éticos fundamentales como el Código de Nuremberg (United States Holocaust Memorial Museum, 2023) y la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2024), que ampara a los seres humanos contra investigaciones antiéticas.

2.5.2 Leyes que sustentan la legalidad de la investigación a realizarse

Algunas de las principales leyes y normativas en Ecuador que sustentan y regulan la investigación clínica y en educación con seres humanos son:

- Constitución de la República del Ecuador (2008): Establece el derecho a la integridad personal, prohibiendo experimentación sin consentimiento informado.
- Ley Orgánica de Salud (2012): Regula los requisitos y procedimientos para investigaciones en salud. Exige consentimiento informado.
- Reglamento de investigación en seres humanos (2013): Detalla los requerimientos éticos y metodológicos. Creó el Comité de Bioética Nacional.
- Guía de Práctica Clínica para investigación en seres humanos, de la ARCSA (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria) basada en la Declaración de Helsinki.
- Ley Orgánica de Educación Superior (2018): Obliga a las universidades a crear comités de bioética para evaluar protocolos de investigación.
- Reglamento de funcionamiento de los comités de ética de investigación en seres humanos (2018): Establece pautas para conformación y funcionamiento de comités de ética.
- Código Orgánico de la Salud (2022): Incorpora normas éticas de investigación clínica y uso de datos en concordancia con estándares internacionales.
- Ley Orgánica de Educación Intercultural (2011): Fomenta la investigación pedagógica para mejorar la calidad educativa.
- Código de la Niñez y Adolescencia (2017): Exige consentimiento informado de padres para investigaciones con menores de edad.

2.5. 3. Consentimiento informado y asentimiento del menor

2.5.3.1 Modelo de consentimiento informado escrito

En el contexto de una investigación que involucra la participación de niños y adolescentes, como es el caso de esta investigación, es fundamental adherirse a los principios éticos y legales que rigen la investigación con menores de edad. Un aspecto central de estos principios es la obtención del consentimiento informado de los padres o tutores legales y el asentimiento del menor participante.

- El consentimiento informado es un documento que firma el padre o tutor del menor de edad autorizando la investigación científica en la que participa el individuo, previa explicación proporcionada por parte del investigador principal y salvando todas las dudas sobre la misma. Este documento es redactado en un lenguaje claro y comprensible, libre de tecnicismos, para garantizar que los padres o tutores puedan tomar una decisión informada sobre la participación de su hijo/a en la investigación. Este documento es de carácter voluntario y de ser el caso el padre o tutor puede retirar del estudio al menor sin pedir permiso, solo por su propia voluntad.
- Por otro lado, el asentimiento del menor se refiere al documento firmado por el menor de edad que manifiesta su participación libre y voluntaria, previa una explicación sin tecnicismos y en un lenguaje propio para su edad. A diferencia del consentimiento informado, que es otorgado por los padres, el asentimiento reconoce la autonomía y capacidad de decisión del menor en función de su nivel de madurez y comprensión.

La obtención del consentimiento informado y el asentimiento no solo es un requisito ético y legal, sino que también demuestra el compromiso del investigador con la protección y el respeto de los derechos de los participantes menores de edad. De igual manera, favorece la transparencia y la confianza en el proceso de investigación, lo que puede contribuir a una mayor participación y adherencia al estudio.

En los anexos 2 y 3 encontraremos el formato de los dos documentos en mención.

2.5.4 Confidencialidad

Algunas de las principales normativas relacionadas con la confidencialidad en estudios e investigaciones educativas a nivel de educación secundaria en Ecuador son:

- Constitución de la República del Ecuador (2008): Reconoce el derecho a la protección de datos de carácter personal de niños, niñas y adolescentes.

- Ley Orgánica de Educación Intercultural (2011): Señala que es responsabilidad de las instituciones educativas mantener la confidencialidad de los datos personales de estudiantes menores de edad.
- Código de la Niñez y Adolescencia (2003): Establece el derecho a la intimidad y privacidad de datos de los niños, niñas y adolescentes. Prohíbe difundir datos que lesionen su honra o reputación.
- Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (2022): Requiere consentimiento informado de padres para el tratamiento de datos personales de menores de edad.

2.5.5 Protección de los derechos humanos

Ecuador se adhiere rigurosamente a los estándares éticos internacionales para la investigación con sujetos humanos, como lo demuestra la incorporación de dichos principios a la normativa nacional y la ratificación de declaraciones universales de derechos humanos vinculados. El país promulga leyes alineadas con pautas éticas globales y vigila su cumplimiento a través de comités como la Comisión Nacional de Bioética de la Salud. Entre los compromisos adoptados destacan la observancia de preceptos fundamentales como el consentimiento informado, la confidencialidad de datos y la no discriminación de participantes. Ecuador continúa esforzándose activamente por consolidar la protección de los derechos humanos en estudios académicos en consonancia con directrices éticas de máxima relevancia mundial.

La Constitución ecuatoriana establece que los tratados y convenios internacionales de derechos humanos ratificados por Ecuador prevalecen sobre la normativa interna. El país es signatario de declaraciones como el Código de Núremberg, la Declaración Universal de Derechos Humanos, el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, entre otros. Ecuador ha ratificado convenciones internacionales que protegen derechos humanos vinculados a la investigación, como el consentimiento informado, la no discriminación y la confidencialidad. La legislación ecuatoriana en materia de salud y educación hace referencia explícita a la observancia de las declaraciones internacionales de Helsinki y UNESCO sobre investigaciones con seres humanos.

Los reglamentos de los comités de ética de investigación en el país están alineados con estándares internacionales como Buenas Prácticas Clínicas de ICH y Ética de la Investigación de CIOMS/OMS. El Comité Nacional de Bioética de la Salud se encarga de vigilar el cumplimiento de normas internacionales de bioética en investigaciones en salud.

2.5.6 Integridad científica

El marco legal ecuatoriano respalda el desarrollo de investigación educativa ética, responsable y científicamente rigurosa, a través de varias disposiciones:

- La Ley Orgánica de Educación Superior establece que una de las funciones del sistema de educación superior es garantizar la producción de conocimiento responsable y con rigor científico.
- El Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos promueve la investigación ética, responsable y libre de conflictos de interés en todas las áreas.
- Organismos como el Consejo de Educación Superior y el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior supervisan que las investigaciones cumplan estándares de calidad.
- Se han creado comités de ética de investigación y comisiones de ética universitaria para promover la integridad académica.
- Se fomentan buenas prácticas de investigación como evitar plagio, falsificación, publicación duplicada, entre otros.

2.5.7 Propiedad intelectual

La Ley de Propiedad Intelectual ecuatoriana, codificada en 2006 y enmendada en 2016, constituye el principal marco regulatorio nacional que establece derechos de autor y conexos, otorgando resguardos a creaciones intelectuales originales literarias, artísticas, científicas y de índole diversa.

2.5.8 Publicación de los resultados

La publicación de tesis en Ecuador está claramente normada para garantizar los derechos de autor, difusión del conocimiento y transparencia académica; la publicación de los resultados de las tesis de grado y posgrado está regulada principalmente por la siguiente normativa:

- Ley Orgánica de Educación Superior: Establece que las instituciones de educación superior tienen la obligación de publicar las tesis en su repositorio institucional de acceso abierto.
- Reglamento de Régimen Académico: Indica que la tesis debe ser de autoría del estudiante, y ser inédita y de carácter individual. Regula los plazos y el proceso de graduación.
- Reglamentos de grados y títulos de las universidades: Cada universidad define específicamente los requisitos y procedimientos para la graduación y publicación de la tesis.
- Suelen exigir la entrega de ejemplares impresos y digitales.
- Ley de Propiedad Intelectual: Otorga al estudiante los derechos patrimoniales sobre su obra y define los usos permitidos de publicación por parte de terceros.
- Reglamentos de repositorios institucionales: Establecen los metadatos, formatos, accesibilidad, embargo temporal de difusión y otros aspectos de la publicación digital de las tesis.
- Códigos de ética: Promueven la integridad académica en la publicación, evitando plagio o falsificación.

Capítulo III. Fundamentos Metodológicos y Resultados de la Investigación.

A partir de la base teórica previamente establecida y con el fin de avanzar hacia su aplicación empírica, resulta necesario describir ahora el enfoque metodológico que permitirá examinar dichas relaciones en un contexto real de investigación.

Tras haber delimitado en el Capítulo 2 los núcleos fundamentales de las principales corrientes teóricas como son la conductual, cognitiva, gestáltica, constructivista y neurocientífica y su correlato en estructuras conceptuales o engramas teóricos representados en circuitos corticales, el presente capítulo operacionaliza dicha arquitectura en un marco conceptual aplicable y en un diseño metodológico con validez ecológica (busca que los resultados se puedan generalizar en situaciones de la vida real).

En este sentido, se transita desde las correspondencias teóricas como la activación fronto-hipocampal asociada a la codificación, la desincronización alfa o el incremento de la actividad theta vinculados a la carga semántica y la memoria hacia la definición de variables observables, procedimientos de registro mediante electroencefalografía inalámbrica y tareas cognitivas estandarizadas que permiten mapear, en tiempo real, los procesos de formación y evocación de engramas.

Esta progresión metodológica garantiza que cada teoría y modelo se traducen en indicadores neuro educativos medibles, los cuales nutren constructos explícitos de relación teoría–engrama (por ejemplo, Ausubel ↔ activación de conocimientos previos y reorganización de esquemas; Vygotsky ↔ modulación frontoparietal bajo andamiaje; Skinner ↔ patrones de error–predicción y estabilización beta), cerrando así el circuito entre la fundamentación teórica y la medición empírica.

Tabla 4

Operacionalización de Variables

Operacionalización de Variables						
Tema: Neuroeducación y Aprendizaje: Análisis de los engramas neuronales y su relación con las teorías del aprendizaje en adolescentes de la unidad Lev Vygotsky año lectivo 2025 Ecuador						
Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo se puede mejorar el proceso de enseñanza de los adolescentes de la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" - Ecuador, en el año lectivo 2025?	Diseñar un Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, para el mejoramiento de la Enseñanza, Mediante el uso de Engramas Cerebrales y su Relación con las Teorías del Aprendizaje, en Adolescentes de la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" - Ecuador- año lectivo 2025	<p>I. Identificar los patrones de actividad electroencefalográfica durante los procesos de aprendizaje y evocación.</p> <p>II Crear la estructura conceptual teórica de las principales corrientes teóricas del aprendizaje.</p> <p>III Establecer la relación teórica y empírica mediante constructos, entre los engramas hallados mediante EEGi y los engramas teóricos de las principales corrientes del aprendizaje.</p> <p>IV Validar el modelo neuroeducativo holístico del aprendizaje, para la instrucción de adolescentes de secundaria en la Unidad Educativa "Lev Vygotsky" en el año 2025 en Ecuador</p>	Los patrones de actividad cerebral durante el aprendizaje y la evocación, obtenidos mediante EEGi, y relacionados con las teorías psicológicas del aprendizaje, fundamentan el Modelo Neuroeducativo o Holístico del Aprendizaje que facilitará la enseñanza, mejorando el rendimiento académico de los estudiantes de secundaria del Colegio "Lev Vygotsky" de Ecuador en 2025.	<p>Variable independiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Edad Sexo Grado académico 	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo desde el nacimiento Sexo biológico al nacimiento Curso actual de la secundaria 	<ol style="list-style-type: none"> Edad en años Masculino / Femenino Curso del bachillerato de 1ro a 6to
				<p>Variable(s) dependiente(s):</p> <ol style="list-style-type: none"> Ondas cerebrales Activación cortical regional cerebral Tiempos de resolución de los laberintos Relación entre los engramas y las teorías/modelos del aprendizaje 	<ol style="list-style-type: none"> Registro eléctrico de la actividad cortical Frontal, parietal, occipital, temporal Tiempo desde que inicia la resolución de cada laberinto, hasta que lo finaliza Relación teórica entre engramas y teorías /modelos del aprendizaje 	<ol style="list-style-type: none"> Ondas delta: 0,5 a 4 Hz, Theta 4 a 8 Hz, Alfa 8 a 12 Hz, Beta 12 a 30 Hz y Gamma 30 a 40 Hz. Engrama generado Tiempo en segundos y minutos Valor estadístico del análisis de los constructos.

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.

Enfoque de la Investigación

Cuantitativo: Este diseño de investigación es cuantitativo porque parte de hipótesis específicas y se basa en variables cuantificables, las cuales se registran objetivamente y se analizan estadísticamente. Las variables cuantitativas incluyen métricas de rendimiento académico (puntuaciones, tiempo, puntuaciones previas y posteriores al entrenamiento) y métricas de actividad cerebral obtenidas mediante electroencefalografía inalámbrica (bandas de frecuencia alfa, theta y beta; mapas; amplitud y frecuencia). Esto nos permite verificar nuestras hipótesis mediante significancia estadística y cuantificar la magnitud del efecto.

Diseño de la Investigación

El diseño del estudio es experimental: El diseño es experimental porque se introdujo y controla deliberadamente la intervención educativa estructurada (el entrenamiento) como variable independiente, y evaluamos su impacto en variables dependientes como el rendimiento en la tarea y los patrones de actividad cerebral durante el aprendizaje y la recuperación. La comparación pre-post en un grupo permite atribuir las diferencias observadas a la intervención, según la lógica causal de los diseños experimentales, aunque con un tamaño muestral limitado.

Tipo de Investigación

El tipo de estudio es **descriptivo-correlacional** porque describe sistemáticamente la muestra y las variables de interés, y presenta la distribución del rendimiento y los patrones EEG en diversas condiciones (reposo, aprendizaje, evocación), por lo que también explora las relaciones entre las variables, examinando correlaciones entre

engramas empíricos y rendimiento, así como la coherencia entre estos patrones y los "engramas teóricos" derivados de las principales teorías del aprendizaje.

3.1.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos.

Definición del método

En esta investigación se utilizó un método de investigación cuantitativo.

Técnica de recolección de datos

Para la recolección de los datos cuantitativos, se utilizó el equipo de electroencefalografía, Emotiv EPOC: US Patent Numbers: 10,028,703 (Anexo 6). Para los constructos de igual manera fueron creados con base cuantitativa para poder buscar una relación teórica entre las teorías y modelos del aprendizaje y con los engramas encontrados en los sujetos de estudio.

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó un equipo de EEGi portátil, Emotiv EPOC, acoplado vía Bluetooth a una computadora portátil marca Lenovo modelo Legión 7 con el software EmotivPRO con licencia personal. Se procedió al mapeo de las regiones cerebrales tanto anatómicas como funcionales.

3.1.3. Desarrollo de los instrumentos de obtención de datos.

El desarrollo de los instrumentos se centró en la configuración y estandarización del equipo de registro cerebral y en el diseño detallado de la tarea experimental utilizada como estímulo.

a. Desarrollo y Configuración del Instrumento Fisiológico del electroencefalógrafo inalámbrico (EEGi)

El instrumento primario utilizado fue el equipo de electroencefalografía portátil Emotiv EPOC (US Patent Numbers: 10,028,703). Al ser un dispositivo estandarizado con certificaciones internacionales y de uso comercial, su desarrollo se enfocó en asegurar su óptimo funcionamiento y calibración para el entorno del estudio:

- Configuración del *Hardware*: Se verificó la correcta colocación y conductividad de los catorce (14) electrodos del casco-diadema Emotiv EPOC, asegurando un contacto adecuado con el cuero cabelludo para minimizar el ruido y artefactos en la señal. La calibración del EEGi se estableció según las especificaciones del fabricante.
- Configuración del *Software*: El equipo se acopló vía Bluetooth a la computadora portátil Lenovo-legión 7, donde se ejecutó el *software* EmotivPRO (con licencia personal). Se configuró la tasa de muestreo, el ancho de banda y los filtros digitales para la adquisición de la señal, asegurando la captura precisa de las bandas de frecuencia electroencefalografía relevantes durante el experimento.
- Mapeo Funcional: Se utilizó el *software* para la identificación y mapeo de las regiones cerebrales (tanto anatómicas como funcionales) cubiertas por la configuración adaptada del Emotiv EPOC, los datos recolectados fueron almacenados en la nube bajo extensión EDF, para posterior análisis estandarizado.

b. Desarrollo y Diseño de la Tarea Experimental (Laberintos)

La tarea de resolución de laberintos fue el instrumento utilizado para modificar las condiciones de la realidad del sujeto de estudio y generar la actividad neuronal susceptible de ser registrada ("engramas"). El desarrollo de este instrumento incluyó:

- Diseño de la intervención: Se seleccionaron dos laberintos con niveles de dificultad estandarizados (Yildirim.2025) para asegurar que la tarea exigiera un esfuerzo primero de aprendizaje y luego otro de evocación para la resolución de un problema más complejo.
- Estandarización y Protocolo: Se definió un protocolo de aplicación riguroso, incluyendo la duración de la tarea, las instrucciones verbales de acuerdo a la edad de los participantes y los criterios para el registro del momento específico de la actividad cerebral durante la resolución, lo que permitió obtener los datos del precisamente cuando los participantes estaban ejecutando la tarea de aprendizaje.
- Conexión Teórica: La selección y diseño de la tarea se fundamentó teóricamente, para que se generarán las condiciones necesarias para establecer la relación de la

estructura conceptual de teorías y modelos de aprendizaje con los engramas, como se estableció en el análisis.

3.1.4. Determinación de la muestra y su criterio de selección.

Con base en lo publicado por Jacquinet (2024) y Suen et al (2014) La muestra del presente estudio es del tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta técnica se basa en los siguiente principios:

- Generación de teoría: El objetivo principal es lograr el desarrollo de explicaciones teóricas basadas en datos empíricos; no se busca resolver teorías ya establecidas.
- Muestreo teórico: La recopilación de datos se guía por las perspectivas teóricas emergentes, y las decisiones de muestreo se toman en función de su posible contribución al desarrollo teórico.
- Análisis comparativo constante: La investigación implica la recopilación y el análisis simultáneos de datos, con una comparación continua entre los nuevos datos y las categorías teóricas emergentes.
- Sensibilidad teórica: Los investigadores deben ser conscientes de las implicaciones teóricas de sus datos, evitando preconcepciones para no limitar el análisis.

Apoyados en estos principios se ha seleccionado un total de 14 estudiantes voluntarios de nivel secundario. Este tipo de muestreo se justifica por varios factores:

- i. El tiempo limitado, requerido para cada registro de electroencefalografía inalámbrica (EEGi) evitando que el estudiante pierda actividades académicas.
- ii. La complejidad del proceso analítico y la generación de constructos.
- iii. Los recursos tecnológicos disponibles.
- iv. Alto costo económico asociado con cada registro.

Criterios de inclusión:

1. Adolescentes de 13 a 18 años, que estén cursando la secundaria que la unidad educativa Lev Vygotsky de la ciudad de San Juan Bautista de Sangolquí, provincia de Pichincha, Ecuador, en los meses de julio y agosto del año lectivo 2025
2. Que hayan firmado el asentimiento y sus representante legal el consentimiento informado.
3. Que hayan asistido a la explicación presencial previo al procedimiento.
4. Que tengan la disponibilidad de tiempo para realizar el experimento.
5. No estar cursando ninguna enfermedad al momento del experimento.

Criterios de exclusión

1. Que esté padeciendo cualquier tipo de enfermedad
2. Que voluntariamente no desee participar en el experimento
3. Que su representante legal no haya autorizado su participación en el experimento.

3.2. Trabajo de campo.

El trabajo de campo se realizó en la Unidad Educativa Lev Vygotsky, ubicada en San Juan Bautista de Sangolquí, Ecuador, durante julio y agosto del año escolar 2025. El estudio se llevó a cabo en un entorno natural, dentro de un aula típica, lo que permitió una observación y recolección de datos ecológicamente válidos. Este entorno se eligió con el objetivo brindar un contexto ideal para el estudio. Participaron voluntariamente catorce estudiantes adolescentes, de entre 13 y 18 años, desde octavo grado de educación básica hasta tercer año de bachillerato. Este rango de edad se seleccionó por corresponder a una etapa de especial relevancia en el desarrollo neurológico y la maduración de las funciones ejecutivas y los procesos de memoria.

La muestra incluyó a ocho mujeres y seis hombres, lo que garantiza una representación equilibrada de ambos géneros. El estudio fue autorizado por el Comité de Ética de la Universidad de Investigación e Innovación de México y se desarrolló con base en los principios de respeto, beneficencia y justicia, asegurando así la protección de los derechos y el bienestar de los participantes. Asimismo, se cumplieron las normativas nacionales e internacionales aplicables a la investigación con menores, y se solicitó el consentimiento informado de los padres o tutores y el asentimiento de los estudiantes, así como la autorización de la institución educativa, ya que esto era necesario para garantizar la legitimidad y validez del estudio.

Previamente al experimento, se realizó una sesión informativa con los estudiantes participantes, el personal docente asignado y el director del centro educativo. En dicha sesión se explicaron el objetivo del estudio, los procedimientos, el registro electroencefalográfico inalámbrico (EEGi), la naturaleza de la tarea de aprendizaje y recuerdo, el manejo de artefactos y las medidas de seguridad. Se respondieron preguntas y se proporcionaron instrucciones claras para asegurar que todos los participantes comprendieran plenamente el procedimiento.

Para el registro neurofisiológico, se utilizó un dispositivo EEGi inalámbrico y portátil (EmotivPRO) seguro para uso humano. Se cumplieron las especificaciones técnicas del equipo, la calibración previa, la verificación de la impedancia y la colocación de los electrodos según las recomendaciones del fabricante, garantizando así la precisión y fiabilidad de los datos recopilados. En los apéndices se proporcionan todos los detalles técnicos, y esta información puede consultarse para una comprensión más profunda de la metodología y el equipo utilizados en el estudio.

Los marcadores se sincronizan con el software de presentación para indicar las fases de la tarea y cada participante pasó por una única sesión, que se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Instrucciones y práctica: Se explicó al participante la tarea y sus reglas, y no se sugirió ninguna estrategia, porque este paso fue diseñado para permitirles comprender la tarea.
- Preparación de los electrodos: Se presentó al participante la diadema de electroencefalografía inalámbrica (EEGi) y se explicó su funcionamiento, se colocó la

misma en la cabeza y se ajustaron los electrodos hasta lograr un buen contacto, por lo tanto este paso fue crucial para la recolección de datos.

- Impedancia y calibración: Se probaron los electrodos para verificar el contacto adecuado y se calibró la máquina, y se presentó una pantalla en blanco para registrar el trazado de la electroencefalografía inalámbrica (EEGi) en reposo, porque este paso era necesario para el control de calidad de los datos.
- Entrenamiento: Le dimos instrucciones para completar un laberinto fácil, y este paso fue diseñado para permitirles aprender y memorizar, por lo que etiquetamos el principio y el final, y rastreamos el tiempo y los errores.
- Evocación y aplicación: Luego le mostramos el laberinto anterior, para que lo resuelva nuevamente (evocación), seguido a su vez de un laberinto más complejo y utilizando el conocimiento adquirido debía resolverlo; este paso fue diseñado para probar sus habilidades de evocación y resolución de problemas a través de lo aprendido.

Se registró el trazado de EEGi durante todo el proceso y proporcionamos instrucciones breves para minimizar el parpadeo y el movimiento, por lo que permitimos breves descansos según fuera necesario; esto se hizo para garantizar la comodidad y la cooperación de los participantes.

No hubo necesidad de repetir sesiones, no se presentaron retiros durante el procedimiento. Las medidas de comportamiento para cada fase (tiempo de resolución, errores, tasa de éxito por laberinto y marcadores de eventos) se registraron digitalmente y se almacenaron en archivos electrónicos seguros tanto en la laptop como en la nube. Se cumplieron estrictamente con todas las normas éticas y de seguridad para la investigación en seres humanos. Se ocultó la identidad de los participantes y los datos no serán utilizados para ningún otro fin que no sea la investigación. Por lo tanto, los resultados se informaron sin identificación.

3.2.1. Aplicación de los instrumentos.

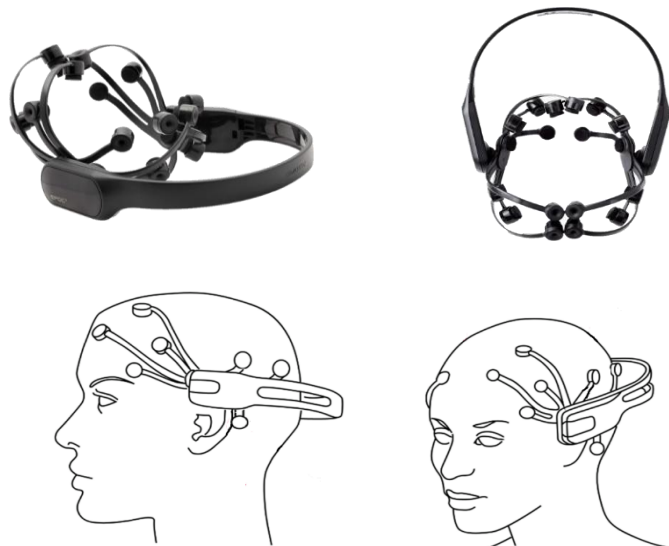
Equipo y colocación

Durante la realización del trabajo de campo de la investigación se respetaron estrictamente todas las directrices éticas para estudios con menores de edad. En todo momento estuvo presente un profesor de la institución, designado por la Sra. rectora, y las actividades se desarrollaron en un entorno completamente natural, propio del aula de clase. A continuación, se presenta la diadema utilizada, ilustrada en Figuras, así como su correcta colocación en el participante. La colocación del dispositivo se realizó con la colaboración del propio sujeto de estudio y de un estudiante asistente, con el fin de generar un ambiente de mayor confianza y comodidad para todos los participantes.

Es fundamental destacar que el instrumento cuenta con certificaciones internacionales de alta exigencia, entre ellas RCM (Australia/Nueva Zelanda), FCC (Estados Unidos), CE (Unión Europea) y UKCA (Reino Unido). Estas acreditaciones abarcan los principales mercados globales y garantizan que el dispositivo ha superado rigurosas pruebas de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y, cuando corresponde, de radiofrecuencia. Dichas certificaciones otorgan mayor confianza a los usuarios, reducen las barreras de importación y avalan su uso en contextos institucionales, clínicos y educativos a nivel internacional, ampliando así su rango de aplicación y fiabilidad.

Para garantizar la reproducibilidad de las mediciones, a continuación, se describe detalladamente la diadema, sus componentes y el procedimiento de colocación en el participante, aspecto fundamental para asegurar la validez y confiabilidad del estudio.

Se aseguró de que el ajuste fuera correcto, que los electrodos hicieran buen contacto con la piel.

Figura 64*Equipo Emotiv Pro-in situ***Certificaciones internacionales:**

IB - Marca de certificación internacional, con código 211-230420.

C-Tick - Marca de conformidad regulatoria de Australia y Nueva Zelanda para equipos electrónicos y de telecomunicaciones.

EmotivPRO es un software de grabación de EEGi acompañado de una diadema para la obtención del registro de las ondas cerebrales, diseñado para obtener precisión, flexibilidad y una interfaz sencilla. Se utiliza de forma independiente para la investigación de EEGi o en combinación con otros programas como EEGLAB, MATLAB, lo que permite diseñar experimentos, procesar datos y visualizar resultados. EmotivPRO permite grabar la señal de EEGi sin procesar y añadir marcadores de eventos durante la grabación, lo que permite visualizar los trazos inmediatamente en el visor integrado. EmotivPRO constituye una base sólida para la investigación científica, ya que proporciona una forma fiable y eficiente de recopilar y analizar datos, convirtiéndose en una herramienta valiosa para los investigadores de este campo.

3.2.2. Procesamiento de la información.

Los datos se recopilaron en formato electrónico, el registro digital de ondas cerebrales con el sistema EmotivPRO garantiza la integridad de la señal durante la adquisición. Posteriormente, las grabaciones se sincronizan con la nube del programa Kaspersky® (licencia propia) y se almacenan en formato EDF. El formato EDF se utiliza ampliamente en la investigación en neurociencia gracias a su idoneidad para datos de series temporales médicas y su compatibilidad con diversos programas de análisis. Esto facilitó el procesamiento en EEGLAB®, una herramienta de código abierto ampliamente utilizada para el análisis de EEGi, implementada en Matlab®. EEGLAB ofrece filtrado robusto, por épocas o sectores de tiempo, rechazo de artefactos y análisis de componentes independientes, lo que la convierte en una herramienta valiosa para el análisis de EEGi.

Además, los datos se almacenaron en formato CSV para una cómoda visualización tabular y documentación en Microsoft Excel (licencia personal) porque el CSV es útil para revisión, control de calidad e informes preliminares, aunque carece de la información de señal completa de EDF. El análisis estadístico se realizó utilizando R, un lenguaje de programación de código abierto que ofrece amplios paquetes estadísticos y capacidades de modelado reproducibles, y por lo tanto fue elegido por su flexibilidad y personalización.

El software de código abierto Jamovi se utilizó como un contenedor intuitivo para estructurar el análisis en fragmentos comprensibles y reproducibles, reduciendo así la desconexión entre la exploración descriptiva, las pruebas estadísticas y la visualización.

La metodología híbrida (registro en un sistema dedicado, almacenamiento en EDF, control de calidad en CSV y estadísticas en R/Jamovi) garantiza la compatibilidad entre herramientas, la trazabilidad de todas las modificaciones y la reproducibilidad de los resultados, ya que estos son cruciales para la validez interna y externa de los resultados al trabajar con ondas cerebrales.

3.3. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.

3.3.1. Análisis de potencia o poder estadístico

El análisis de potencia, también llamado poder estadístico, es una herramienta que permitió estimar la probabilidad de detectar un efecto real, en este caso una correlación, en un estudio, antes de recolectar los datos. Se basa en cuatro elementos principales: el tamaño de la muestra (N), el tamaño del efecto (la magnitud de la correlación, ρ), el nivel de significancia (α , usualmente 0.05), y el poder deseado (probabilidad de detectar el efecto si existe, comúnmente 0.80 o 80%).

Para una muestra de 14 sujetos y un nivel de significancia de 0.05, se calcula el poder para distintos tamaños de efecto (correlaciones):

- Si la correlación real es menor o igual a 0.518, la probabilidad de detectarla es menor o igual al 50%. Es decir, es muy probable que no se detecte.
- Si la correlación está entre 0.518 y 0.676, la probabilidad de detección es entre 50% y 80%. Hay una buena probabilidad de no detectarla.
- Si la correlación está entre 0.676 y 0.785, la probabilidad de detección es entre 80% y 95%. Probablemente se detecte.
- Si la correlación es mayor a 0.785, la probabilidad de detección es de al menos 95%. Es casi seguro que se detecte.

El análisis muestra la importancia de tener un tamaño de muestra adecuado para poder detectar correlaciones de interés. Si la muestra es pequeña, solo los efectos muy grandes serán detectados con confianza.

Tabla 5*Análisis de Potencia a Priori*

Análisis de potencia a priori			
<i>N</i>	<i>Tamaño del efecto</i>	<i>Poder</i>	<i>α</i>
14	0.7854	0.9500	0.05

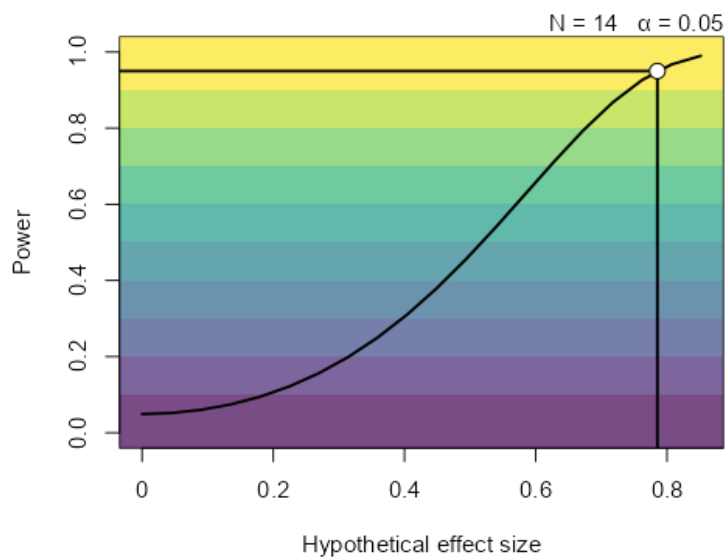
Nota. Se muestra el tamaño del efecto 0,7854, poder el 95% y alfa del 0.05 en la muestra de 14 N.

Tabla 6*Potencia del Tamaño de Efecto*

Potencia por tamaño de efecto		
<i>Tamaño real del efecto</i>	<i>Potencia de detección</i>	<i>Descripción</i>
$\rho > 0.785$	$\geq 95\%$	Es casi seguro se detecte el efecto

Nota. Estimado para N=14

Nota. Se muestra la potencia del efecto $> 0,785$, esto indica una potencia de detección de efectos $\geq 95\%$.

Figura 65*Curva de Potencia por Tamaño de Efecto*

La curva evidencia que para una muestra con N=14 y un alfa de 0,05 solo las correlaciones grandes (mayores a 0.785) se detectan con alta probabilidad.

*Estadísticos descriptivos***Tabla 7***Estadísticos Descriptivos*

Sexo		
	N	%
Hombre	6	42,9%
Mujer	8	57,1%
		100,0%
Curso		
	N	%
8vo de Básica	3	21,4%
9vo de Básica	1	7,1%
10mo de Básica	3	21,4%
1ro Bachillerato	1	7,1%
2do Bachillerato	4	28,6%
3ro Bachillerato	2	14,3%
		100,0%
Edad en años		
	N	%
13	3	21,4%
14	2	14,3%
15	2	14,3%
16	3	21,4%
17	2	14,3%
18	2	14,3%
		100,0%
Fases adolescencia		
	N	%
Media	7	50,0%
Tardía	4	28,6%
Temprana	3	21,4%
		100,0%

Nota. Estadísticos descriptivos según sexo, curso, edad, y fase de la adolescencia.

3.3.2. Prueba de normalidad

Para poder ejecutar las diferentes pruebas estadísticas es fundamental saber si los datos son normales o no, en este caso como la muestra es menor a 50 sujetos de investigación por lo que se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-wilk, con ello podemos determinar si las pruebas estadísticas a utilizar deben ser paramétrica o no paramétricas.

Tabla 8

Prueba de Normalidad de Shapiro-Willk

	Tiempo 1er laberinto	Tiempo de evocación	Tiempo con aprendizaje
N	14	14	14
Valor p de Shapiro-Wilk	<0.001	<0.001	0.009

Nota. La prueba de Shapiro-wilk confirma no-normalidad para las pruebas de 1er laberinto, evocación y tiempo de aprendizaje.

Para las tres variables de tiempo analizadas (tiempo de 1er laberinto, tiempo de evocación y tiempo de 2do laberinto), los valores p son menores a 0.05, por lo que ninguna de las variables sigue una distribución normal. Basados en lo anterior las pruebas a efectuarse deben ser no paramétricas.

3.3.3. Descriptivas de Grupo: Sexo, Desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo

Tabla 9

Descriptivas por Grupos

Descriptivas por Grupo: Sexo, Desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo

	Grupo	N	Media	Mediana	DE	EE
Final 1er laberinto	Hombre	6	10.617	10.650	0.03125	0.01276
	Mujer	8	11.150	10.950	0.1014	0.03586

Tiempo de evocación	Hombre	6	0.1367	0.1250	0.04082	0.01667
	Mujer	8	0.2125	0.1500	0.2105	0.07442
Tiempo con aprendizaje	Hombre	6	10.433	0.8600	0.90978	0.37142
	Mujer	8	13.313	10.050	0.6634	0.23456

Nota. Estadísticos de tendencia central según sexo, desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo.

La tabla muestra estadísticas descriptivas para dos grupos (hombres y mujeres) en tres variables: desempeño en el primer laberinto, tiempo de evocación y tiempo de aprendizaje. En general, se observa que las mujeres presentan valores promedio (media) ligeramente mayores en las tres variables comparadas con los hombres. Esto sugiere que, en este conjunto de datos, las mujeres tienden a tener tiempos o puntajes más altos en las tareas evaluadas. Además, las desviaciones estándar (DE) y errores estándar (EE) son mayores en el grupo de mujeres, lo que indica una mayor variabilidad en estos resultados. Podemos concluir que aunque ambos grupos muestran desempeños similares, las mujeres tienden a tener valores promedio más altos y mayor dispersión en sus resultados.

3.3.4. Prueba t para muestras independientes: Sexo contra el desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo

Tabla 10

Prueba T para Muestras Independientes

		Estadístico	p
		o	Valor
Final 1er laberinto	U de Mann-Whitney	12.00	0.133
Tiempo de evocación	U de Mann-Whitney	17.50	0.434
Tiempo con aprendizaje	U de Mann-Whitney	15.00	0.282

Nota. Hipótesis alternativa $\mu_{\text{Hombre}} \neq \mu_{\text{Mujer}}$

Nota. Se muestran los resultados de la Prueba t para Muestras Independientes, no hay diferencia significativa para el desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo.

Con base en los resultados obtenidos mediante la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en ninguna de las variables analizadas: tiempo de resolución del primer laberinto, tiempo de evocación y tiempo de resolución con aprendizaje previo ($p > 0.05$ en todos los casos). Estos hallazgos sugieren que el sexo no tuvo un efecto relevante en el desempeño de los participantes en las tareas de resolución de laberintos ni en el proceso de aprendizaje asociado, dentro de la muestra evaluada.

3.3.5. Fases de la Adolescencia y Desempeño: Sexo, Desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo

¿Que se compara?: “Fases de la Adolescencia y Desempeño (aprendizaje previo)”: comparar si los tiempos (desempeño) difieren entre las distintas fases de la adolescencia y “Sexo y Desempeño (Aprendizaje previo)”: comparar si los tiempos difieren entre sexos.

La prueba de Kruskal-Wallis es una prueba estadística no paramétrica que se utiliza para comparar tres o más grupos independientes y ver si existen diferencias significativas entre ellos en cuanto a la variable que se está analizando. Es una alternativa a la ANOVA cuando los datos no cumplen los supuestos de normalidad.

Tabla 11

Prueba de Kruskal-Wallis para Adolescencia y Desempeño

Kruskal-Wallis			
	χ^2	gl	p
Final 1er laberinto	170.760	2	0.426
Tiempo de evocación	0.50818	2	0.776
Tiempo con aprendizaje	0.06122	2	0.970

Nota. No se encuentra diferencia estadísticamente significativa entre la adolescencia como etapa de la vida y el desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo.

Interpretación:

- Final 1er laberinto:

$$\chi^2 = 1.70760, \text{ gl} = 2, \text{ p} = 0.426$$

El valor p es 0.426, mucho mayor que el típico umbral de significancia (0.05). No hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para esta variable.

- Tiempo de evocación:

$$\chi^2 = 0.50818, \text{ gl} = 2, \text{ p} = 0.776$$

El valor p es 0.776, también muy alto. No hay diferencias significativas entre los grupos para esta variable.

- Tiempo con aprendizaje:

$$\chi^2 = 0.06122, \text{ gl} = 2, \text{ p} = 0.970$$

El valor p es 0.970, extremadamente alto. Tampoco hay diferencias significativas entre los grupos para esta variable.

En ninguno de los tres casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos comparados. Es decir, según la prueba de Kruskal-Wallis, los grupos no difieren de manera relevante entre la adolescencia (como etapa de la vida) y el desempeño en el experimento y tampoco entre el sexo y el desempeño en la resolución del 2do laberinto previo al aprendizaje

3.3.6. Comparación de edad, desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo

¿Qué se compara?: “Edad y Desempeño (aprendizaje previo)”: comparar si los tiempos (desempeño) difieren entre la edad de los estudiantes.

Tabla 12

Prueba de Kruskal-Wallis para Edad y Desempeño en los Eventos

	χ^2	gl	p
Final 1er laberinto	5.760	5	0.330
Tiempo de evocación	3.912	5	0.562

Tiempo con aprendizaje	5.307	5	0.380
------------------------	-------	---	-------

Nota. No se encuentra diferencia estadísticamente significativa entre la edad por grupos y el desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo.

Como podemos apreciar los valores P son superiores a 0,05, por lo que se demuestra que no hay diferencias significativas entre los grupos para esta comparación entre edad y resolución de los laberintos.

3.3.7. Matriz de correlación:

Es fundamental realizar la matriz de correlación para cuantificar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre cada par de variables.

Tabla 13

Matriz de Correlaciones

Matriz de Correlaciones: Edad, final del 1er laberinto, tiempo de evocación, tiempo con aprendizaje					
		Edad	Final 1er laberinto	Tiempo de Evocación	Tiempo con Aprendizaje
Edad	Rho de Spearman	—			
	gl	—			
	valor p	—			
Final 1er laberinto	Rho de Spearman	0.1178	—		
	gl	12	—		
	valor p	0.688	—		
Evocación	Rho de Spearman	-0.0863	0.3277	—	
	gl	12	12	—	
	valor p	0.769	0.253	—	
Aprendizaje	Rho de Spearman	0.0622	0.4134	0.6615	—
	gl	12	12	12	—
	valor p	0.833	0.142	0.010	—

Nota. La tabla muestra la distribución de las correlaciones entre la edad, el desempeño en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo.

La tabla muestra la matriz de correlaciones de Spearman entre cuatro variables: Edad, Tiempo al final 1er laberinto, tiempo de Evocación y tiempo de Aprendizaje o resolución del 2do laberinto. Para cada par de variables, se presentan tres datos:

- Rho de Spearman: el coeficiente de correlación (indica la fuerza y dirección de la relación).
- gl: grados de libertad (en este caso, siempre 12).
- valor p: el valor de significancia estadística (p-valor).

La única relación estadísticamente significativa encontrada en la matriz es entre Evocación y Aprendizaje; muestra un Rho de Spearman = 0.6615 lo que indica una relación positiva y de magnitud moderada-alta entre “Evocación” y “Aprendizaje; el valor $p = 0.010$ (< 0.05) sugiere que es poco probable que esta asociación se deba al azar, bajo los supuestos de la prueba. Esto significa que, según los datos analizados, la relación entre esas dos variables no es producto del azar, sino que hay evidencia suficiente para pensar que realmente están relacionadas.

3.3.8. Prueba t para Muestras Pareadas: Prueba de Wilcoxon

Ahora es necesario verificar si realmente la evocación y el aprendizaje tiene una diferencia estadísticamente significativa. La prueba de Wilcoxon se utiliza cuando se comparan dos mediciones relacionadas, en este caso antes y después del uso de un evento de resolución y aprendizaje de laberintos y también cuando no hay normalidad en los datos.

Tabla 14

Prueba t para Muestras Pareadas

Prueba t para Muestras Pareadas			Estadístico	p	Tamaño del Efecto
1er laberinto	Aprendizaje	W de Wilcoxon	3.000	0.002	-0.9429

Nota. $H_a \mu_{Medida 1} - Medida 2 \neq 0$

Nota. La tabla muestra que existe diferencia estadísticamente significativa entre el antes y el después en los tiempos de resolución de 1er laberinto, tiempo de evocación (antes) y resolución del 2do laberinto con aprendizaje previo(después).

El valor p de 0.002 indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los dos momentos ($p < 0.05$). El tamaño del efecto es muy grande y negativo muy cerca de -1, (-0.9429), lo que implicaría una mejora muy drástica en el desempeño después del aprendizaje. Es decir, los participantes fueron mucho más rápidos (o tuvieron un mejor resultado, si un valor menor es mejor) en el laberinto con aprendizaje. Un cambio considerable entre las mediciones.

Podemos concluir que si existe una diferencia significativa en el aprendizaje entre las dos mediciones, el primer laberinto frente al segundo. El tamaño del efecto indica que la diferencia no solo es estadísticamente significativa, sino también muy relevante en términos prácticos. Esto sugiere que el aprendizaje tuvo un impacto importante en el desempeño de los participantes.

3.3.9. Relación entre los engramas neuronales encontrados y las diferentes teorías y modelos del aprendizaje

Relacionamos las regiones cerebrales activadas según el orden secuencial teórico basado en el flujo de la construcción de la estructura conceptual de las diferentes teorías y modelos del aprendizaje con los engramas (actividad cerebral obtenida mediante EEGi) durante la resolución del laberinto1, evocación y laberinto 2. Para este procedimiento se crearon constructos que permitieron sentar la teoría de que, si existe una relación entre los engramas cerebrales en adolescentes y las teorías y modelos del aprendizaje.

El análisis de cada toma de EEGi por cada sujeto de estudio, debido a su extensión se encuentra en los anexos, aquí presentaremos la creación de los diferentes constructos, para ello primero creamos una rúbrica de la siguiente manera:

Tabla 15

Rúbrica del Constructo

Constructo	Definición operativa	Nivel
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	1 (Bajo)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	2 (Medio)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	3 (Alto)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	4 (Muy alto)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	1 (Bajo)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	2 (Medio)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	3 (Alto)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	4 (Muy alto)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	1 (Bajo)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	2 (Medio)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	3 (Alto)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	4 (Muy alto)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	1 (Bajo)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	2 (Medio)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	3 (Alto)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	4 (Muy alto)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	1 (Bajo)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	2 (Medio)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	3 (Alto)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	4 (Muy alto)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	1 (Bajo)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	2 (Medio)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	3 (Alto)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	4 (Muy alto)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener el rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	1 (Bajo)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener el rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	2 (Medio)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener el rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	3 (Alto)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener el rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	4 (Muy alto)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	1 (Bajo)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	2 (Medio)

Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	3 (Alto)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	4 (Muy alto)

Nota. Se muestra la rúbrica para la generación de los constructos. Aunque la definición operativa de cada constructo permanece constante (representando la función cognitiva evaluada), los niveles del 1 al 4 describen un gradiente de desempeño. Esta diferenciación se establece mediante criterios de latencia temporal (velocidad de respuesta) y efectividad de la conducta observada. Así, mientras el Nivel 1 describe una manifestación incipiente o deficitaria de la función, el Nivel 4 describe una maestría en la ejecución, caracterizada por la economía de tiempo y la precisión en la toma de decisiones. Nivel 1 (Bajo): El sujeto posee la capacidad, pero su ejecución es "costosa": requiere mucho tiempo, se bloquea fácilmente y el error es frecuente. La función operativa es inestable. Nivel 2 (Medio): La capacidad es funcional pero inconsistente. Logra el objetivo, pero con vacilaciones o una velocidad subóptima. Nivel 3 (Alto): La capacidad está consolidada. El sujeto organiza y procesa la información con fluidez, cometiendo errores mínimos que corrige rápido. Nivel 4 (Muy Alto): La capacidad está automatizada. El procesamiento es casi instantáneo, mostrando una resistencia superior a la interferencia o la fatiga.

Tabla 16

Constructos de Cada Sujeto de Estudio Según Rúbrica

Sujeto	CE_plan	MT_evoc	Sesgo_verbal	Sesgo_visoespacial	Toma_dec	Atención	Carga_tolerancia	Monitoreo Ajuste
1 (H,13)	3	3	2	3	3	3	3	2
2 (M,13)	4	3	3	4	4	4	4	3
3 (M,13)	3	3	2	4	3	3	3	2
4 (M,14)	3	3	3	4	3	3	3	2
5 (H,15)	3	3	3	3	3	3	3	2
6 (H,15)	4	4	1	4	4	4	4	3
7 (H,14)	4	3	1	4	4	4	4	3
8 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
9 (M,17)	3	3	2	4	3	3	3	2
10 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
11 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
12 (H,17)	3	3	2	4	3	3	3	2
13 (H,18)	3	3	2	4	3	3	3	2
14 (M,18)	3	3	2	4	3	3	3	2

Nota. Constructo de cada sujeto de estudio, basados en la rúbrica.

Tabla 17*Constructos de Cada Sujeto de Estudio Según Rúbrica*

Sujeto	CE_plan (1-4)	MT_evoc (1-4)	Sesgo_verbal (1-4)	Sesgo_viso espacial (1-4)	Toma_dec (1-4)	atención (1-4)	Carga_tolerancia (1-4)	Monitoreo_error (1-4)	Teorías/Modelos vinculados
1 (H,13)	3	3	2	3	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller 7±2, Piaget, Köhler/Insight, Gestalt, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Kandel–McGaugh, Vygotsky, Bandura
2 (M,13)	4	3	3	4	4	4	4	3	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Skinner, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Kandel–McGaugh, Vygotsky, Bandura, Piaget
3 (M,13)	3	3	2	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Piaget
4 (M,14)	3	3	3	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Ausubel, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Piaget
5 (H,15)	3	3	3	3	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Skinner, Rumelhart–Hinton–Williams, Kandel–McGaugh, Vygotsky, Bandura, Piaget
6 (H,15)	4	4	1	4	4	4	4	3	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Skinner, Rumelhart–Hinton–Williams, Kandel–McGaugh, Vygotsky, Bandura
7 (H,14)	4	3	1	4	4	4	4	3	James, Montessori, Neisser, Miller, Ausubel, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Piaget
8 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Ausubel, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Bandura, Piaget
9 (M,17)	3	3	2	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Ausubel, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Bandura
10 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Ausubel, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Piaget
11 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Kandel–McGaugh, Vygotsky, Bandura
12 (H,17)	3	3	2	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Piaget
13 (H,18)	3	3	2	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Bandura, Piaget
14 (M,18)	3	3	2	4	3	3	3	2	James, Montessori, Neisser, Miller, Köhler, Gestalt, Atkinson-Shiffrin, Tulving, Vygotsky, Bandura, Piaget

Nota. Teorías y Modelos de cada sujeto de estudio, basados en los constructos.

Luego de obtenidos los constructos por cada sujeto en relaciona a cada teoría y modelo de aprendizaje, se procedió a establecer un constructo general para todo el grupo de sujetos de investigación al que se ha llamado “Constructo General de Navegación Cognitiva (CGNC)”; para ello tomamos los valores de índice de cada sujeto del 1 al 4 según la tabla de constructos aplicados, calculamos el promedio de Control ejecutivo / planificación (CE_plan), Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc), sesgos de codificación, toma de decisiones, atención, tolerancia a la carga y monitoreo de error de todos los sujetos y realizamos cálculos de promedio,

desviación estándar, encontrando de esta manera las fortalezas y debilidades del grupo de estudio en general los resultados fueron los siguientes:

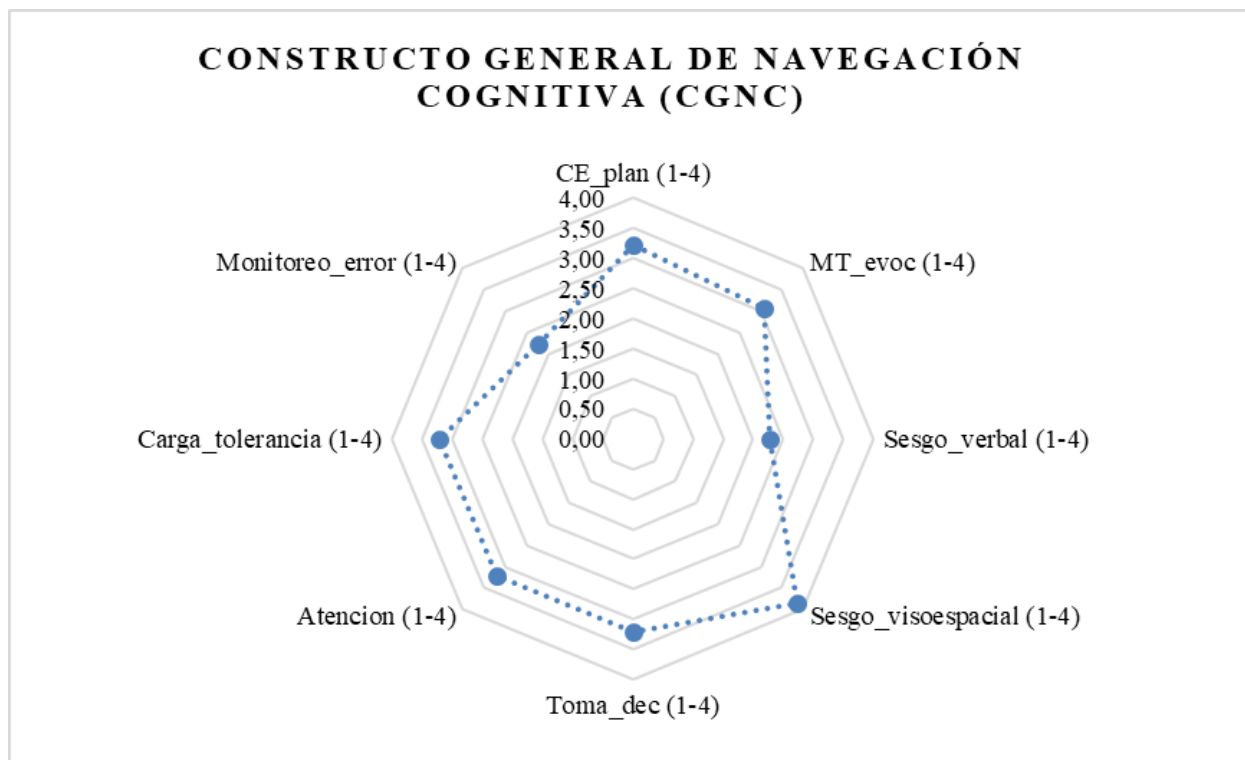
Tabla 18

Constructo General de Navegación Cognitiva

Sujeto	CE_plan (1-4)	MT_evoc (1-4)	Sesgo_verba l (1-4)	Sesgo_visoespac ial (1-4)	Toma_dec (1-4)	atención (1-4)	Carga_toleran cia (1-4)	Monitoreo_err or (1-4)
1 (H,13)	3	3	2	3	3	3	3	2
2 (M,13)	4	3	3	4	4	4	4	3
3 (M,13)	3	3	2	4	3	3	3	2
4 (M,14)	3	3	3	4	3	3	3	2
5 (H,15)	3	3	3	3	3	3	3	2
6 (H,15)	4	4	1	4	4	4	4	3
7 (H,14)	4	3	1	4	4	4	4	3
8 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
9 (M,17)	3	3	2	4	3	3	3	2
10 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
11 (M,16)	3	3	3	4	3	3	3	2
12 (H,17)	3	3	2	4	3	3	3	2
13 (H,18)	3	3	2	4	3	3	3	2
14 (M,18)	3	3	2	4	3	3	3	2
Suma	45	43	32	54	45	45	45	31
Promedio general por variable	3,21	3,07	2,29	3,86	3,21	3,21	3,21	2,21
Promedio general (CGNC)	3,04							
Desviación estándar	0,54							

Nota. Constructo unificado de todos los sujetos de estudio. Control ejecutivo / planificación (CE_plan), Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc), sesgos de codificación, toma de decisiones, atención, tolerancia a la carga y monitoreo de error.

- CGNC = 3.04; DE = 0.54. N = 14 sujetos.
- Fortalezas: Sesgo_visoespacial: 3.86, CE_plan: 3.21, atención: 3.2, carga cognitiva
- Vulnerabilidades: MT_evoc: 3.07; Sesgo_verbal: 2.29; Monitoreo_error: 2.2

Figura 66*Constructo General*

Nota. Distribución radial del constructo unificado de todos los sujetos de estudio. Control ejecutivo / planificación (CE_plan), Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc), sesgos de codificación, toma de decisiones, atención, tolerancia a la carga y monitoreo de error.

Explicación:

Ejes: los 8 constructos en escala 1–4.

Línea/puntos: promedio grupal por constructo.

Perfil competente y equilibrado, impulsado por la estrategia visoespacial y una buena capacidad de planificación, atención y toma de daciones.

3.4. Resultados y Discusión.

Se trabajó con una muestra de catorce adolescentes voluntarios con el propósito de analizar la relación teórica entre los engramas neuronales y las principales teorías y modelos del aprendizaje. Para ello, se obtuvieron registros electroencefalográficos mediante un equipo

inalámbrico en un entorno ecológico (el aula de clases durante una jornada escolar habitual) mientras los participantes resolvían un laberinto simple. Posteriormente, repitieron la misma tarea para evaluar los procesos de evocación y, finalmente, resolvieron un laberinto de mayor complejidad con el fin de identificar los patrones asociados a la toma de decisiones y a la resolución de problemas tras el aprendizaje previo. Con el objetivo de establecer la correspondencia entre los resultados neurofisiológicos y las teorías del aprendizaje, se elaboraron constructos individuales y un constructo general, cada uno con su respectiva rúbrica y ponderación, que sirvieron de base para los análisis cuantitativos presentados a continuación.

3.4.1. Resultados Cuantitativos:

Primero procedimos a realizar el análisis de potencia (o poder estadístico) porque el número de muestra es menor a 30 sujetos, el resultado fue 0,785, con un alfa de 0,05 lo que indicó que las correlaciones pueden detectar con alta probabilidad los resultados esperados.

En cuanto al género, hubo más mujeres que hombres entre los participantes, y de los 14 estudiantes, ocho eran mujeres (57,1%) mientras que seis eran hombres (42,9%).

Los participantes se distribuyeron en los distintos niveles de educación secundaria, por lo que 3 de ellos estaban en 8vo de básica (21,4%), 1 en noveno de básica (7,1%), 3 en 10mo de básica (21,4), 1 en 1ro bachillerato (7,1%), 4 en segundo bachillerato (28,6%) y 2 en tercero bachillerato (14,3%).

La edad de los participantes osciló en un rango de 13 y 18 años, un promedio de 15,7 años. La clasificación de la adolescencia les ubicó en adolescencia temprana 3 personas (21,4%), adolescencia media a 7 estudiantes (50%) y adolescencia tardía a 4 personas (28,6%).

La prueba de Shapiro-Willk con un P valor de $< 0,001$ para el tiempo de resolución del primer laberinto, P valor de $< 0,001$ para el tiempo de evocación y un P valor de 0,009 para el segundo laberinto, esto indicó que los valores no siguen una curva normal por eso los procedimientos estadísticos a ser utilizados deben ser no paramétricos.

Los datos descriptivos por sexo en el desempeño de la prueba de resolución de laberintos muestran que las mujeres presentan, en promedio, tiempos más altos que los hombres, lo que sugiere que tardaron más en resolver las tareas. En el primer laberinto, las mujeres registraron una media de 11,15 frente a 10,61 en los hombres; en la fase de evocación, 0,21 frente a 0,13; y en el segundo laberinto, 13,30 contra 10,43, respectivamente. La pregunta es ¿si esto es estadísticamente significativo o no?, para ello debíamos realizar, la prueba de muestras independientes, mediante la U de Mann-Whitney, encontrando valores p de 0,133; 0,434 y 0,282. Con ello podemos concluir que el sexo no interviene en la resolución de los laberintos, lo que desmiente el resultado anterior.

La fase de adolescencia y el desempeño también fueron comparado mediante la prueba de Kruskal-Wallis, encontrando para cada una de las tres mediciones un P valor de $p = 0.426$ final 1er laberinto, $p = 0.776$ tiempo de evocación y $p = 0.970$ segundo laberinto; con esto podemos decir que no diferencia estadísticamente significativa entre la fase de la adolescencia y desempeño.

Ahora bien, al ver que no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes cruces de variables, es menester realizar la matriz de correlaciones de Spearman para cuantificar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre cada par de variables. Aquí se reveló que si hay una relación estadísticamente significativa que cuando la una aumenta la otra también; La única relación estadísticamente significativa encontrada en la matriz es entre la evocación y el aprendizaje; muestra un Rho de Spearman = 0.6615 lo que indica una relación positiva y de magnitud moderada-alta entre “Evocación” y “Aprendizaje”; el valor $p = 0.010 (< 0.05)$ sugiere que es poco probable que esta asociación se deba al azar, bajo los supuestos de la prueba. Esto significa que, según los datos analizados, la relación entre esas dos variables es verdad.

Como acabamos de demostrar estas dos variables sí tienen una relación estadísticamente significativa, ahora debemos verificar si realmente la evocación y el aprendizaje tienen una relación antes-después. La prueba de Wilcoxon se utiliza cuando se comparan dos mediciones

relacionadas, en este caso antes y después, en este caso un evento de resolución y aprendizaje de laberintos y también cuando no hay normalidad en los datos. El valor p de 0.002 indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los dos momentos ($p < 0.05$). El tamaño del efecto es muy grande y negativo muy cerca de -1, (- 0.9429), lo que implicaría una mejora muy drástica en el desempeño después del aprendizaje. Es decir, los participantes fueron mucho más rápidos en el laberinto con aprendizaje. Un cambio considerable entre las mediciones.

Interpretación de los resultados en el contexto educativo

El resultado clave en el ámbito de la educación demuestra que la recuperación entendida como la capacidad de recordar y aplicar conocimientos o habilidades, mantiene una asociación positiva y significativa con el aprendizaje, medida a través de la mejora del rendimiento. Con un coeficiente de correlación rho de Spearman de 0,6615, la relación puede considerarse moderadamente fuerte: a mayor capacidad de evocación, mayor eficacia en el aprendizaje y en la ejecución de la tarea. Este hallazgo respalda la efectividad de los métodos de enseñanza basados en la recuperación activa, la práctica distribuida y la evaluación formativa centrada en la aplicación del conocimiento, en lugar de aquellos centrados únicamente en la exposición de contenidos. Dicho enfoque se sustenta en evidencia empírica que confirma su superioridad para consolidar el aprendizaje significativo y duradero.

La prueba de Wilcoxon revela un fuerte impacto del ciclo aprendizaje-práctica: el rendimiento "post" aumenta significativamente en comparación con el "pre" ($p = 0,002$) con un tamaño del efecto muy elevado (-0,9429). En cuanto a la práctica educativa, ofrecer ciclos estructurados de instrucción, práctica guiada y retroalimentación resulta en mejoras significativas en la productividad, lo que confirma el diseño de actividades para habilidades ejecutivas y espaciales. Por el contrario, ni el sexo ni la etapa adolescente son significativos para esta tarea, por lo que Mann-Whitney no detectó diferencias de sexo, ni Kruskal-Wallis detectó diferencias en la etapa adolescente, lo que implica que estos factores no influyen en los resultados del aprendizaje en este contexto.

Como implicación práctica se concluye que es esencial evitar la introducción de sesgos de expectativa o de asignación por sexo, así como las diferencias de rendimiento esperadas por edad dentro del nivel de educación secundaria. En este sentido, los enfoques instruccionales deben aplicarse de manera equitativa desde octavo grado hasta tercero de bachillerato, garantizando condiciones homogéneas de enseñanza y aprendizaje.

La mejora de la memoria mediante prácticas de recuperación, andamiaje y retroalimentación continua, junto con la estructuración de sesiones de práctica deliberada entre evaluaciones, favorece una transferencia más rápida y eficiente del conocimiento hacia tareas ejecutivas y espaciales. Este enfoque promueve un aprendizaje más sólido, equitativo y sostenible, respaldado por la evidencia neuroeducativa contemporánea.

3.4.2. Resultados de los constructos:

Primero creamos parámetros de constructo para tener una rúbrica (tabla 14) de constructo (anexo 13); procedimos a aplicar la rúbrica a cada sujeto de estudio y así poder relacionarlos con las diferentes teorías y modelos de aprendizaje según las estructuras conceptuales que habíamos creado para cada teoría y modelo del aprendizaje.

Esto lleva a crear lo que se ha llamado “**Constructo General de Navegación Cognitiva (CGNC)**” (), Necesitábamos un instrumento para evaluar cómo las personas se acercan a los laberintos y navegan por el espacio, lo que inspiró el desarrollar el "Constructo General de Navegación Cognitiva (CGNC)".

El CGNC permitió cuantificar diversas habilidades utilizadas durante la navegación por los laberintos y para alcanzar los objetivos (obstáculos) y así evaluar en conjunto cómo interactúan. Se desarrolló el CGNC por cinco razones: porque conecta conceptos de neurociencia, psicología y teoría del aprendizaje, y ayuda a comprender cómo aprenden las personas a través de la navegación y qué áreas del cerebro se involucran.

En segundo lugar, se aplica eficazmente en entornos educativos reales y tareas reales, por lo que es una herramienta valiosa para los educadores.

En tercer lugar, el CGNC cuenta con criterios y calificaciones definidos, lo que facilita su aplicación y la comparación de resultados. En cuarto lugar, relaciona el comportamiento con la función cerebral, lo que permite un análisis y una verificación más precisos antes y después de la instrucción. En quinto lugar, proporciona orientación para la toma de decisiones basadas en el rendimiento de navegación y la capacidad de razonamiento de los estudiantes, por lo que es un instrumento útil para fines educativos. El CGNC permite cuantificar las habilidades de pensamiento crítico durante la navegación y proporciona un método robusto para correlacionar el rendimiento superior con la función cerebral, lo que facilita la aplicación de los resultados por parte del profesorado en el aula.

Se desarrolló ante la necesidad de un instrumento que cuantificara simultáneamente la planificación, la memoria de trabajo espacial, el sesgo de codificación, la toma de decisiones, la atención sostenida, la tolerancia a la carga y el control de errores, con niveles definidos de logro y potencial de investigación e instrucción. Por lo tanto, tiene el potencial de ser una herramienta valiosa para ser utilizada por educadores e investigadores.

Se obtuvo los siguientes resultados: $CGNC = 3.04$; $DE = 0.54$. $N = 14$ sujetos. Fortalezas: Sesgo_visoespacial: 3.86, CE_plan: 3.21, atención: 3.2, carga cognitiva. Vulnerabilidades: MT_evoc: 3.07; Sesgo_verbal: 2.29; Monitoreo_error: 2.2 (Control ejecutivo / planificación (CE_plan), Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc), sesgos de codificación, toma de decisiones, atención, tolerancia a la carga y monitoreo de error).

Demostrando de esta manera un perfil competente y equilibrado, impulsado por la estrategia visoespacial y una buena capacidad de planificación, atención y toma de decisiones entre los engramas cerebrales de los sujetos de investigación y las diferentes teorías y modelos del aprendizaje.

Interpretación de los resultados del CGNC en el contexto educativo

El resultado del Constructo General de Navegación Cognitiva (CGNC) es 3.04 (Desviación Estándar = 0.54) en una muestra de 14 sujetos. El puntaje promedio indica un perfil cognitivo general competente y equilibrado en la muestra. Los estudiantes no presentan grandes déficits generales en la forma en que abordan las tareas de aprendizaje y resolución de problemas, lo que sugiere que las estrategias de enseñanza estándar deberían ser efectivas. Sin embargo, la clave está en el desglose de fortalezas y vulnerabilidades.

Capítulo IV. Propuesta de Transformación Pedagógica

4.1 Fundamentación de la propuesta

4.1.1 Origen y justificación

La propuesta surge de la evidencia neurofisiológica y conductual obtenida de un estudio experimental realizado con adolescentes en un entorno de aula ecológica utilizando EEGi inalámbrico en tiempo real. Los hallazgos demuestran una mejora significativa en el rendimiento entre el pretest y el posttest ($p = 0,002$), la ausencia de diferencias por sexo, edad o etapa de la adolescencia, y la coherencia entre los patrones oscilatorios y los procesos cognitivos esenciales. Específicamente, se observó una mayor actividad beta frontal durante las tareas de codificación atencional, dominancia theta durante el recuerdo y la resolución de problemas, y modulaciones alfa-theta en la integración de la información, lo que ofrece una base empírica para la relación entre la neurofisiología del aprendizaje y las decisiones pedagógicas. Esta coherencia entre los patrones neurofisiológicos y los procesos cognitivos es, por lo tanto, un aspecto clave de la propuesta, y se justifica en tres frentes interrelacionados:

1. Fundamentos teóricos, que proporcionan un sólido marco teórico que vincula el conductismo y el modelado social, el cognitivismo y el procesamiento de la información, el constructivismo y la perspectiva sociocultural, ya que estas teorías ofrecen una comprensión integral del proceso de aprendizaje. Un sólido marco teórico vincula el conductismo y el modelado social, que se basa en la eficacia de la retroalimentación contingente y el refuerzo en la automatización adaptativa, y el cognitivismo y el procesamiento de la información, que se basa en la gestión de la carga cognitiva mediante la señalización, la segmentación y el control de los esquemas atencionales para mejorar la memoria de trabajo; y el constructivismo, que se basa en el error como estímulo para el reequilibrio cognitivo y la reconstrucción de esquemas, y el aprendizaje mediante la asimilación-acomodación explícitamente anclada al conocimiento previo; y la perspectiva sociocultural, que se basa en el andamiaje experto y la Zona de Desarrollo Próximo como facilitadores de la internalización y la regulación cognitivo-emocional.

2. Fundamentos neurobiológicos, que se basan en la existencia y consolidación de engramas como sustrato neuronal del aprendizaje, debido a que los engramas dependen de la plasticidad sináptica, la práctica distribuida y la recuperación activa. La coincidencia de beta frontal con la codificación de la atención, theta con la planificación de la recuperación y alfa-theta con la integración-consolidación confirma una enseñanza que favorece ciclos cortos de atención focalizada, práctica asistida, recuerdo independiente y transferencia a otros contextos. Por lo tanto, se sustenta en evidencia que sugiere el abandono de prácticas de memorización en favor de experiencias activas, multisensoriales y socialmente mediadas que favorecen la robustez y funcionalidad de los engramas.

3. Fundamentos de política didáctica y educativa, que sirven como directrices para el diseño instruccional, la evaluación formativa y la personalización objetiva, cuantificable y replicable de los currículos, ya que la metodología de la Enseñanza Basada en la Evidencia (EBE) y la neurodidáctica aplicada proporcionan un marco para el diseño instruccional. Se fomenta el Diseño Universal para el Aprendizaje, el seguimiento del progreso con rúbricas alineadas, la retroalimentación inmediata y el establecimiento de entornos psicológicamente seguros, con la transición de la calificación numérica a la demostración de competencias y la transferencia. Por lo tanto, los fundamentos conceptuales, neurobiológicos y educativos se basan en engramas, aprendizaje significativo y evidencia neurocientífica.

Los engramas y la plasticidad sináptica constituyen la base neurofisiológica del aprendizaje y la memoria, y su consolidación requiere ciclos de codificación significativa, práctica asistida y recuperación distribuida, incluyendo el "fracaso productivo" como desencadenante de la reorganización, ya que la recuperación repetida consolida el rastro mnésico, aumentando su accesibilidad y su transferencia a nuevas tareas. La lectura de EEGi en el aula permite observar los correlatos de estos procesos y proporciona marcadores objetivos para la dosificación temporal y la secuenciación de la instrucción, lo que la convierte en una herramienta útil para el profesorado.

El aprendizaje significativo y la activación de conocimientos previos se basan en el modelo instruccional que organiza la enseñanza para conectar lo nuevo con las estructuras existentes mediante la activación guiada de conocimientos previos, analogías, organizadores anticipados, mapas conceptuales, codificación dual y recursos multimodales. Esta orquestación minimiza la carga externa, maximiza la carga germinal y optimiza la memoria de trabajo para la codificación profunda. Por lo tanto, la evidencia de EEGi y las decisiones pedagógicas se basan en la aplicación de los hallazgos al aula, lo que implica aperturas de la atención y regulación emocional para favorecer la beta frontal y preparar la codificación, así como microciclos de instrucción segmentada con pausas activas, evitando la sobrecarga y favoreciendo la consolidación progresiva.

La recuperación activa sin apoyos a las 24-48 horas favorece la theta funcional y la consolidación de lo aprendido, junto a las actividades de integración estimulan alfa-theta, conectando explícitamente el contenido previo con el nuevo y reforzando la transferencia, ya que estas estrategias se basan en la evidencia neurofisiológica. En la práctica, las estrategias recomendadas buscan minimizar la carga cognitiva irrelevante y priorizar el desafío cognitivo relevante, así como institucionalizar la retroalimentación inmediata y el uso formativo del error, ya que estas estrategias se basan en la evidencia.

Generalizar la práctica espaciada y la práctica mixta, y basar la evaluación en evidencias de desempeño y transferencia, con rúbricas claras y seguimiento objetivo, porque estas estrategias son efectivas, y construyen climas psicológicamente seguros que protegen la motivación y el autocontrol, aspectos claves para la atención y la consolidación, por lo que son esenciales para el aprendizaje.

La tabla siguiente sintetiza esta articulación entre evidencia neurofisiológica, implicaciones pedagógicas y referentes teóricos, permitiendo visualizar con claridad el fundamento empírico que sostiene el modelo transformador:

Tabla 19*Integración de las Teorías con el Modelo Neuroeducativo*

Hallazgo EEG / Constructo	Implicación pedagógica directa	Teoría(s) del aprendizaje que lo respalda(n)
<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Beta frontal durante la codificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar actividades iniciales breves, focalizadas y altamente relevantes para activar la atención ejecutiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionalismo (James), Conductismo (Skinner), Psicología Cognitiva (Miller)
<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Theta en procesos de evocación y resolución 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar pausas de recuperación, preguntas guiadas y ejercicios de evocación activa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausubel (aprendizaje significativo), Tulving (evocación), Plasticidad (Kandel & McGaugh)
<ul style="list-style-type: none"> • Modulación alfa-theta durante integración de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar explícitamente lo nuevo con conocimientos previos; usar analogías, mapas conceptuales y organizadores previos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausubel, Piaget (asimilación y acomodación)
<ul style="list-style-type: none"> • Activación límbico-hipocampal vinculada al rendimiento post-test 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar estrategias motivacionales, regulación emocional y climas de seguridad cognitiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vygotsky (ZDP), Bandura (autoeficacia), Neurociencia afectiva
<ul style="list-style-type: none"> • Coherencia interhemisférica y patrones estables de navegación cognitiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Favorecer aprendizajes que combinen percepción, acción y lenguaje; aprendizaje basado en proyectos y tareas auténticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestalt, Vygotsky, Bruner

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Engramas robustos independientemente de edad/sexo | <ul style="list-style-type: none"> ● Aplicar modelos pedagógicos universales basados en procesos y no en características demográficas. | <ul style="list-style-type: none"> ● Teorías contemporáneas de neuroeducación, Plasticidad (Kandel) |
|---|---|--|
-

Nota. Esta tabla muestra la relación teórica entre el trazado EEG, el constructo y las teorías y modelos del aprendizaje

4.1.2. Enfoque pedagógico adaptado del modelo

Esta propuesta metodológica articula tres dimensiones: Enseñanza Basada en la Evidencia (EBE), neurodidáctica y aprendizaje activo adaptativo. El modelo establece pautas para la planificación, instrucción y evaluación. Conecta las decisiones pedagógicas con biomarcadores de aprendizaje, mecanismos cognitivos y las necesidades del alumnado. Al promover prácticas con sustento empírico e impacto medible, la EBE compromete al profesorado con una labor científica que implica:

El diseño instruccional con hipótesis pedagógicas explícitas y criterios de éxito observables, favoreciendo métodos con eficacia demostrada: señalización y fragmentación de contenidos, práctica de recuperación, práctica distribuida, retroalimentación inmediata y específica y evaluación formativa continua.

- Monitorear el progreso con rúbricas alineadas para el desempeño y la transferencia, minimizando la calificación numérica aislada y reforzando la evidencia de logro a través de tareas auténticas, resolución de problemas y desempeño aplicado.
- Personalización basada en datos: ritmo, andamiaje y ajustes de complejidad según los datos de rendimiento y, cuando sea posible, marcadores neurofisiológicos no invasivos en entornos naturalistas, ya que este enfoque permite una experiencia de aprendizaje más personalizada y eficaz.

La neurodidáctica traduce los hallazgos de la neurociencia en decisiones pedagógicas

específicas, alineadas con los ritmos de codificación, consolidación y recuperación, y funciona como:

- Aperturas atencionales y regulación emocional al inicio de cada segmento instruccional para optimizar el control ejecutivo y la codificación enfocada.
- Estructurar el contenido en microciclos de 10 a 15 minutos con breves descansos activos, reduciendo la carga cognitiva innecesaria y manteniendo la calidad de la atención.
- Activación de conocimientos previos a través de organizadores, analogías y etiquetas semánticas para fomentar el aprendizaje significativo y conexiones explícitas con esquemas existentes.
- Codificación multimodal y de doble canal, con énfasis en el lenguaje visoespacial preciso y organizadores gráficos estandarizados para mejorar la redundancia funcional y la accesibilidad del contenido.
- Recuperación activa sin señales en ventanas de 24 a 48 horas y posterior consolidación, facilitando la estabilización del engrama y la transferencia a nuevos contextos.
- Uso pedagógico del error como insumo para la reestructuración cognitiva y la metacognición, evitando sanciones que aumenten el estrés y debiliten la predisposición al aprendizaje, creando así un entorno de aprendizaje más propicio y eficaz.

El Aprendizaje Activo Adaptativo se centra en la participación, la indagación y la construcción colaborativa, en lugar de la memorización mecánica. La adaptabilidad garantiza la relevancia para cada alumno y grupo, ya que este enfoque promueve una experiencia de aprendizaje más interactiva y dinámica.

- Compromiso con propósito: resolución de problemas, proyectos auténticos, debates estructurados y práctica guiada con objetivos claros y criterios de éxito compartidos.
- Andamiaje dentro de la Zona de Desarrollo Próximo, ajustando dinámicamente el apoyo y el desafío cognitivo, con modelado explícito del docente y retiro gradual del apoyo.

- Ciclos de práctica deliberada con variación e intercalación de tareas que promueven la flexibilidad cognitiva y la replicación del conocimiento.
- Metacognición integrada: verbalización de procesos, autoevaluación rápida y revisión guiada de estrategias para reforzar el control ejecutivo y la independencia.
- Equidad y diseño universal: múltiples vías de acceso y expresión, alternativas de representación y producción, y adaptaciones razonables que atiendan la diversidad cognitiva, lingüística y socioemocional, proporcionando así un entorno de aprendizaje más inclusivo y eficaz.

Los elementos operativos incluyen:

- Diseño por microciclos: Activación atencional, Microlección fragmentada, Práctica guiada, Recuperación breve, Retroalimentación específica, Práctica independiente y Recuperación espaciada.
- Dosificación temporal: secuencias de 60 minutos divididas en segmentos cortos con micro descansos, manteniendo el foco y la calidad de la atención y evitando la sobrecarga,
- Evaluación formativa continua: evidencia de desempeño y transferencia, rúbricas basadas en criterios, diarios de progreso y ajuste instruccional iterativo.
- Clima de seguridad psicológica: reglas de interacción respetuosas, gestión productiva de errores y reducción de factores estresantes evaluativos que interfieren con la atención y la consolidación, para que los estudiantes puedan aprender con mayor eficacia y eficiencia.

Los resultados previstos incluyen:

- Mayor atención sostenida y control ejecutivo al inicio del segmento.
- Codificación y retención significativa mejoradas a partir de la activación de conocimientos previos, etiquetado semántico y codificación multimodal.

- Aumento del recuerdo autónomo y la transferencia a partir de la práctica de recuperación institucionalizada y el espaciamiento.
- Desarrollo de la autorregulación y habilidades metacognitivas a través del modelado, la reflexión y la utilización formativa de errores.
- Mayor equidad educativa al alinear la personalización con la evidencia objetiva del aprendizaje y, cuando sea posible, con marcadores neurofisiológicos en entornos de aula reales, lo que resulta en mejores resultados de aprendizaje y una metodología docente más eficaz

Esta metodología docente integrada proporciona al profesorado un marco práctico, verificable y que considera la diversidad para planificar, enseñar y evaluar con coherencia neurocognitiva. Además, mejora la eficacia docente y la calidad del aprendizaje de los adolescentes, ofreciendo así una valiosa herramienta para que los educadores mejoren sus prácticas docentes.

1. Inactividad -> Actividad.

Los estudiantes aprenden mediante la actividad y participan en la resolución de problemas, el aprendizaje basado en proyectos y los debates. El docente diseña actividades que promueven el aprendizaje activo con objetivos e indicadores de éxito bien definidos, y lo hace de forma que fomenta la participación de los estudiantes.

2. Homogeneidad -> Individualización.

Adapte el ritmo, la asistencia y el nivel de exigencia según el rendimiento del estudiante, y ofrezca múltiples modos de aprendizaje y demostración de comprensión. Brinde retroalimentación específica, ya que ayuda a los estudiantes a comprender sus fortalezas y debilidades.

3. Instinto -> Datos.

Las decisiones de enseñanza se basan en la investigación y la evidencia en el aula, e implementan prácticas de recuperación, espaciamiento, indicaciones y reducen la carga

cognitiva. Reciba retroalimentación instantánea y emplee la evaluación formativa, lo que permite métodos de enseñanza más efectivos.

4. Transferencia -> Construcción con Propósito.

Relacione la nueva información con el conocimiento existente y utilice organizadores y metáforas. Fomente el pensamiento y las conexiones con la vida real, desarrollando así la comprensión mediante el andamiaje dentro de la ZPD, y evalúe la comprensión mediante problemas aplicados y transferencia.

5. Memorización mecánica -> Recuerdo intencional y aplicación.

Practique el recuerdo sin pistas, espaciado e intercalado, lo que mejora la retención y la adaptabilidad. Aproveche los errores para reconstruir el conocimiento y reforzar el control ejecutivo, de modo que los estudiantes puedan desarrollar una comprensión más profunda del material.

6. Sobrecarga -> Regulación de la Atención.

Estructura las lecciones en bloques de 10 a 15 minutos e incorpora pausas de atención y breves descansos activos. Utiliza la señalización multisensorial para reducir la carga innecesaria y mejorar la codificación, manteniendo así un afecto positivo que proteja las funciones ejecutivas.

7. Evaluación de castigo -> Evaluación formativa y realista.

Emplee demostraciones y pruebas de transferencia con criterios de calificación explícitos, e incorpore la autoevaluación y la evaluación entre pares, registros de aprendizaje y espirales de dominio. Las calificaciones numéricas se sustituyen por retroalimentación constructiva y evidencia de dominio mediante trabajo auténtico, lo que proporciona una evaluación más precisa del aprendizaje del estudiante.

8. Instrucción Dirigida por el Instructor -> Modelo de Autogestión del estudiante:

procesa, verbaliza el pensamiento y reduce gradualmente el andamiaje, lo que mejora la metacognición, la planificación y la regulación del propio aprendizaje. Fomenta la

autonomía del aprendizaje brindándole las herramientas y el apoyo necesarios para gestionar su propio aprendizaje.

9. Recursos Uniformes -> Adaptaciones y Diseño Inclusivo.

Ofrecer múltiples formas de representación y productos alternativos, y adaptaciones lingüísticas, perceptivas y socioafectivas razonables. Garantizar la plena participación de todos los estudiantes y reducir las brechas de equidad, creando así un entorno de aprendizaje más inclusivo y solidario.

10. Segregación específica de asignaturas ->

Proyectos de síntesis y aplicación Los proyectos y problemas que integran conceptos y habilidades, conectados a contextos auténticos, fomentan la relevancia, el compromiso y la aplicación, y el aprendizaje interdisciplinario lo hace porque permite a los estudiantes ver las conexiones entre diferentes asignaturas.

Los resultados esperados se encuentran con una mayor concentración sostenida y funcionamiento ejecutivo, codificación más profunda y memoria a largo plazo, recuperación y aplicación espontáneas más fuertes, mayor autogestión y equidad educativa, lo que conduce a ganancias cuantificables en el logro y el bienestar de los estudiantes, y esto se debe a que los principios de transformación pedagógica están diseñados para apoyar el aprendizaje y el desarrollo de los estudiantes.

4.1.4 Articulación entre los hallazgos EEG y la propuesta

La propuesta transformadora se basa en la relación causal entre los patrones neurofisiológicos y las acciones pedagógicas, inferida a partir de los resultados del EEG de la tesis. Los datos en tiempo real indican que los picos de atención sostenida y los picos de control ejecutivo ocurren al inicio de la resolución de los laberintos (acciones de aprendizaje, memoria y evocación). En consecuencia, la propuesta se basa en la comprensión de que la atención y el control ejecutivo son cruciales para el aprendizaje.

Los indicadores de carga cognitiva en las bandas relacionadas con el esfuerzo mental revelan que la sobrecarga surge cuando se introducen actividades que carecen de una estructura

incremental. Por lo tanto, la propuesta adopta un diseño instruccional de complejidad gradual, la fragmentación de la información, la demostración docente y la práctica guiada previa a la práctica independiente. De este modo, se adhiere a un principio neuro didáctico fundamental: como mantener la carga dentro de un rango óptimo que maximice el aprendizaje sin inducir fatiga atencional detectada por EEG, garantizando así que los estudiantes puedan procesar la información eficazmente.

El mecanismo de consolidación se refleja en la tendencia de recuperación y estabilización de los rastros de memoria tras intervalos espaciados, y la evidencia electroencefalográfica confirma que la evocación activa sin estímulos, seguida de breves períodos de retroalimentación específica, refuerza los engramas y promueve la transferencia. Por lo tanto, la propuesta incorpora ciclos breves de evocación en el aula y prácticas de recuperación espaciadas, intercaladas con variación e intercalación de tareas, lo que resulta en mejoras duraderas en la retención y la flexibilidad cognitiva, ya que este enfoque ayuda a fortalecer la memoria y promover el aprendizaje a largo plazo.

Los registros también muestran variabilidad interindividual en los perfiles atencionales y las respuestas al esfuerzo, lo que valida la personalización adaptativa. La propuesta incorpora diversas vías de acceso y expresión, modulación del ritmo, andamiaje diferenciado y monitoreo continuo del progreso. Siempre que sea posible, se recomienda incorporar biomarcadores no invasivos como herramienta auxiliar para la toma de decisiones, siempre triangulados con datos de rendimiento para adaptar el nivel de desafío dentro de la ZPD de cada estudiante, ya que este enfoque permite una experiencia de aprendizaje más personalizada y efectiva.

La correlación entre episodios de mayor coherencia funcional y la actividad intencional, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo refuerza el enfoque en el aprendizaje activo. La propuesta prioriza proyectos y tareas auténticas con objetivos bien definidos y criterios compartidos, ya que son los contextos que, según la EEG, consolidan la codificación significativa, profundizan la recuperación autónoma y promueven la transferencia a situaciones novedosas. La investigación ofrece el "por qué" neurofisiológico y la propuesta lo transforma en

un "cómo" pedagógico: tiempos, ritmos, estructuras y evaluaciones acordes con el aprendizaje óptimo del cerebro adolescente, proporcionando así un enfoque

4.1.5 Finalidad general de la transformación

Objetivos de la propuesta

- **Objetivo general:** Diseñar una intervención pedagógica basada en principios de neuroeducación y en la evidencia empírica proveniente del EEG y del desempeño académico, orientada a optimizar la atención sostenida, regular la carga cognitiva y favorecer la codificación, consolidación y recuperación de los aprendizajes en adolescentes mediante metodologías activas, evaluación formativa y personalización del proceso de enseñanza-aprendizaje.
- **Objetivo pedagógico:** Organizar la práctica docente en microciclos de aprendizaje activo y neurodidácticamente fundamentados, que integren activación atencional inicial, presentación segmentada y significativa de contenidos, práctica guiada y autónoma, recuperación espaciada y retroalimentación específica y oportuna, con el fin de promover aprendizajes profundos, transferibles y equitativos en un clima de seguridad psicológica.

Entre los beneficios previstos se anticipa una mejora de la atención sostenida y de la retención a mediano y largo plazo, evidenciada en un mejor rendimiento y mayor capacidad de transferencia; el fortalecimiento de la metacognición y la autorregulación, al favorecer que los estudiantes planifiquen, monitoreen y evalúen su propio aprendizaje; una reducción de la ansiedad académica y un aumento de la motivación y participación, gracias al énfasis en la evaluación formativa y el uso pedagógico del error; una mayor equidad y personalización del proceso, mediante la adaptación de ritmos, apoyos y vías de expresión según datos de desempeño (y, cuando sea posible, marcadores neurofisiológicos no invasivos); y una mejora de la eficacia docente y de la innovación institucional, al permitir que las decisiones pedagógicas se sustenten en la articulación sistemática entre hallazgos EEG, evidencias de aula y resultados de aprendizaje.

4.2 Estructura de la propuesta neuroeducativa

4.2.1 *Objetivos de la propuesta*

Optimizar el aprendizaje adolescente mediante una pedagogía neurocientíficamente informada, que mejora la atención, gestiona la carga cognitiva y potencia la memoria.

4.2.2 *Componentes estratégicos de la propuesta*

Los cuatro componentes de la propuesta están integrados en un todo, lo que permite un aprendizaje óptimo y esta integración permite que la propuesta sea eficaz.

1. La codificación perceptiva implica estructurar la información de forma coherente mediante el uso de presentaciones visuales, lenguaje conciso, organizadores gráficos e ilustraciones concretas, y esto ayuda a reducir la carga cognitiva y facilita la adquisición temprana al vincular el nuevo conocimiento con el conocimiento previo.
2. El andamiaje estratégico implica la descomposición de tareas y la práctica guiada, y se emplean demostraciones breves, instrucciones paso a paso, señales y una disminución gradual de las indicaciones para garantizar que todos los estudiantes tengan acceso al aprendizaje en sus niveles actuales.
3. El modelado metacognitivo demuestra cómo pensar y aprender, y el instructor analiza enfoques, controles de calidad, dificultades y opciones metacognitivas, por lo tanto, los estudiantes están capacitados para planificar, monitorear y evaluar sus propios procesos de aprendizaje.
4. La evocación generaliza el aprendizaje mediante cuestionarios de bajo impacto, frecuentes, sin pistas, con contextos variados, intercalados y acompañados de retroalimentación correctiva. Por lo tanto, la recuperación de lo aprendido fortalece la retención y la flexibilidad de la memoria. Estos componentes se integran en la instrucción en el aula, y la atención, el significado y la práctica con propósito se dirigen a construir

un aprendizaje sólido, duradero y accesible, mejorando así la experiencia de aprendizaje en general.

4.2.3 Módulos operativos de la propuesta

- **Módulo 1. Activación cognitiva y codificación**

Este módulo se sustenta en tres ejes esenciales de Neuroplasticidad (Eje I), Aprendizaje Significativo y Multisensorial (Eje II), y Retroalimentación Basada en Datos (Eje III). En una primera fase, el docente identifica los rastros de memoria previos a modo de diagnóstico relacionados con el tema a abordar. Posteriormente, mediante la aplicación de las técnicas pedagógicas descritas en el eje conceptual, estimula la neuroplasticidad y participa activamente en el proceso de aprendizaje del estudiante. Finalmente, a través del desarrollo y seguimiento de proyectos, evalúa la consolidación del nuevo conocimiento y su transferencia a contextos prácticos, garantizando así la aplicabilidad del aprendizaje. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada uno de estos componentes.

El Diagnóstico y Marco Conceptual: Se aprovecha la atención del estudiante lo que garantiza interconexión cerebral en ese momento, su cerebro está dispuesto a recordar y aprender; con el diseño instruccional que enseñó Piaget indicando que la asimilación inicial es el punto de entrada se generan “ganchos” para el nuevo conocimiento. Neisser de igual manera mencionó que los esquemas atencionales son organizadores perceptuales y con ellos damos el primer paso para crear nuevos engramas en nuestros estudiantes.

Se utilizan aquí los formularios KWL (Ogle, D. M. (1989). (corresponden a "Qué Sé" (What I Know), "Qué Quiero saber" (What I Want to know), y "Qué Aprendí") (Anexo 12) Esta última parte del formulario se llena al final de la clase.

Acciones fundamentales: Promovemos en el estudiante una percepción deliberada al utilizar señalización del camino neuronal que él facilitó al prestarnos atención. La posibilidad de generar nuevos engramas depende directamente de nuestras acciones pedagógicas. Es fundamental que el docente sea consciente del enorme impacto que su comunicación y sus estrategias tienen sobre la psique del estudiante. En este sentido, debe evitar mensajes que

generen miedo o predisposición negativa, como afirmar que “lo que vamos a aprender ahora es muy difícil”. Por el contrario, es necesario promover un ambiente emocionalmente seguro que favorezca la motivación, la confianza y la apertura cognitiva, condiciones esenciales para estimular la neuroplasticidad y consolidar aprendizajes significativos.

Activación del conocimiento previo (andamiaje): Se promociona que el estudiante evoque lo que ya conoce del tema que se esté tratando como elemento atractor para el nuevo conocimiento.

Señalización y partición: El proceso de enseñanza se desarrollará mediante la partición del contenido en unidades pequeñas y manejables, de modo que el estudiante disponga del tiempo y el espacio necesarios para asimilar el nuevo conocimiento y vincularlo con los saberes previos, favoreciendo así un aprendizaje significativo.

Etiquetado semántico y analogías: El cerebro del estudiante ya dispone de información previa sobre el tema, y al integrar el nuevo conocimiento genera metadatos que se distribuyen en diversas regiones cerebrales, entre ellas la amígdala, el hipocampo y la zona frontoparietal. Esta información se almacena inicialmente en la memoria de corto plazo y permanece allí hasta que es reactivada a través de actividades significativas, como el trabajo colaborativo o el desarrollo de proyectos basados en el nuevo aprendizaje. Dichas experiencias promueven la consolidación de la información en la memoria a largo plazo, fortaleciendo las redes neuronales y favoreciendo la retención duradera del conocimiento.

Recursos multimodales y de codificación dual: El uso de recursos multimodales y de codificación dual permite activar simultáneamente múltiples canales sensoriales en el estudiante, generando una redundancia funcional en las interconexiones cerebrales que fortalece los procesos de codificación y consolidación del aprendizaje. Involucrar los sentidos, especialmente a través del lenguaje y de la contextualización viso-espacial, resulta esencial para lograr una comprensión profunda y duradera. Es fundamental promover la participación de los estudiantes, incentivando que sean ellos quienes expresen, expliquen y construyan el conocimiento en el aula, mientras el docente actúa como guía y facilitador del proceso.

Marco temporal y espaciamento: En esta propuesta transformadora, proponemos dos sesiones de 60 minutos, divididas en espacios de 10 a 15 minutos con microdescansos obligatorios, para que el estudiante despeje su mente se pueda mover de su asiento y no se vea abrumado., Este ritmo, que podríamos denominar *microrritmo de aprendizaje*, ayuda al estudiante a mantener la concentración en los aspectos esenciales del proceso formativo. Además, fomenta la plasticidad cerebral, ya que un cerebro descansado y estimulado de manera adecuada presenta una mayor actividad fisiológica y, por tanto, un mejor desempeño cognitivo. Es importante considerar que los adolescentes tienden a distraerse o procrastinar con facilidad, por lo que el docente debe desarrollar la habilidad de diseñar y utilizar materiales didácticos propios adaptados a esta propuesta. Dichos recursos deben ser visualmente dinámicos, con un uso moderado del texto y abundancia de elementos gráficos relacionados con los contenidos, complementados con tarjetas de términos o conceptos clave que favorezcan la retención y la participación.

Monitoreo y validación (cierre de ciclo): La tarea se realiza en grupos y se realiza en clase. Por lo tanto, se utilizan dos sesiones de 60 minutos, ya que requiere una cantidad considerable de tiempo. En clase, el grupo completa la hoja KWL. Para empezar, anotan lo que saben sobre el tema (K). Primero, anotan lo que saben sobre el tema (K), y segundo, lo que les gustaría aprender/investigar (W). Tercero, anotan lo que han aprendido después de la actividad (L), ya que es una parte esencial del proceso de aprendizaje. Toda la clase completa y entrega la hoja el mismo día para la asignatura; por lo tanto, es una parte crucial de la actividad de clase.

Indicadores de proceso y resultado a las 24-48 horas:_ A las 24 o 48 horas según el tema y otras actividades propias del colegio o escuela y mediante rúbricas específicas, hacemos recuerdo libre de lo aprendido es el momento en que el estudiante evoca lo aprendido de manera espontánea sin tener ayuda o pistas de lo que se quiere recordar (Gereau, 2025), incentivamos a que todos los estudiantes participen.

Criterios de fidelidad: Para que el proceso tenga resultados, tanto docentes como directivos deben estar comprometidos. El nivel académico y personal alcanzado por los

estudiantes será la mejor muestra de fidelidad, la propuesta transformacional sí habrá funcionado.

- **Módulo 2. Interacción social y reorganización conceptual**

Sabemos muy bien que los seres humanos somos sociales por naturaleza, y siguiendo a Vygotsky se necesita un experto que ayude al estudiante y al ser un ser social aprenderá mucho más fácilmente.

Implementación: El docente (el experto) dará ejemplos del tema que se enseñó, si al preguntar algún estudiante se equivoca aprovecha ese momento para hacer la enseñanza personalizada sin reprimir al estudiante. El docente debe incentivar que todos participen sin importar si se equivocan para poder conocer la brecha cognitiva del estudiante y para poder crear el puente que cerrará la misma.

Fundamento teórico: Si bien la gran mayoría de la teoría educativa participa se destacan:

Vygotsky: El experto ayuda al estudiante a aprender y el socialmente refuerza ese conocimiento en la ZDP.

Bandura: Cuando el estudiante utiliza la observación y comprende, se incrementa su confianza y aprende más efectivamente, más aún si ve a otros.

Piaget: Las etapas de desarrollo del niño le ayudan a construir su aprendizaje, asimilando y organizando y reorganizando sus esquemas mentales.

Carga cognitiva: Al enseñar solo lo realmente importante sin pérdidas de tiempo innecesarias y basados en la evidencia disminuye el estrés del estudiante y ve su docente un verdadero maestro que se interesa por él.

Recomendación de dosis de trabajo: En este momento el docente puede utilizar dos o tres sesiones de uno 60 minutos implementando los microdescansos. La relación modelado-práctica es de 1:1 y luego 1:2 una acción y un descanso y luego una acción y dos descansos donde el

estudiante es el gran protagonista no el docente. Aquí los estudiantes siguen trabajando en sus proyectos anteriores o en nuevos proyectos.

Equidad y seguimiento: De ser factible aquí entra el experto neurocientífico a escena. Si hay la posibilidad tomará los registros EEGi y monitorea el comportamiento en tiempo real y es medio ecológico.

- **Módulo 3. Complejización progresiva y monitoreo del error**

Una parte fundamental de esta propuesta transformacional es que los estudiantes deben hacer dictado y escritura para desarrollar esas habilidades que refuerzan los códigos de los engramas y su metacognición. Este dictado debe realizarse una vez que el estudiante haya recibido un nuevo conocimiento, incorporando un nivel de complejidad superior al de los contenidos previamente abordados. Durante esta actividad, el docente monitorea los errores de manera indirecta a través de las preguntas y comentarios formulados por los propios estudiantes, lo que permite evaluar la comprensión y ajustar el proceso de enseñanza sin interrumpir la dinámica del aprendizaje.

Marco teórico:

- Bandura (1965): La observación y el ver a otro genera aprendizaje.
- Vygotsky (1978): El aprendizaje que proviene de un experto y se consolida en lo social genera una memoria a largo plazo efectiva. La ZDP y el andamiaje son fundamentales en el proceso de aprender.
- Piaget (1964): Las etapas de desarrollo del niño le ayudan a construir su aprendizaje, asimilando y organizando y reorganizando sus esquemas mentales.

Enfoque de evaluación: Ya se ha mencionado que la evaluación no es numérica; el desarrollo de los proyectos, son la evidencia de su aprendizaje que a la postre es el objetivo final de la educación, que la persona aprenda, no con qué clasificación aprendió. Ese es un paradigma por cambiar.

- **Módulo 4. Transferencia y resolución colaborativa**

Para mantener una buena evocación se proponen tres momentos:

La práctica de recuperación: sin dar pistas se propone un problema general y los estudiantes deben resolverlo.

La práctica de distribución: buscar crear esos problemas y distribuirlos según las necesidades particulares de cada

La práctica mixta: Involucra las dos prácticas en el mismo momento de ser necesario.

4.2.4 Roles de los actores de la propuesta

1. Experto en docencia

- Diseña ciclos de aprendizaje cortos que incluyen aprendizaje activo, práctica guiada y recuperación espaciada, y modela el pensamiento y las habilidades metacognitivas; retira progresivamente el andamiaje.
- Supervisa el progreso utilizando evidencia y rúbricas, y proporciona retroalimentación específica, porque esto ayuda a identificar áreas en las que los estudiantes necesitan mejorar.
- Gestiona la carga cognitiva segmentando el contenido y equilibrando el desafío con el apoyo, garantizando así que los estudiantes puedan procesar la información de manera eficaz.
- Establece un clima seguro y una evaluación formativa, esencial para crear un entorno que fomente el aprendizaje.

2. Aprendiz o estudiante

- Participa en tareas auténticas, resolución de problemas y debates estructurados, y explica los procesos de pensamiento, practica la recuperación sin señales y la espacial en el tiempo, porque esto ayuda a reforzar el aprendizaje.
- Autorregula el enfoque, el esfuerzo y las estrategias, y busca ayuda cuando es necesario, pudiendo así tomar el control de su propio aprendizaje.
- Realiza autoevaluaciones y evaluaciones de pares, y mantiene registros del progreso y los objetivos, para que puedan realizar un seguimiento de su progreso e identificar áreas de mejora.
- Transfiere el aprendizaje a contextos nuevos y colabora con sus compañeros, lo que ayuda a profundizar su comprensión del material.

3. Neurocientífico o consultor en neuroeducación

- Traduce los resultados del EEG y la neurociencia en decisiones instructivas responsables y ayuda a establecer métricas de atención, carga y recuperación, porque esto ayuda a crear un entorno de aprendizaje más efectivo.
- Correlaciona datos neurofisiológicos con el rendimiento académico para realizar ajustes y facilita ciclos iterativos de mejora y desarrollo profesional docente basados en datos, garantizando así que los métodos de instrucción estén basados en evidencia.
- Garantiza el uso ético y no invasivo de los datos neurofisiológicos y proporciona capacitación sobre cómo interpretarlos, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más eficaz.

4. Facilitador o moderador de la discusión

- Establece objetivos, lineamientos y criterios de éxito para el diálogo, y asegura la participación equitativa, el respeto y los argumentos respaldados por evidencia, porque esto ayuda a crear una discusión productiva y respetuosa.
- Sintetiza los puntos clave y los vincula con los objetivos de la sesión, y desencadena estrategias para aclarar, profundizar y alcanzar el consenso, ayudando así a garantizar que la discusión esté centrada y sea productiva.
- Fomenta la escucha activa y la apertura mental, y proporciona retroalimentación a los participantes para que puedan mejorar sus habilidades de discusión.
- Documenta estrategias, señales de comprensión, preguntas comunes y acuerdos grupales, y proporciona información para la retroalimentación, la metacognición y la mejora posterior de la sesión, porque esto ayuda a identificar áreas de mejora.
- Informa de manera imparcial y procesable sus observaciones al equipo docente y ofrece sugerencias para mejorarlas, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más eficaz.

5. Cronómetro (no debe ser un estudiante)

- Gestiona las duraciones de las minifases, las transiciones, las pausas activas y las conclusiones, y alerta sobre sobrecarga o distracción para ajustar el ritmo, ya que esto ayuda a mantener el proceso de aprendizaje encaminado.
- Se asegura de que los tiempos se ajustan al cronograma sin comprometer la calidad del aprendizaje y proporciona retroalimentación al instructor, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más efectivo.

6. Mentor par o estudiante de apoyo

- Proporciona asistencia "liviana" rápida que no suplanta el esfuerzo de los compañeros, demuestra estrategias efectivas y fomenta la participación y la inclusión, porque esto ayuda a crear un entorno de aprendizaje de apoyo.
- Facilita la resolución cooperativa de problemas y la cohesión del grupo, y proporciona retroalimentación a los compañeros, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más colaborativo.

7. Tutor o representante legal

- Apoya las rutinas de sueño, la gestión emocional y los patrones de estudio espaciados, y refuerza los organizadores, planificadores y prácticas de recuperación en el hogar, porque esto ayuda a crear un entorno de aprendizaje de apoyo.
- Se comunica con la escuela y apoya los objetivos de aprendizaje y proporciona retroalimentación al alumno, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más efectivo.

8. Gerente o administrador académico

- Proporciona condiciones: horarios, recursos, instalaciones y tiempo de colaboración docente, y fomenta la formación continua y la cultura de innovación basada en evidencia, porque esto ayuda a crear un ambiente de aprendizaje propicio.
- Supervisa las métricas de procesos y resultados y supervisa la mejora institucional, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más eficaz.
- Establece políticas de consentimiento informado, confidencialidad y utilización responsable de datos, y garantiza que todos los datos cerebrales sean voluntarios, agregados, seguros y contrastados con el rendimiento, porque esto ayuda a proteger los derechos de los estudiantes.

- Supervisa el cumplimiento y la comunicación transparente con la comunidad educativa, y proporciona retroalimentación a las partes interesadas, ayudando así a crear un entorno de aprendizaje más confiable.

4.2.5 Dinámica de aula y secuencias temporales

Para mejorar la comprensión del propuesta lo haremos con un ejemplo de una clase de biología sobre la “La célula”

Módulo 1: El docente realiza el diagnóstico con el formulario KWL, los estudiantes escriben "Lo que sé" y "Lo que me gustaría aprender", luego puede hacer una corta prueba de selección múltiple Les pide que hagan una analogía de la membrana de la célula con algo cotidiano de la escuela.

La Unidad 1, *Bloque 1:* El docente explica en forma fragmentada la función y partes de la célula. Utiliza ciclos de 10 a 15 minutos, con pausas de 60 a 90 segundos y continúa con el proceso. *Bloque 2:* Se apoya con su material didáctico, que debe tener codificación de colores para cada parte de la célula y para la función, utiliza un pequeño videoclip de 60 a 90 segundos de duración para ayudar a memorizar imágenes, porque es silencioso y solo muestra texto. Continúa con el siguiente momento de la clase en el que utiliza “flashcards” que tienen funciones y partes de la célula y pide a cada estudiante que se junte con el que tiene la carta correspondiente, ejemplo, “Mitocondria y producción de energía” El *bloque 3:* son analogías guiadas ejemplo "La célula es como tú casa, que tiene una pared que le protege y muchos integrantes dentro de ella que cumplen funciones diferentes".

Se hace una conclusión y el breve descanso. Luego se hacen tres preguntas de recuperación (evocación), sin apoyo de notas o documentos.

Se espera por lo menos un 80% de precisión en las respuestas.

El módulo 2 El docente retoma el tema y busca que los estudiantes hablen de lo aprendido, que se interrelaciones socialmente con el tema. Si hay errores aprovecha y cierra la brecha cognitiva, evitando el estrés por la equivocación.

El módulo 3 El docente hace un dictado que debe tener una carga de complejidad más alta a lo enseñado para subir el nivel sin que lo noten los estudiantes y además controla posibles errores de aprendizaje con las preguntas que pueden hacerles sus estudiantes.

En el módulo 4 en este momento el docente plantea un problema general para que todos los estudiantes lo resuelvan apoyándose unos a otros, y si ve que alguien no participa le genera un problema individual, no como acto punitivo sino para que trate de resolverlo solo.

4.3 Evaluación, validación y viabilidad de la propuesta

4.3.1 Pertinencia

La propuesta innovadora es relevante porque responde a las necesidades significativas identificadas en adolescentes y en la práctica docente, vinculando la evidencia neurofisiológica (EEG) con el rendimiento académico y los modelos de enseñanza contemporáneos. De esta manera, aborda los déficits de atención, la sobrecarga cognitiva y la transferencia deficiente, evidenciados en los registros de la actividad cerebral y las medidas de rendimiento. En primer lugar, traduce estos resultados en acciones docentes concretas (microciclos de 10-15 minutos, descomposición de tareas, andamiaje, recuperación espaciada, retroalimentación enfocada y clima de seguridad psicológica) que son factibles en escuelas reales y compatibles con las estrategias de aprendizaje activo y universal, ya que estas acciones se basan en evidencia empírica. La relevancia también se deriva de la alineación con los estándares curriculares y los objetivos de mejora institucional, por lo que prioriza el tiempo de enseñanza en tareas auténticas y la transferencia, refuerza la evaluación formativa y ofrece criterios de éxito explícitos, mejorando la transparencia y la equidad, reduciendo así las disparidades en el aprendizaje. El componente de personalización, basado en datos de progreso y, cuando es posible, marcadores no invasivos, adapta el ritmo, los apoyos y los modos de expresión a la diversidad cognitiva y socioemocional, reduciendo las disparidades de aprendizaje y, por lo tanto, es un aspecto crucial de la propuesta. Para las partes interesadas, la propuesta es significativa porque ofrece roles diferenciados y complementarios para docentes, estudiantes y personal de apoyo (orientación, asesoramiento neuroeducativo, coordinación académica), con tareas de implementación visibles

y pruebas. Por lo tanto, su implementación fomenta una cultura escolar de mejora basada en datos, ética e iterativa, impulsando la credibilidad y la aceptación dentro de la comunidad educativa. Finalmente, su naturaleza modular y escalable la hace relevante para diversos contextos y recursos, por lo que puede implementarse con un bajo costo tecnológico, comenzando con métricas de aula y avanzando progresivamente hacia el uso responsable de biomarcadores, garantizando la relevancia, viabilidad y sostenibilidad, ya que este enfoque permite flexibilidad y adaptabilidad.

4.3.2 Viabilidad operativa

El plan es viable desde el punto de vista operativo debido a sus limitados requerimientos de infraestructura, diseño factible del tiempo en el aula, enfoque de capacitación docente incremental y prueba piloto gradual con refinamiento iterativo, y por lo tanto puede implementarse con eficacia.

Infraestructura: Nivel básico: aula convencional con pantalla o pizarra, computadoras para el profesorado, tarjetas de papel o digitales y organizadores gráficos, rúbricas y rastreadores de progreso; no requiere hardware costoso, por lo que el plan es accesible para una amplia gama de instituciones. Nivel medio: relojes visuales, sistemas de cuestionarios de recuperación y monitoreo de progreso, archivo en línea de recursos; por lo tanto, ofrece un nivel moderado de integración tecnológica.

Nivel alto (opcional, se puede alquilar): dispositivos económicos de electroencefalografía no invasiva para investigación-acción y verificación, siempre con consentimiento, uso agregado y ética de datos, ya que este enfoque garantiza la flexibilidad y la adaptación del plan a diferentes contextos. Tiempo. Estructurado en microperíodos de 60 minutos: 3-5 minutos de inducción de la atención y objetivos; 10-12 minutos de codificación perceptual dividida; 12-15 minutos de práctica asistida con apoyos; 5-7 minutos de recuperación breve sin indicaciones; 10-12 minutos de práctica autónoma; 3-5 minutos de retroalimentación específica y resumen, lo que proporciona un enfoque claro y estructurado para la gestión del tiempo.

Las sesiones extendidas se dividen en dos microperíodos, lo que permite flexibilidad y adaptabilidad a diferentes contextos de enseñanza. La recuperación distribuida se cronometra en 24-48 horas mediante minipruebas de 5-8 minutos, lo que facilita su integración en los horarios escolares existentes. Esto se alinea con la mayoría de los calendarios escolares sin afectar el currículo, minimizando así las interrupciones en los horarios existentes, ya que está diseñado para ser compatible con diversos calendarios escolares.

Capacitación docente.

Fase 1, concientización (4-6 horas): principios neurodidácticos, gestión de la carga cognitiva, diseño de microciclos por ciclos y evaluación formativa, proporcionando así una base sólida para el profesorado.

Fase 2, diseño y planificación (6-8 horas): creación de secuencias, rúbricas y bancos de ítems de recuperación, estrategias y adaptaciones, ya que permite al profesorado desarrollar habilidades y conocimientos esenciales.

Fase 3, implementación con apoyo (4-6 semanas): observación entre pares, retroalimentación sobre las prácticas y perfeccionamiento del andamiaje y la sincronización, proporcionando así apoyo y orientación continuos al profesorado.

Fase 4, datos y mejora continua (4 horas): evidencia del rendimiento lector y, cuando corresponda, interpretación ética de biomarcadores para decisiones pedagógicas, permitiendo así al profesorado tomar decisiones basadas en datos. Los módulos se pueden impartir en días de servicio o en cápsulas semanales, porque esto permite flexibilidad y conveniencia en términos de programación.

Piloto. Diseño por fases y de bajo riesgo, y por lo tanto minimiza el riesgo de implementación, porque está cuidadosamente planificado y estructurado.

Etapas 1, grupo pequeño o prueba del curso voluntario durante 6-8 semanas, con atención de referencia, participación y desempeño, por lo que proporciona una base para la evaluación y el refinamiento.

Etapla 2, expansión en paralelo o ciclo con ajustes basados en el análisis de la evidencia, porque permite que el plan se refine y mejore con base en datos y retroalimentación.

Etapla 3, institucionalización gradual con comunidades de práctica y repositorio de secuencias validadas, y por lo tanto asegura que el plan sea sostenible y escalable a largo plazo. Indicadores de seguimiento: a) proceso, fidelidad de implementación de microciclos, tasa de participación, clima y carga percibida; b) resultado, recuperación sin claves, transferencia en tareas auténticas, variación en el desempeño; c) equidad, brecha de logro entre subgrupos y acceso a múltiples canales de expresión, porque estos indicadores proporcionan un marco integral para la evaluación y valoración. Si se utiliza EEG, su función es confirmatoria y exploratoria, nunca punitiva ni individualizadora, y por tanto garantiza que el plan sea justo y equitativo.

Costos y sostenibilidad. Bajos costos directos en el nivel básico, enfocados en la capacitación y el tiempo de diseño, lo que facilita el acceso a una amplia gama de instituciones gracias a su diseño rentable. Ahorros gracias a una mayor eficiencia en las clases y la reducción de la repetición de contenidos, ya que este enfoque permite a las escuelas optimizar sus recursos y minimizar el desperdicio. Sostenibilidad mediante materiales reutilizables, bancos de ítems y una rutina de planificación institucional del microciclo, lo que garantiza que el plan sea respetuoso con el medio ambiente y responsable. Se buscan apoyos externos para el nivel avanzado solo si aportan un valor demostrable, lo que garantiza la eficiencia y eficacia del plan en la asignación de recursos.

Riesgos y mitigación. Los riesgos de sobrecarga inicial del profesorado se minimizan mediante plantillas listas para usar y el apoyo entre pares, ya que este enfoque proporciona a los docentes las herramientas y la orientación necesarias para gestionar su carga de trabajo eficazmente. El riesgo de una excesiva tecnologización se minimiza al priorizar la pedagogía en lugar de los dispositivos, lo que garantiza que el plan se centre en la enseñanza y el aprendizaje, no en la tecnología. El riesgo de resistencia al cambio se minimiza mediante logros rápidos visibles en términos de atención, participación y una evaluación clara en el piloto, ya que este enfoque permite a los docentes y administradores ver los beneficios del plan y comprometerse

con su éxito. Con estos elementos implementados, la viabilidad operativa es alta en diversos contextos, con un punto de entrada de bajo costo, horarios compatibles con la jornada escolar y una clara formación docente y un plan de escalamiento basado en la evidencia, lo que la convierte en una solución viable y eficaz para las escuelas.

4.3.3 Innovación de la propuesta

La innovación reside en la aplicación de los hallazgos neurocientíficos para fundamentar decisiones pedagógicas que se pueden comprobar en el aula. La propuesta integra, por primera vez en el ámbito educativo, ciclos de microaprendizaje con gestión de la carga cognitiva, práctica distribuida y retroalimentación dirigida, junto con métricas fisiológicas de atención y esfuerzo. La triangulación de los datos de EEG, las tareas del aula y el diseño instruccional permite al profesorado modular dinámicamente el ritmo, el apoyo y el desafío, optimizando así la capacidad de codificación sin necesidad de tecnología costosa o intrusiva, ya que este enfoque facilita una experiencia de aprendizaje más personalizada y eficaz.

Los componentes también son innovadores: codificación perceptual con pistas y mapas conceptuales; andamiaje estratégico con modelado breve, práctica asistida y retirada gradual; modelado explícito de metacognición para la planificación, el seguimiento y la evaluación; y práctica de recuperación sin pistas con espaciado e intercalación, proporcionando así un marco integral para la enseñanza y el aprendizaje.

Estos componentes traducen los principios de la neurociencia en acciones sencillas, replicables y rentables que promueven la equidad al ofrecer múltiples vías para aprender y demostrar conocimientos, haciendo así la educación más accesible y eficaz para todos los estudiantes.

En cuanto a la evaluación, la innovación radica en la transición de la calificación punitiva a la demostración y aplicación del aprendizaje mediante rúbricas alineadas y evaluaciones auténticas en situaciones reales. Esto reduce la reactividad afectiva y fomenta una sensación de seguridad psicológica, que, según investigaciones y datos fisiológicos, mejora la participación y la retención. Las estructuras colaborativas implican un liderazgo distribuido en el aula que la

profesionaliza, aumenta la participación y genera datos para la mejora, de modo que los docentes puedan perfeccionar sus estrategias de enseñanza y crear un entorno de aprendizaje más propicio.

En cuanto a la implementación, de la propuesta, esta propone un enfoque gradual para su adopción: comenzar con plantillas y bancos de ejercicios de remediación, talleres de desarrollo docente y pilotos de 6 a 8 semanas con métricas de proceso, producto y equidad, ya que este enfoque gradual permite una implementación gradual y una evaluación continua. La incorporación de biomarcadores no invasivos se propone éticamente como complemento y corroborativo, siempre validados de forma cruzada con evidencia conductual, posicionando a la escuela en un marco de innovación ética y sostenible, garantizando así que la innovación sea eficaz y responsable.

La innovación reside en transformar el "por qué" de la neurociencia en el "cómo" de una instrucción que sea procesable, medible y equitativa, mejorando la eficacia de los docentes y la calidad del aprendizaje de los adolescentes, lo que conduce a mejores resultados educativos y una experiencia de aprendizaje más positiva.

4.3.4 Consideraciones éticas del uso de neurotecnología

Neurotecnología en el aula: Recomendaciones éticas y principios rectores

Siempre debe primar la ética, los datos son útiles siempre y cuando sirvan para favorecer al ser humano en este caso los estudiantes. NO pueden ser utilizados para discriminar o marginar.

Los principios rectores incluyen:

- Consentimiento informado
- Asentimiento informado
- No maleficencia
- Transparencia
- Equidad
- Políticas operativas

- Política de Gestión de Datos
 - Consentimiento por niveles
 - Privacidad de acceso la información
 - Implementación en el aula de la EEGi (solo en voluntarios)
 - Proveedores de EEGi no entran en contacto con los estudiantes
 - Plan de Comunicación constante con los padres/tutores

Riesgos típicos y contramedidas

- Fuga de información; la contramedida son contratos de confidencialidad.

Recursos de orientación

- Recomendación de la UNESCO sobre la ética de la neurotecnología (<https://www.unesco.org/es/neuroethics-conference>)
- La presente investigación, de enfoque analítico, experimental y transversal, desarrollada mediante una metodología mixta, permitió obtener resultados cuantitativos que confirman la validez de la hipótesis planteada.
- En el análisis cuantitativo, debido al tamaño reducido de la muestra ($n < 30$), se realizó una prueba de potencia que alcanzó un valor de 0,785 para un nivel alfa de 0.05, lo que indica una alta probabilidad de detectar los efectos esperados en las correlaciones. La muestra estuvo conformada por 14 estudiantes voluntarios: 8 mujeres (57,1%) y 6 hombres (42,9%). En cuanto al grado cursado, la distribución fue la siguiente: octavo grado (21,4%), noveno (7,1%), décimo (21,4%), primero de bachillerato (7,1%), segundo (28,6%) y tercero (14,3%). Las edades oscilaron entre 13 y 18 años, con una media de 15,7. Respecto a las etapas de la adolescencia, el 21,4% correspondió a la etapa temprana, el 50% a la media y el 28,6% a la tardía.
- Debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, se aplicaron pruebas no paramétricas. Los resultados mostraron que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre edad y desempeño, sexo y desempeño, ni entre etapa de adolescencia y desempeño. Sin embargo, la

matriz de correlación de Spearman evidenció una conexión significativa entre recuerdo y aprendizaje ($\rho = 0,6615$; $p = 0,010$), lo que indica una relación positiva moderada-alta y estadísticamente significativa. La comparación pre y post intervención mediante la prueba de Wilcoxon mostró una mejora sustancial después del aprendizaje ($p = 0,002$), con un tamaño del efecto muy grande ($r = -0,9429$). Esto confirma que los participantes fueron notablemente más rápidos en la resolución del laberinto tras la fase de aprendizaje, demostrando un impacto significativo en el rendimiento cognitivo.

- Para la creación de los constructos se genera una rúbrica (anexo 13), permitiendo establecer relaciones entre los engramas observados y las diferentes teorías y modelos del aprendizaje. De esta integración nace el **Constructo General de Navegación Cognitiva (CGNC)**, con un promedio de 3,04 (DE = 0,54) en una muestra de 14 sujetos. Las principales fortalezas identificadas fueron el sesgo visoespacial (3,86), la capacidad de planificación (3,21) y la atención sostenida (3,20), mientras que las vulnerabilidades se centraron en la evocación de la memoria de trabajo (3,07), el sesgo verbal (2,29) y el monitoreo del error (2,20).
- Los resultados evidenciaron un perfil cognitivo competente y equilibrado, reforzado por la estrategia visoespacial y una sólida capacidad de planificación, atención y toma de decisiones. Estos hallazgos confirman la existencia de correspondencias entre los engramas cerebrales de los participantes y las principales teorías y modelos del aprendizaje.
- La hipótesis —según la cual la evidencia de engramas neuronales obtenida mediante electroencefalografía inalámbrica en tiempo real aporta elementos verificables para articular la teoría educativa con las prácticas docentes, reduciendo la brecha entre neurociencia y educación fue confirmada empíricamente. Los resultados demostraron la posibilidad de integrar los patrones neuronales observados con los constructos teóricos de las teorías del aprendizaje.

- La metodología empleada, que comprendió el diagnóstico del problema, la fundamentación teórica, el diseño experimental, el registro electroencefalográfico durante tareas cognitivas, el procesamiento estandarizado y el análisis estadístico, garantizó la coherencia entre el propósito, las hipótesis, las técnicas y los instrumentos. Este enfoque permitió responder a la pregunta de investigación tanto empírica como conceptualmente dentro del alcance definido.
- En relación con el objetivo general y los objetivos específicos, se cumplió a cabalidad lo propuesto. Los resultados revelaron asociaciones consistentes entre las modulaciones oscilatorias del EEG y las teorías del aprendizaje, estableciendo relaciones teóricas y empíricas con autores y modelos como James, Montessori, Neisser, Piaget, Vygotsky, Bandura, la Gestalt, el conductismo y los modelos de memoria. Esta triangulación reforzó la validez explicativa de la convergencia entre las ondas alfa y theta y el desempeño cognitivo, así como su alineación con procesos de atención selectiva, codificación, monitoreo del error y consolidación.
- En síntesis, los correlatos neuronales identificados mostraron modulaciones coherentes con la literatura científica y permitieron integrar de forma plausible los resultados experimentales con los constructos teóricos modelados.
- Finalmente, se desarrolló una **Propuesta Transformacional denominada “Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje”**, cuyo propósito es poner en manos de los educadores una herramienta práctica basada en la evidencia científica. Esta propuesta, estructurada en cuatro módulos, busca fortalecer la atención, la evocación y la construcción de aprendizajes significativos, situando al docente como un mediador neuroeducativo capaz de transformar la experiencia de aprendizaje y, con ello, la vida de sus estudiantes.

4.3.5 Indicadores de evaluación del impacto

Tabla 20

Indicadores de Impacto

Dimensión	Indicador	Definición operativa / fórmula	Fuente de datos	Frecuencia	Meta 6-8 semanas	Notas éticas / consideraciones
Compromiso y Carga Cognitiva	Índice de atención sostenida	Minutos en on-task / minutos totales del microciclo	Rúbrica de observación; auto-reporte breve post-bloque	Semanal	+15% frente a línea base	Uso formativo; no punitivo
Compromiso y Carga Cognitiva	% en zona de carga óptima	% de estudiantes que reportan 2 en semáforo de carga (1-3)	Mini encuesta tipo NASA-TLX simplificada	Por sesión (promedio semanal)	+20%	Asegurar anonimato
Compromiso y Carga Cognitiva	Cumplimiento de tempo de microciclo	Fases realizadas a tiempo / fases planificadas	Checklist del docente / cronómetro	Por sesión	>=90%	Ajustar sin sacrificar calidad
Adquisición y Transferencia	Recuerdo inmediato sin pistas	Aciertos en mini-prueba 3-5 ítems al cierre del bloque	Ítems alineados al objetivo	Por clase	+10%	Bajo riesgo, retroalimentación
Adquisición y Transferencia	Recuerdo diferido 24-48h	Aciertos diferidos – aciertos inmediatos (Δ)	Mini-prueba diferida	Cada 24-48h	+15%	Practicar espaciado
Adquisición y Transferencia	Transferencia a contextos nuevos	Puntaje en rúbrica de desempeño para situación novedosa	Evaluación auténtica	Quincenal	+20% en media	Rúbrica validada
Adquisición y Transferencia	Retención 3-4 semanas	% de ítems recordados tras 3-4 semanas	Prueba de consolidación breve	Mensual	+15%	Ítems representativos
Metacognición y Autorregulación	Uso de herramientas metacognitivas	% que planifican, monitorean y evalúan (escala 1-5)	Encuesta breve + diario de aprendizaje	Quincenal	+20% en puntuación	Orientación explícita
Metacognición y Autorregulación	Gestión de tiempo y esfuerzo	% de metas cumplidas por semana	Bitácora de objetivos compartidos	Semanal	+15%	Acompañamiento docente
Metacognición y Autorregulación	Calidad de explicación de proceso	Puntaje en rúbrica de explicación de procedimiento	Rúbrica metacognitiva	Por tarea mayor	+1 nivel en rúbrica	Coevaluación
Clima Socioemocional	Ansiedad académica	Cambio en inventario breve de ansiedad (pre-post)	Inventario validado corto	Inicio/fin de piloto	-20%	Derivación si es necesario
Clima Socioemocional	Seguridad psicológica percibida	Acuerdo con ítems tipo ‘puedo equivocarme sin sanción’ (1-5)	Cuestionario Likert 1-5	Mensual	+0.5 puntos	Anonimato y consentimiento
Clima Socioemocional	Participación y roles	% de estudiantes que participan y roles asumidos	Lista de cotejo del observador	Por clase / semanal	+20% participación	Distribución equitativa
Equidad y Personalización	Implementación DUA	Nº de opciones de acceso/expresión por unidad	Checklist de planificación DUA	Por unidad	+2 opciones respecto a línea base	Revisión de calidad

Equidad y Personalización	Brecha de logro en transferencia	Diferencia de medias entre subgrupos	Resultados desagregados	Mensual	-30% de la brecha	Análisis sin estigmatizar
Equidad y Personalización	Eficacia de adaptaciones	% de adaptaciones con resultado satisfactorio	Registros de personalización	Quincenal	+20%	Ajuste iterativo
Calidad e Implementación	Fidelidad al modelo	% de elementos esenciales presentes por sesión	Lista de observación del modelo	Quincenal	>=85%	Co-observación entre pares
Calidad e Implementación	Calidad de la retroalimentación	Índice de precisión, oportunidad y enfoque formativo	Revisión de devoluciones y observación	Quincenal	+20%	Muestreo aleatorio
Calidad e Implementación	Mejora continua	Nº de ajustes basados en evidencia y su efecto	Bitácora docente / PDCA	Mensual	+2 ajustes efectivos/meses	Registrar hipótesis
Rendimiento Académico	Progresión en criterios de dominio	% que alcanza hitos por competencia	Rúbricas y calificación por estándares	Por unidad	+15%	Alineación curricular
Rendimiento Académico	Aprobación/Asistencia	Variación vs. línea base en reprobación y ausentismo	Sistema escolar	Bimestral/Trimestral	+ mejora y - ausentismo	Control de confusores
Biomarcadores (voluntario)	Coherencia atencional media por bloque	Índice de coherencia/atención promedio por bloque	EEG de bajo costo (muestra opt-in, datos agregados)	Muestreo semanal	+ tendencia positiva	Consentimiento y anonimización
Biomarcadores (voluntario)	Asociación esfuerzo-rendimiento	r entre marcadores de esfuerzo y recuerdo/transferencia	Correlación EEG-desempeño	Mensual	r significativo (p<.05)	Uso confirmatorio, no evaluativo

Nota. Indicadores para medir las dimensiones

4.4 Proyección y escalabilidad de la propuesta

La escalabilidad y proyección de la propuesta se basan en su arquitectura modular, bajo costo inicial, estándares curriculares y alineación con el marco de educación globalizada, lo que facilita la adopción progresiva desde intervenciones en el aula hasta programas institucionales e implementaciones en redes escolares. Por lo tanto, el enfoque de escalamiento emplea pruebas piloto cíclicas, evaluación formativa y fases de refinamiento continuo, aprovechando bibliotecas de secuencias validadas, bancos de ítems y protocolos de observación para facilitar la transferencia docente y contextual.

La sostenibilidad se garantiza mediante el aprendizaje profesional por etapas, comunidades de práctica y gestión ética de datos, ya que los biomarcadores no intrusivos se utilizan opcionalmente de forma complementaria, confirmatoria y aditiva. Por lo tanto, la propuesta se adapta a diversas dotaciones tecnológicas y demografías estudiantiles, a la vez que preserva la fidelidad a los principios fundamentales mediante directrices de implementación

directrices de implementación, de modo que produce evidencia comparable para la toma de decisiones basada en datos a nivel de aula, institucional y del sistema, optimizando el impacto, la equidad y la eficacia.

4.4.1 Potencial de transferencia a otras áreas y niveles

La propuesta es aplicable a diversos grados y áreas del conocimiento, es modular, cumple con las normas que abarcan el “que”, “el cómo” y “por qué” del aprendizaje, y se basa en principios neurocognitivos transversales. Horizontalmente, los componentes (codificación perceptual, andamiaje estratégico, modelado metacognitivo y recuperación espaciada) son aplicables a las áreas de la ciencia, la tecnología y la matemática, humanidades y artes mediante la sustitución de organizadores, rúbricas de desempeño y bancos de ítems de competencia, lo que permite su adaptación a diferentes asignaturas.

Verticalmente, la secuenciación por microciclos y la gestión de la carga cognitiva se escalan desde el nivel de la primaria hasta la educación superior y la formación docente, variando la complejidad de las tareas, el nivel de independencia y la densidad conceptual, ya que este enfoque permite flexibilidad y personalización.

En contextos técnico-vocacionales y altamente heterogéneos, la evaluación auténtica y la personalización facilitan la transferencia a entornos prácticos y duales, de modo que los estudiantes puedan aplicar sus conocimientos en situaciones reales. La implementación gradual mediante pilotos, repositorios validados y comunidades de práctica preserva la integridad de la propuesta y, por lo tanto, proporciona evidencia equivalente y aumenta el impacto, la equidad y la eficacia en todas las disciplinas y grados.

4.4.2 Retos y líneas futuras de investigación

El programa vincula los conocimientos del aprendizaje neuronal con técnicas pedagógicas basadas en la evidencia y busca mejorar la atención, la carga cognitiva y la memoria mediante episodios breves de aprendizaje, andamiaje dirigido, demostraciones metacognitivas y recuperación distribuida. Aborda los déficits de atención, la sobrecarga cognitiva y la incapacidad de generalizar, se alinea con los estándares curriculares y diseños globales de

aprendizaje, y traduce los hallazgos de la investigación, incluyendo biomarcadores no invasivos si se seleccionan, en pasos instructivos concretos.

Es pragmático, con bajos costos de instalación, ritmo explícito, capacitación de educadores por etapas y evaluación iterativa mediante métricas de proceso, producto y equidad, por lo que constituye una solución práctica para las instituciones educativas.

Su innovación radica en conectar los datos del aula, el rendimiento y las respuestas corporales para modificar el ritmo, la asistencia y la dificultad, avanzando así hacia una evaluación auténtica y continua, y esfuerzos colaborativos que elevan la calidad del aula. Su escalabilidad y difusión dependen de una arquitectura modular, bibliotecas de rutinas validadas y comunidades de práctica, lo que permite transiciones fluidas entre las diferentes disciplinas del conocimiento, humanidades, artes, desde primaria superior hasta universidad, manteniendo al mismo tiempo la fidelidad de la implementación, ya que este enfoque garantiza la adaptación del programa a diversos entornos educativos.

Los desafíos incluyen la validez ecológica, la medición multimétrica estandarizada, la aplicación genuina sin sobrecargar a los educadores, la aceptación ética y pública, la equidad y los gastos de ampliación, por lo que abordar estos desafíos es crucial para el éxito del programa.

Los próximos pasos incluyen ensayos multicéntricos, paneles combinados a largo plazo, el perfeccionamiento de ciclos cortos, la validación de rúbricas de desempeño, el análisis de costo-beneficio y vías de desarrollo profesional a largo plazo, que incluyen el bienestar, la seguridad psicológica y la reducción de brechas. Estos pasos son necesarios para una mayor validación y mejora del programa. El enfoque ofrece un medio ético y basado en la evidencia para mejorar la eficacia docente y el aprendizaje transferible para adolescentes, ya que proporciona un método integral y bien estructurado para mejorar los resultados educativos.

4.4.3. Valoración, evaluación y validación de la propuesta de transformación

La validación de la propuesta transformadora se estructura mediante un sistema integral que articula criterios de pertinencia, viabilidad operativa, innovación y evaluación de impacto. Este proceso no constituye una verificación estática, sino un mecanismo dinámico de mejora

continua que garantiza la coherencia entre los fundamentos neurofisiológicos, las acciones pedagógicas y los resultados de aprendizaje en contextos escolares reales.

Criterios de pertinencia y coherencia teórico-empírica

La propuesta responde directamente a necesidades identificadas tanto en la evidencia neurofisiológica como en la práctica docente. Los registros de EEGi revelaron vulnerabilidades específicas en la evocación de la memoria de trabajo (MT_evoc: 3.07), el sesgo verbal (2.29) y el monitoreo del error (2.20), mientras que las fortalezas se concentraron en el sesgo visoespacial (3.86), la planificación (3.21) y la atención sostenida (3.20). La propuesta responde a este perfil mediante estrategias diferenciadas: microciclos de 10 a 15 minutos para optimizar la atención sostenida, práctica de recuperación espaciada para fortalecer la evocación, y uso pedagógico del error para desarrollar el monitoreo metacognitivo.

La coherencia teórica se valida mediante la triangulación entre los patrones oscilatorios observados (beta frontal en codificación, theta en evocación, alfa-theta en integración) y los constructos de las principales teorías del aprendizaje (Piaget, Vygotsky, Ausubel, Bandura, Tulving, Kandel). Esta convergencia asegura que las decisiones pedagógicas no se basen en intuiciones, sino en correspondencias verificables entre procesos neurofisiológicos y principios educativos consolidados.

Mecanismos de evaluación del impacto

La evaluación del impacto se operacionaliza mediante indicadores multinivel que abarcan dimensiones de proceso, resultado y equidad. Los indicadores de proceso incluyen el cumplimiento del tiempo de microciclo (meta: $\geq 90\%$), el índice de atención sostenida (meta: +15% frente a línea base) y el porcentaje de estudiantes en zona de carga óptima (meta: +20%). Los indicadores de resultado contemplan el recuerdo inmediato sin pistas (meta: +10%), el recuerdo diferido a 24–48 horas (meta: +15%), la transferencia a

contextos nuevos mediante rúbricas de desempeño auténtico (meta: +20%) y la retención a 3–4 semanas (meta: +15%).

Los indicadores de equidad miden la brecha de logro entre subgrupos (meta: reducción del 30%), la implementación del Diseño Universal para el Aprendizaje (meta: +2 opciones de acceso/expresión por unidad) y la eficacia de las adaptaciones personalizadas (meta: +20% de adaptaciones con resultado satisfactorio). Adicionalmente, se monitorean dimensiones socioemocionales como la reducción de la ansiedad académica (meta: -20%), el incremento en la seguridad psicológica percibida (meta: +0.5 puntos en escala Likert) y el aumento de la participación activa (meta: +20%).

Validación operativa y viabilidad

La viabilidad operativa se confirma mediante un diseño de implementación por fases que minimiza riesgos y maximiza la sostenibilidad. La Fase 1 (Etapa piloto, 6-8 semanas) se ejecuta con un grupo pequeño o curso voluntario, estableciendo líneas base de atención, participación y desempeño. La Fase 2 (Expansión en paralelo) incorpora ajustes basados en el análisis de evidencia recolectada. La Fase 3 (Institucionalización gradual) consolida comunidades de práctica y repositorios de secuencias validadas.

Los requerimientos de infraestructura son escalonados: el nivel básico requiere únicamente aula convencional, organizadores gráficos, rúbricas y rastreadores de progreso; el nivel medio incorpora cronómetros visuales y sistemas de cuestionarios de recuperación; el nivel avanzado (opcional) integra dispositivos EEGi de bajo costo para investigación-acción, siempre bajo protocolos éticos estrictos de consentimiento, anonimización y uso agregado de datos.

La capacitación docente se estructura en cuatro fases: (1) Concientización (4-6 horas): principios neurodidácticos y gestión de carga cognitiva; (2) Diseño y planificación (6-8 horas): creación de secuencias, rúbricas y bancos de ítems; (3) Implementación con apoyo (4-6 semanas): observación entre pares y retroalimentación sobre prácticas; (4) Datos y mejora continua (4 horas): interpretación ética de biomarcadores y evidencia de desempeño para decisiones pedagógicas.

Validación empírica preliminar

La validación empírica preliminar se sustenta en los resultados del estudio experimental que fundamenta la propuesta. La prueba de Wilcoxon demostró una mejora sustancial en el rendimiento post-aprendizaje ($p = 0.002$) con un tamaño del efecto muy grande ($r = -0.9429$), confirmando que los participantes fueron notablemente más rápidos en la resolución de tareas tras la fase de aprendizaje estructurado. La correlación de Spearman evidenció una asociación significativa entre recuerdo y aprendizaje ($\rho = 0.6615$; $p = 0.010$), validando la efectividad de las estrategias de recuperación activa y práctica distribuida.

Significativamente, no se detectaron diferencias estadísticas por sexo, edad o etapa de adolescencia, lo que valida la universalidad de la propuesta y elimina sesgos de expectativa o asignación diferencial. Este hallazgo respalda la aplicación equitativa de la propuesta desde octavo grado hasta tercero de bachillerato, garantizando condiciones homogéneas de enseñanza y aprendizaje.

Sostenibilidad y mejora continua

La sostenibilidad se garantiza mediante costos directos bajos en el nivel básico, enfocados en capacitación y tiempo de diseño, con ahorros derivados de mayor eficiencia instruccional y reducción de repetición de contenidos. Los materiales reutilizables, bancos de ítems validados y rutinas de planificación institucional del microciclo aseguran la continuidad de la propuesta sin dependencia de recursos externos costosos.

Los riesgos identificados (sobrecarga inicial del profesorado, excesiva tecnologización, resistencia al cambio) se mitigan mediante plantillas listas para usar, apoyo entre pares, priorización de la pedagogía sobre los dispositivos, y logros rápidos visibles en atención, participación y desempeño durante el piloto.

Validación ética y uso responsable de neurotecnología

La validación ética se fundamenta en principios rectores de consentimiento informado, asentimiento informado, no maleficencia, transparencia y equidad. Los biomarcadores

neurofisiológicos se utilizan exclusivamente con fines confirmatorios y exploratorios, nunca punitivos ni individualizadores. Los datos se gestionan mediante protocolos de anonimización, acceso restringido y comunicación transparente con la comunidad educativa, alineados con las recomendaciones de la UNESCO sobre ética de la neurotecnología.

En síntesis, la propuesta de transformación pedagógica se valida mediante convergencia de evidencia neurofisiológica, coherencia teórica, viabilidad operativa demostrada, indicadores de impacto multinivel, validación empírica preliminar con tamaños de efecto muy grandes, y protocolos éticos rigurosos. Este sistema integral de validación asegura que la propuesta no solo sea teóricamente sólida, sino operacionalmente viable, empíricamente efectivo y éticamente responsable en contextos escolares reales.

Conclusiones

La investigación respondió a la pregunta científica: la brecha entre la neurociencia y la educación, y a través del estudio de los patrones cerebrales obtenidos mediante EEG inalámbrico en tiempo real, en adolescentes de educación secundaria, y su comparación con las teorías del aprendizaje, se construyó una propuesta global de neuroeducación, que reduce la distancia entre la neurociencia y la educación, brindando soporte empírico, teórico y metodológico para la transformación de la educación.

Con relación al objetivo general “Diseñar un Modelo Neuroeducativo Holístico del Aprendizaje, para el mejoramiento de la Enseñanza, Mediante el uso de Engramas Cerebrales y su Relación con las Teorías del Aprendizaje, en Adolescentes de la Unidad Educativa “Lev Vygotsky” - Ecuador- año lectivo 2025”, los resultados muestran una alta coincidencia con las teorías estructuralistas, funcionalistas, conductistas, cognitivas, constructivistas, socioculturales, de aprendizaje social y de neurociencia cognitiva, y las variaciones en las bandas alfa, theta y beta, así como las interacciones entre las áreas frontal, temporal, parietal y límbica, coinciden con los procesos de atención, memoria de trabajo, codificación, consolidación, recuerdo, regulación emocional y toma de decisiones descritos en la literatura, validando así nuestra hipótesis de que los patrones de actividad cerebral obtenidos mediante EEGi son elementos cuantificables que permiten relacionar la teoría educativa con la práctica educativa, reduciendo con ello la distancia entre neurociencia y educación.

El primer objetivo específico “identificar los patrones de actividad cerebral durante el aprendizaje y el recuerdo” se logró a través del trabajo de campo realizado con estudiantes adolescentes en el aula, y el diseño experimental permitió el registro en tiempo real del cerebro durante tareas de diferentes niveles de complejidad cognitiva, por lo tanto, el análisis cuantitativo reveló que los datos no tienen una distribución normal, no hay diferencias significativas según sexo, edad o etapa de desarrollo, pero sí hay diferencias significativas en el rendimiento de los sujetos entre el pretest y el posttest ($p = 0,002$), porque la potencia estadística (0,785) y el control de las condiciones experimentales validan estos resultados.

Neurofisiológicamente se corroboró la existencia de circuitos fronto-hipocampales, modulaciones theta asociadas al esfuerzo cognitivo y modulaciones alfa/beta asociadas a la atención, memoria de trabajo y estabilización de la respuesta, y se identificaron patrones funcionales relacionados con la codificación y el recuerdo, lográndose así el objetivo, pues esto demuestra la relación entre la actividad cerebral y los procesos de aprendizaje.

El segundo objetivo específico “elaboración del marco teórico de las principales corrientes de aprendizaje” se logró a través de la revisión histórico-crítica y el análisis sistemático de teorías y modelos desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, y en el Capítulo II se presentó un sólido andamiaje integrando el estructuralismo, el funcionalismo, el conductismo, la psicología de la Gestalt, la psicología cognitiva, el constructivismo, la teoría sociocultural, el aprendizaje social, la neurociencia cognitiva, las inteligencias múltiples y los modelos conexionistas y de engramas dinámicos contemporáneos, por lo que las estructuras conceptuales y los engramas teóricos representaron gráficamente los supuestos centrales de cada enfoque y su potencial correlación neurofisiológica, proporcionando así una valiosa contribución ya que proporciona un mapa teórico integrado que une las tradiciones del aprendizaje psicológico con la medición neurofisiológica contemporánea, asegurando la coherencia epistemológica y conceptual de la investigación.

El tercer objetivo específico “establecer la relación teórica y empírica, a través de constructos, entre engramas EEGi y engramas de las principales corrientes de aprendizaje” se confirma con los hallazgos y la discusión, porque la comparación entre los patrones registrados de actividad cerebral y las estructuras conceptuales derivadas de las teorías revisadas permitió construir constructos de navegación cognitiva por sujeto y un constructo general, y la integración de estos constructos reveló que la atención enfocada, la organización progresiva de la información, la formación de hábitos, el aprendizaje basado en el refuerzo, la comprensión de insight, el procesamiento de la información, el aprendizaje significativo y la mediación sociocultural tienen correlatos observables en la dinámica oscilatoria cerebral de los adolescentes estudiados, mostrando así que no existe una separación absoluta entre teoría y neurofisiología, sino más bien una correspondencia que puede demostrarse empírica y ecológicamente.

El cuarto objetivo específico “diseño de una propuesta transformadora basada en evidencia que vincule los resultados neurofisiológicos con las teorías del aprendizaje para optimizar la educación” condujo al desarrollo de la propuesta holística de aprendizaje en neuroeducación presentado en el Capítulo IV, y está anclado en la Enseñanza Basada en Evidencia, la neurodidáctica y el aprendizaje activo adaptativo, organizado en objetivos, componentes estratégicos, módulos operacionales, roles de los actores y dinámicas temporales del aula, por tanto, la propuesta traduce los hallazgos de la EEGi y los constructos teóricos en decisiones pedagógicas específicas tales como la segmentación de las sesiones de trabajo, alternancia de momentos de alta demanda cognitiva con descansos cortos, uso combinado de recursos multimodales, estrategias de recuperación espaciada, regulación del clima emocional y promoción de la metacognición, porque los indicadores de impacto integran dimensiones neurofisiológicas, académicas, metacognitivas y socioemocionales, así como criterios de pertinencia, viabilidad operacional, innovación y uso ético de la neurotecnología.

Respecto a la hipótesis, los resultados obtenidos permiten aceptarla, y los engramas neuronales capturados mediante EEGi en tiempo real aportaron elementos objetivos para conectar la teoría educativa con las prácticas docentes, pues por un lado, se aportaron datos neurofisiológicos que corroboran la relevancia de los procesos descritos por las teorías clásicas y contemporáneas del aprendizaje, y por otro, se diseñó una propuesta de aula aplicable que traduce esta evidencia en directrices pedagógicas específicas, sustentadas en indicadores de evaluación y criterios de viabilidad, contribuyendo así a cerrar la brecha entre la neurociencia y la educación, y aportando una base empírica para una práctica docente más rigurosa, contextualizada y centrada en el adolescentes.

Sin pretender agotar la complejidad del tema, la investigación abre vías para futuras líneas de trabajo, como ampliar la muestra y las tareas cognitivas, incorporar otras variables contextuales y socioemocionales, y validar longitudinalmente la propuesta en otras instituciones y áreas curriculares, por lo que, dentro de los límites planteados en el cuerpo de la tesis, se han alcanzado los objetivos, se ha confirmado la hipótesis y junto a los resultados se sustentan la relevancia y significancia de la propuesta de transformación pedagógica basada en evidencia en el contexto de adolescentes en educación secundaria.

Recomendaciones

Desde el punto de vista metodológico:

1. Replicar la investigación con muestras más grandes y diversas, y utilizar múltiples escuelas y diseños experimentales rigurosos (por ejemplo, estudios doble ciego, grupos de control, asignación aleatoria) para mejorar la validez interna y externa de los hallazgos.
2. Implementar el modelo de neuroeducación propuesto en contextos auténticos de educación secundaria porque documentar metódicamente el proceso (planificación, ejecución, evaluación) y emplear instrumentos válidos para evaluar la influencia en el rendimiento académico, la concentración, el incentivo y el recuerdo es crucial.
3. Diseñar una investigación longitudinal para investigar los resultados a mediano y largo plazo del modelo de neuroeducación, lo que nos permitirá ver si los cambios se mantienen en el tiempo y qué impacto tiene esto en el desarrollo de los adolescentes en su conjunto.

Esto nos permitirá ver si los cambios se mantienen en el tiempo y qué impacto tiene esto en el desarrollo de los adolescentes en su conjunto y, por lo tanto, la investigación futura debe incluir factores psicosociales relevantes (por ejemplo, estatus socioeconómico, entorno del aula, prácticas docentes, participación de los padres, etc.) e investigar su relación con los engramas neuronales identificados.

4. La investigación futura debe incluir factores psicosociales relevantes (por ejemplo, estatus socioeconómico, entorno del aula, prácticas docentes, participación de los padres, etc.) e investigar su relación con los engramas neuronales identificados, de modo que esto proporciona una imagen más clara de

cómo los factores contextuales influyen en la eficacia de un enfoque de neuroeducación integrado.

5. Se debe alentar a los grupos de investigación colaborativa que involucran a maestros, psicólogos, consejeros, neurocientíficos y educadores a interpretar los escáneres cerebrales, los datos conductuales, emocionales y contextuales de manera holística y, por lo tanto, se deben evitar las interpretaciones reduccionistas centradas únicamente en la función cerebral.

Desde el punto de vista académico

1. Continuar la investigación sobre la teoría de la neuroeducación y los engramas neuronales asociados a los procesos de aprendizaje y memoria durante la adolescencia, y por tanto, seguir actualizando y perfeccionando el modelo de neuroeducación integral propuesto en esta tesis.
2. Ampliar la aplicación del modelo a otras áreas del currículo (ciencias naturales, lenguas, artes, educación física, etc.) y otras etapas educativas (infantil, primaria, secundaria, universidad), adaptándolo según las necesidades a la edad y al contexto, porque ello permitirá una comprensión más completa de la eficacia del modelo.
3. Establecer formalmente una colaboración entre la unidad educativa “Lev Vygotsky”, universidades y centros de investigación para crear una línea de investigación en neuroeducación que eventualmente pudiera derivar en un centro o grupo especializado en esta área, y así, incorporar indicadores académicos y de bienestar relacionados con la neuroeducación en la gestión escolar (mejora de calificaciones, reducción de la deserción escolar, aumento de la motivación, mejora del clima de aula, fortalecimiento del bienestar emocional) de manera que el impacto del modelo pueda evaluarse más allá del nivel de aula.
4. Incorporar indicadores académicos y de bienestar relacionados con la neuroeducación en la gestión escolar (mejora de calificaciones, reducción

de la deserción escolar, aumento de la motivación, mejora del clima de aula, fortalecimiento del bienestar emocional) de manera que el impacto del modelo pueda evaluarse más allá del nivel de aula, y así, crear entornos de aprendizaje (congresos, seminarios, simposios, publicaciones) donde podamos presentar los hallazgos de nuestras investigaciones y nuestra propuesta de modelo integral de neuroeducación a la comunidad científica y educativa.

Desde el punto de vista práctico

1. Crear entornos de aprendizaje (congresos, seminarios, simposios, publicaciones) donde podamos presentar los resultados de nuestra investigación y el modelo de neuroeducación integrada que proponemos a la comunidad científica y educativa, fomentando así el intercambio de experiencias y la retroalimentación constructiva.
Sugerencias prácticas.
2. Introducir progresivamente y con apoyo el modelo de neuroeducación integrada en las aulas de la unidad educativa “Lev Vygotsky” y de cualquier otro centro interesado, garantizando que el profesorado reciba instrucciones claras, materiales de apoyo y tiempo suficiente para preparar las clases, porque esto facilitará una transición fluida al nuevo modelo.
3. Desarrollar e impartir sesiones de formación continua en neuroeducación para docentes, centradas en contenidos prácticos y contextualizados para que puedan comprender las bases neurocientíficas del aprendizaje y aplicar estrategias de enseñanza basadas en la evidencia de forma responsable y ética, y para ello, fomentar grupos de trabajo intersectoriales en los centros educativos (docentes, directores, psicólogos, orientadores, trabajadores sociales, etc.) para apoyar la implementación del modelo, analizar los datos resultantes y tomar acciones educativas basadas en la evidencia.

4. Fomentar grupos de trabajo intersectoriales en las escuelas (docentes, directores, psicólogos, orientadores, trabajadores sociales, etc.) para apoyar la implementación del modelo, analizar los datos resultantes y tomar acciones educativas basadas en evidencia, porque esto permitirá a las escuelas tomar decisiones basadas en datos y mejorar los resultados de los estudiantes.
5. Establecer estándares éticos estrictos para el uso de dispositivos de monitoreo cerebral (como el EEG inalámbrico) y otros instrumentos de evaluación en el entorno escolar, incluyendo el consentimiento informado de estudiantes y padres, garantías de confidencialidad y prohibiciones explícitas de usarlos para estigmatizar, aislar o discriminar a los adolescentes, y así, integrar progresivamente métricas de resultados de neuroeducación en los planes de mejora escolar (por ejemplo, objetivos con respecto al rendimiento, la asistencia, las relaciones, la motivación y la felicidad) para que la institución pueda seguir sus avances y refinar sus enfoques.
6. Integrar progresivamente las métricas de resultados de la neuroeducación en los planes de mejora escolar (por ejemplo, objetivos relacionados con el rendimiento, la asistencia, las relaciones, la motivación y la felicidad) para que la institución pueda seguir su avance y refinar sus enfoques y, por lo tanto, informar a las familias y a la comunidad escolar en general sobre los conceptos clave de la neuroeducación y sus posibles ventajas a través de conferencias, seminarios y materiales informativos, con el objetivo de fomentar la aceptación, el compromiso conjunto y la comprensión compartida de la educación centrada en el alumno orientada al desarrollo holístico.
7. Informar a las familias y a la comunidad escolar en general sobre los conceptos clave de la neuroeducación y sus potenciales ventajas a través de conferencias, seminarios y materiales informativos, con el objetivo de fomentar la aceptación, el compromiso conjunto y la comprensión

compartida de la educación centrada en el alumno orientada al desarrollo holístico, porque esto ayudará a crear un entorno de apoyo para la implementación del modelo de neuroeducación.

Referencias

- Acuerdo Ministerial No. 2066. (2023). Guía de práctica clínica para investigaciones en seres humanos: Adolescencia y pubertad. Profamilia. <https://profamilia.org.co/aprende/cuerpo-sexualidad/adolescencia-y-pubertad/>
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA). (2014). Guía práctica ARCSA: Declaración de Helsinki. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/declaracion_helsinki.pdf
- Alkhasawneh, S., & Al Sharif, H. (2025). Perspectives of brain research (educational neuroscience) on the design and implementation of teaching strategies in educational technology. *Journal of Neuroeducation*, 5(2), 14–24. https://www.researchgate.net/publication/389384985_Perspectives_Of_Brain_Research_Educational_Neuroscience_on_the_Design_and_Implementation_of_Teaching_Strategies_in_Educational_Technology
- Amjad, A. I., Tabbasam, U., & Abbas, N. (2022). The effect of brain-based learning on students' self-efficacy to learn and perform mathematics: Implication of neuroscience into school psychology. *Pakistan Languages and Humanities Review*, 6(3), 683–695. <https://n9.cl/hxmd3c>
- Anderson, J. A., Grundy, J. G., Grady, C. L., Craik, F. I., & Bialystok, E. (2021). Bilingualism contributes to reserve and working memory efficiency: Evidence from structural and functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 163, 108071. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0028393221003249>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2024). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://www.bibliometrix.org>
- Asociación Médica Mundial (AMM). (2016). Declaración de Helsinki: Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos; y principios del CIOMS. Ginebra: CIOMS. <https://acortar.link/Omxyu>
- Asociación Médica Mundial. (2024). Declaración de Helsinki de la AMM: Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. WMA – The World Medical Association. <https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
- Asthana, H. S. (2015). Wilhelm Wundt. *Psychological Studies*, 60, 244–248. <https://doi.org/10.1007/s12646-014-0295-1>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1965). Mathematical models for memory and learning (Technical Report No. 96). Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University. <https://escholarship.org/uc/item/1vb63016>

- Axelrod, C. J., Gordon, S. P., & Carlson, B. A. (2023). Integrating neuroplasticity and evolution. *Current Biology*, 33(8), R288–R293. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(23\)00269-5](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(23)00269-5)
- Baker, A. E., Galván, A., & Fuligni, A. J. (2025). Connecting the brain in context: How adolescent plasticity supports learning and development. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 71, 101486. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11653146/>
- Bladin, P. F. (2006). W. Grey Walter, pioneer in the electroencephalogram, robotics, cybernetics, artificial intelligence. *Journal of Clinical Neuroscience*, 13(2), 170–177. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16455257/>
- Bandura, A. (1965). Influence of models' reinforcement contingencies on the acquisition of imitative responses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(6), 589–595. <https://doi.org/10.1037/h0022070>
- Bouchrika, I. (2025). Social learning theory & its modern application in education for 2025. *Research. com*. URL: <https://research.com/education/social-learning-theory>
<https://research.com/education/social-learning-theory>
- Brain Development Cooperative Group. (2024). The NIH MRI study of normal brain development. *NeuroImage*, 30(1), 184–202. <https://dblp.org/pid/193/8276.html>
- Brain Innovation. (2024). BrainVoyager EDU [Software]. https://www.brainvoyager.com/downloads/bv_edu_download.html
- Broda, Mary Beth (2009) "Multiple Intelligences," ESSAI: Vol. 7, Article 13. Available at: <http://dc.cod.edu/essai/vol7/iss1/13>.
- Broca, P. (1861). Nouvelle observation d'aphémie produite par une lésion de la moitié postérieure des deuxième et troisième circonvolutions frontales. *Bulletin de la Société Anatomique de Paris*, 36, 398–407. <https://www.mpi.nl/publications/item2301217/nouvelle-observation-daphemie-produite-par-une-lesion-de-la-moitie>
- Bruer, J. T. (2008). Building bridges in neuroeducation. *The educated brain: Essays in neuroeducation*, 43-58.
- Bryce, T. G. K., & Blown, E. J. (2024). Ausubel's meaningful learning re-visited. *Current Psychology*, 43(5), 4579–4598. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12144-023-04440-4>
- Calabro, F. J., Montez, D. F., Larsen, B., Laymon, C. M., Foran, W., Hallquist, M. N., ... Luna, B. (2023). Striatal dopamine supports expectation and learning: A simultaneous PET/fMRI study. *NeuroImage*, 267, 119831. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811922009521>

- Campbell, A. W. (1905). *Histological studies on the localisation of cerebral function*. Cambridge University Press. <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/1903>
- Campbell, S. R. (2020). *Educational neuroscience: Past, present, and future prospects*. North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED629979.pdf>
- Cattaruzza, S., & Raynaud, S. (2025). History of Gestalt Psychology and Language. In *Handbook of Gestalt-Theoretical Psychology of Art* (pp. 56-80). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781032694467-5/history-gestalt-psychology-language-serena-cattaruzza-savina-raynaud>
- Claxton, G. (Ed.). (2025). *Cognitive psychology: New directions*. Taylor & Francis. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fhIsEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1929&dq=Cognitive+Psychology&ots=UwqIw68uPH&sig=qQXU_6rUXPUGpFYz3CWjiswBNmI&redir_esc=y#v=onepage&q=Cognitive%20Psychology&f=false
- Chhade, F., Tabbal, J., Paban, V., Auffret, M., Hassan, M., y Vérin, M. (2024). Predicción del comportamiento creativo mediante electroencefalografía en estado de reposo. *Communications Biology*, 7(1), 790. <https://www.nature.com/articles/s42003-024-06461-6>
- Código de la Niñez y Adolescencia (actualización 2017; originalmente 2003). Ecuador. (2017). https://www.igualdad.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/codigo_ninezyadolescencia.pdf
- Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. Registro Oficial No. 899. Ecuador. (2016, 9 de diciembre). <https://www.gob.ec/regulaciones/codigo-organico-economia-social-conocimientos-creatividad-innovacion-0>
- Código Orgánico de la Salud (Ley Orgánica de Salud No. 2006-67; última reforma 2022; Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 53). Ecuador. (2022). <https://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/3426>
- Comisión Nacional de Bioética en Salud (CNBS). (s. f.). <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/AM-3557-2013-1.pdf><https://acortar.link/5zc1yd>
- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. Ecuador. (2008, 20 de octubre). 449. https://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJYXjYwZXRhIjoicm8iLCJ1dWlkIjoiMDZmMTE3NmQtMGxMNC00OTNmLWFhZGYtMjQ0ZmQ0OWQ1OTVmLnBkZiJ9
- Corporación IBM. (2018). IBM SPSS Modeler (Versión 18.0) [Software de computadora]. <https://www.ibm.com>

- Corporación Microsoft. (2024). Microsoft Word (Versión 16.0) [Software de computadora]. <https://www.microsoft.com>
- Cherry K (2025) How the Social Learning Theory Works Verywell Mind Available from <https://www.verywellmind.com/social-learning-theory-2795074>
- Darby, R. R., Laganieri, S., Pascual-Leone, A., Prasad, S., & Fox, M. D. (2017). Finding the imposter: Brain connectivity of lesions causing delusional misidentifications. *Brain*, 140(2), 497–507. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28082298/>
- Dasen, L. (2025). Wolfgang Köhler. In: Kan, Z. (eds) *The ECPH Encyclopedia of Psychology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7874-4_159
- Daugirdiene, A., Cesnaviciene, J., & Brandisauskiene, A. (2024). Insights from the active use of neuroscience findings in teaching and learning. *Behavioral Sciences*, 14(8), 639. <https://www.mdpi.com/2076-328X/14/8/639>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open-source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Dorst, K. E., Senne, R. A., Diep, A. H., de Boer, A. R., Suthard, R. L., Leblanc, H., ... Ramirez, S. (2024). Hippocampal engrams generate variable behavioral responses and brain-wide network states. *Journal of Neuroscience*, 44(2), e0340-23. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10860633/pdf/jneuro-44-e0340232023.pdf>
- Elsevier. (2024). Scopus [Database]. <https://www.scopus.com/standard/marketing.uri>
- Equipo JASP. (2024). JASP (Versión 0.18.3.0) [Software]. Universidad de Ámsterdam. <https://jasp-stats.org/>
- Evans, AC (2006). Estudio de resonancia magnética del NIH sobre el desarrollo cerebral normal. *NeuroImage*, 30(1), 184–202. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.09.068>
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S. y Hohnsbein, J. (2000). Componentes de ERP en errores de reacción y su importancia funcional: Un tutorial. *Psicología Biológica*, 51(2–3), 87–107. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10686361/>
- Felten, DL, O'Banion, MK y Maida, MS (2022). *Netero. Atlas de neurociencia*. Ciencias de la Salud Elsevier. <https://educate.elsevier.com/book/details/9788413823010>
- Fontanillo Lopez, CA, Li, G. y Zhang, D. (2020). Más allá de las tecnologías de interfaces cerebro-computadora basadas en electroencefalografía: Una revisión sistemática desde los aspectos comerciales y éticos. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 611130. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33390892/>

- Friedrichsmeier, T., Michalke, M. y colaboradores. (2023). RKWard: Una interfaz transparente para R basada en tecnologías KDE (Versión 0.7.5) [Software]. <https://rkwart.kde.org/>
- Galinsky, VL y Frank, LR (2020). Teoría universal de las ondas cerebrales: De bucles lineales a picos sincronizados no lineales y ritmos cerebrales colectivos. *Physical Review Research*, 2(2), 023061. <https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.2.023061>
- Gall, FJ (1818). Anatomía y fisiología del sistema nervioso en general, y del cerebro en particular: con observaciones sobre la posibilidad de reconocer más disposiciones intelectuales y morales del hombre y de los animales por la configuración de sus cabezas. F. Schoell. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k767165.texteImage>
- García-Monge, A., Rodríguez-Navarro, H. y Marbán, JM (2023). Potencialidades y limitaciones del uso de dispositivos de EEG en contextos educativos. *Comunicar*, 31(76), 47–57. <https://www.revistacomunicar.com/ojs/index.php/comunicar/article/view/115339>
- Gasser, T., Jennen-Steinmetz, C., Sroka, L., Verleger, R. y Möcks, J. (1988). Desarrollo del EEG en niños y adolescentes en edad escolar II: Topografía. *Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica*, 69(2), 100–109. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2446829/>
- Gereau, A. D. (2025). A Meta-Analysis of Testing Effects With Free Recall (Master's thesis, The University of North Carolina at Chapel Hill).
- Ghosh, L., Konar, A., & Rakshit, P. (2021). *Cognitive modeling of human memory and learning: A non-invasive brain-computer interfacing approach*. John Wiley & Sons, Inc.
- Gkintoni, E., Antonopoulou, H., Sortwell, A. y Halkiopoulou, C. (2025). Cuestionando la teoría de la carga cognitiva: El papel de la neurociencia educativa y la inteligencia artificial en la redefinición de la eficacia del aprendizaje. *Brain Sciences*, 15(2), 203. <https://doi.org/10.3390/brainsci15020203>
- Gkintoni, E., Aroutzidis, A., Antonopoulou, H., y Halkiopoulou, C. (2025). De las redes neuronales a las redes emocionales: Una revisión sistemática del reconocimiento de emociones basado en EEG en neurociencia cognitiva y aplicaciones en el mundo real. *Ciencias del cerebro*, 15(3), 220. <https://doi.org/10.3390/brainsci15030220>
- Gómez-Lombardi, A., Costa, BG, Gutiérrez, PP, Carvajal, PM, Rivera, LZ y El-Deredy, W. (2024). La tríada cognitiva red-oscilación-conducta vincula las diferencias individuales en la frecuencia theta del EEG con el rendimiento en tareas y la conectividad efectiva. *Scientific Reports*, 14(1), 21482. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-21482-0>
- Goodman, R. (Verano de 2024). William James. En Zalta y U. Nodelman (Eds.), *La Enciclopedia de Filosofía de Stanford*. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/james/>

- Gorgoni, M., D'Atri, A., Scarpelli, S., Reda, F. y De Gennaro, L. (2020). Electroencefalografía del sueño y maduración cerebral: Trayectorias de desarrollo y su relación con el funcionamiento cognitivo. *Medicina del Sueño*, 66, 33–50.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389945719302667>
- Götte, WM (2023). Adolescencia y los hallazgos de la investigación sobre el cerebro. En *Manual de Investigación sobre Pedagogía Waldorf* (pp. 176-202). Routledge.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003187431-17/adolescence-findings-brain-research-wenzel-g%C3%B6tte>
- Green, JD (1964). El hipocampo. *Physiological Reviews*, 44(4), 561–608.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1964.44.4.561>
- Grennan, G., Balasubramani, PP, Vahidi, N., Ramanathan, D., Jeste, DV y Mishra, J. (2022). Mecanismos neuronales disociales de la cognición y el bienestar en la juventud versus el envejecimiento saludable. *Psicología y Envejecimiento*, 37(7), 827–840.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36107693/>
- Guiote, JM, Vallejo, M. Á., y Mas, B. (2023). Entrenamientos de atención sin esfuerzo: La intersección de la atención y la salud mental en niños y adolescentes. *IntechOpen*.
<https://www.intechopen.com/chapters/1170709>
- Heald, JB, Lengyel, M., y Wolpert, DM (2023). Inferencia contextual en el aprendizaje y la memoria. *Tendencias en ciencias cognitivas*, 27 (1), 43–64.
[https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613\(22\)00265-0](https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613(22)00265-0)
- Hebb, DO (1949). *La organización de la conducta: Una teoría neuropsicológica*. Wiley.
<https://psycnet.apa.org/record/1950-02200-000>
- Herbet, G. y Duffau, H. (2020). Revisitando la anatomía funcional del cerebro humano: Hacia una teoría de metarredes de las funciones cerebrales. *Physiological Reviews*, 100(3), 1181–1228. <https://doi.org/10.1152/physrev.00013.2019>
- Hernández Carrillo, F. B., & Sánchez Mendiola, M. (2018). Investigación traslacional en educación: un puente entre teoría y práctica educativa. *Revista Digital Universitaria*, 19(4).
https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19_n4_a4-Investigaci%C3%B3n-traslacional-en-educaci%C3%B3n.pdf
- Immordino-Yang, MH (2011). Implicaciones de la neurociencia afectiva y social para la teoría educativa. *Filosofía y Teoría Educativa*, 43(1), 98–103. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00704.x>
- Jacquinet, M. (2024). Introduction to grounded theory: evolution, approaches, and critical perspectives.

- Jeannerod, M. (1997). *La neurociencia cognitiva de la acción*. Blackwell.
<https://www.wiley.com/en-us/The+Cognitive+Neuroscience+of+Action-p-9780631196044>
- Jia, G., Hubbard, CS, Hu, Z., Xu, J., Dong, Q., Niu, H. y Liu, H. (2023). La actividad cerebral intrínseca es cada vez más compleja y se desarrolla de forma asimétrica durante la infancia y la adolescencia temprana. *NeuroImage*, 277, 120225.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811923003762>
- Jiménez-Guarneros, M., y Gómez-Gil, P. (2020). Adaptación de dominios personalizados: Un nuevo método para el reconocimiento de carga cognitiva intersujeto basado en EEG. *IEEE Signal Processing Letters*, 27, 750–754. <https://doi.org/10.1109/LSP.2020.2991242>
- Josselyn, SA y Tonegawa, S. (2020). Engramas de memoria: Recordando el pasado e imaginando el futuro. *Science*, 367(6473), eaaw4325. <https://doi.org/10.1126/science.aaw4325>
- Juraska, JM (2024). La última etapa del desarrollo: La reestructuración y plasticidad de la corteza durante la adolescencia, especialmente en la pubertad. *Psicobiología del Desarrollo*, 66(2), e22468. <https://doi.org/10.1002/dev.22468>
- Kanno, I. (2024). Medición del flujo sanguíneo cerebral: Métodos. En *Lo que nos dice el flujo sanguíneo cerebral: Medición y fluctuación* (pgs. 67–84). Springer Nature Singapur. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-6382-5_6
- Kim, A. (Primavera de 2024). Wilhelm Maximilian Wundt. En EN Zalta y U. Nodelman (Eds.), *La Enciclopedia de Filosofía de Stanford*.
<https://plato.stanford.edu/archives/spr2024/entries/wilhelm-wundt/>
- Kim, M., Duncan, C., Yip, S. y Sankey, D. (2025). Más allá de las limitaciones teóricas y pedagógicas de la teoría de la carga cognitiva y hacia una nueva filosofía cognitiva en la educación. *Filosofía y teoría de la educación*, 57(7), 662–673.
<https://doi.org/10.1080/00131857.2024.XXXXXX>
- Kinoshita, M., de Champfleury, NM, Deverdun, J., Moritz-Gasser, S., Herbet, G. y Duffau, H. (2015). Rol del tracto frontoestriatal y el tracto frontal oblicuo en el movimiento y el habla: Un estudio de mapeo axonal. *Brain Structure and Function*, 220, 3399–3412.
<https://doi.org/10.1007/s00429-014-0863-0>
- Klein, AM (2025). *La conciencia es motor: William James sobre la mente y la acción*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/consciousness-is-motor-9780190085841>
- Klempe, SH (2025). Wilhelm Wundt y la psicología experimental. En *De la metafísica a la cultura: Teoría e historia en las ciencias humanas y sociales*. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-89595-1_8

- Klimesch, W. (1999). Las oscilaciones alfa y theta del EEG reflejan el rendimiento cognitivo y de la memoria: Una revisión y análisis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10209231/>
- Klimesch, W. (2003). EEG theta, memoria y sueño. En J. Polich (Ed.), *Detección de cambios: Potencial relacionado con eventos y hallazgos de resonancia magnética funcional* (pp. 149-165). Springer US. <https://psycnet.apa.org/record/2003-00333-009>
- Konrad, K., Firk, C. y Uhlhaas, PJ (2013). Desarrollo del cerebro durante la adolescencia: conocimientos neurocientíficos sobre este período de desarrollo. *Deutsches Ärzteblatt International*, 110(25), 425–431. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2013.0425>
- Koushik, CSN, Choubey, SB y Choubey, A. (2020). Enfoques de la neurociencia cognitiva y la cognición comparada. En *Informática cognitiva, modelado computacional y ciencia cognitiva* (págs. 1-19). Academic Press. <https://direct.mit.edu/jocn/article-abstract/doi/10.1162/JOCN.a.2396/133525/More-Complex-Cognitive-Tasks-Increasingly-Connect>
- Krishnan, S., Watkins, KE y Bishop, DVM (2016). Bases neurobiológicas de las dificultades en el aprendizaje de idiomas. *Tendencias en Ciencias Cognitivas*, 20(9), 701–714. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.06.013>
- Kurz, EM, Zinke, K. y Born, J. (2023). Oscilaciones del electroencefalograma (EEG) del sueño y procesamiento de la memoria asociado durante la infancia y la adolescencia temprana. *Psicología del Desarrollo*, 59(2), 297–312. <https://doi.org/10.1037/dev0001521>
- Kuzu, M. E. (2025). The evolution of psychology: From ancient concepts to modern frameworks, and this book provides a comprehensive overview of the field. <https://n9.cl/pcylw>
- Lê, S., Josse, J. y Husson, F. (2008). FactoMineR: Un paquete R para análisis multivariado (versión XXX) [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>
- Lee, JW y Jung, MW (2025). Consolidación de la memoria desde una perspectiva de aprendizaje por refuerzo. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 18, 1538741. <https://doi.org/10.3389/fncom.2024.1538741>
- Ley Orgánica de Educación Intercultural. Registro Oficial No. 417. Ecuador. (2011, 31 de marzo). <https://goo.su/UVFMT55>
- Ley Orgánica de Educación Superior. Registro Oficial No. 298. Ecuador. (2010, 12 de octubre). <https://www.ces.gob.ec/documentos/Normativa/LOES.pdf>
- Ley Orgánica de Propiedad Intelectual. Registro Oficial No. 426. Ecuador. (2006, 28 de diciembre). <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/Ley-de-Propiedad-Intelectual.pdf>

- Ley Orgánica de Protección de Datos Personales. Ecuador. (2021).
<https://www.registrospublicos.gob.ec/programas-servicios/servicios/proyecto-de-ley-de-proteccion-de-datos/>
- Ley Orgánica de Salud. Registro Oficial No. 423. Ecuador. (2006, 22 de diciembre).
<https://hvcn.gob.ec/wp-content/uploads/2012/03/Ley-Organica-de-Salud.pdf>
- Lombroso, CT (1967). Convulsiones silvianas y focos de espiga mediotemporales en niños. *Archivos de Neurología*, 17(1), 52–59.
<https://doi.org/10.1001/archneur.1967.00470250056005>
- Lopez, MR, Wasberg, SMH, Gagliardi, CM, Normandin, ME y Muzzio, IA (2024). El misterio del engrama de memoria: Historia, conocimiento actual y preguntas sin respuesta. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105574.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763424000435>
- Lung, SLM y Bertone, A. (2023). Informe breve: Una exploración de la flexibilidad cognitiva en adolescentes autistas con baja inteligencia mediante la tarea de clasificación de tarjetas de Wisconsin. *Revista de Autismo y Trastornos del Desarrollo*, 53(4), 1726-1732.
<https://doi.org/10.1007/s10803-021-05134-1>
- Luria, AR, Naydin, VL, Tsvetkova, LS y Vinarskaya, EN (1969). Restauración de la función cortical superior después de un daño cerebral local. <https://philpapers.org/rec/LURROH>
- Martínez, O. (2021). Historia de la epilepsia II: Desde el Renacimiento a la actualidad. *Fronteras en Medicina*, 16(4), 299–317. <https://doi.org/10.31954/RFEM/202104/0299-0317>
- MathWorks, Inc. (2020). MATLAB (Versión 2020) [Software].
<https://www.mathworks.com/products/matlab>
- Matoušek, M. y Petersén, I. (1973). Evaluación automática de la actividad de fondo del EEG mediante cocientes de EEG dependientes de la edad. *Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica*, 35(6), 603–612. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(73\)90213-7](https://doi.org/10.1016/0013-4694(73)90213-7)
- Matthis, P., Scheffner, D., Benninger, C., Lipinski, C. y Stolzis, L. (1980). Cambios en la actividad de fondo del electroencefalograma según la edad. *Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica*, 49(5–6), 626–635. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6158442/>
- May-Varas, S., Margolis, J. y Mead, T. (2023). Teoría de las inteligencias múltiples. En *Teorías del aprendizaje educativo* (3.ª ed.). Recursos educativos abiertos de Oregón.
<https://openoregon.pressbooks.pub/educationallearningtheories3rd/>
- McGaugh, J. L., Weinberger, N. M., & Lynch, G. (Eds.). (1995). *Brain and memory: modulation and mediation of neuroplasticity*. Oxford University Press. SBN : 9780195082944 (alk. paper) ISBN : 019508294X (alk. paper)

- McLeod, S. (11 de agosto de 2025). John B. Watson. Psicología sencilla. <https://n9.cl/nmlll>
- McLeod, S. (24 de octubre de 2023). Teoría sociocultural del desarrollo cognitivo de Vygotsky. Simply Psychology. <https://www.simplypsychology.org/vygotsky.html>
- Michalke, M., Friedrichsmeier, T. y colaboradores. (2023). RKWard (Versión 0.7.5) [Software]. <https://rkward.kde.org/>
- Molenberghs, P., Johnson, H., Henry, JD, y Mattingley, JB (2016). Comprender la mente de los demás: Un metaanálisis de neuroimagen. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 65, 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.020>
- Naveh-Benjamin, M., y Cowan, N. (2023). Los roles de la atención, la función ejecutiva y el conocimiento en el envejecimiento cognitivo de la memoria de trabajo. *Psicología de revisiones de la naturaleza*, 2 (3), 151–165. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00159-7>
- NCSS. (2024). Software de análisis estadístico y gráficos del NCSS [Software]. <https://www.ncss.com/>
- Olesen, P. J., Nagy, Z., Westerberg, H. y Klingberg, T. (2003). El análisis combinado de datos de DTI y fMRI revela una maduración conjunta de la sustancia blanca y gris en una red frontoparietal. *Cognitive Brain Research*, 18(1), 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.09.003>
- Ogle, D. M. (1989). The know, want to know, learn strategy. *Children's comprehension of text: Research into practice*, 205-223.
- Öngür, D., Lundy, M., Greenhouse, I., Shinn, AK, Menon, V., Cohen, BM y Renshaw, PF (2010). Anomalías de la red neuronal por defecto en el trastorno bipolar y la esquizofrenia. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 183(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2010.04.008>
- Palacios, L. (2002). Breve historia de la electroencefalografía. *Acta Neurológica Colombiana*, 18(2), 104–107. <https://pure.urosario.edu.co/es/publications/breve-historia-de-la-electroencefalograf%C3%ADa>
- Pandey, S. (2025). Cognition, numbers, and narratives: Analytical review of demographic motifs in folktales and mythologies and their implications for human mind and memory. *Samratyaya*, 2(1), 13–22. https://www.researchgate.net/publication/392268763_Cognition_Numbers_and_Narratives_Analytical_review_of_demographic_motifs_in_folktales_and_mythologies_and_their_implications_for_human_mind_and_memory. <https://doi.org/10.21276/smppt.2022506>

- Pellegrino, G., Isabella, S. L., Ferrazzi, G., Gschwandtner, L., Tik, M., Arcara, G., Marinazzo, D., & Schuler, A. L. (2024). Reliable measurement of auditory-driven gamma synchrony with a single EEG electrode: A simultaneous EEG–MEG study. *NeuroImage*, 300, 120862. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120862>
- Pia, H. W. (1985). Plasticity of the central nervous system: A neurosurgeon's experience of cerebral compensation and decompensation. *Acta Neurochirurgica*, 77, 81–102. <https://doi.org/10.1007/BF01476213>
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. Harcourt, Brace.
- Piaget, J. (1964). Cognitive development in children. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(2), 176–186. <https://doi.org/10.1002/tea.3660020306>
- Posit PBC. (2023). RStudio (Versión 2023.09.1) [Software]. <https://posit.co/>
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing (Versión 4.3.0) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rao, P., & Morandini, H. (2023). Functional magnetic resonance imaging in child and adolescent psychiatry: What is it and where are we headed? *Annals of Indian Psychiatry*, 7(2), 89–91. https://journals.lww.com/aips/fulltext/2023/07020/functional_magnetic_resonance_imaging_in_child_and.1.aspx
- Rachmad, Y. E. (2025). Social Constructivism Theory. *United Nations Economic and Social Council*. https://www.researchgate.net/profile/Yoesoep-Rachmad/publication/396447055_Social_Constructivism_Theory/links/68ec9bd3e7f5f867e6deef21/Social-Constructivism-Theory.pdf
- Rech, F., Herbet, G., Moritz-Gasser, S., & Duffau, H. (2016). Somatotopic organization of the white matter tracts underpinning motor control in humans: An electrical stimulation study. *Brain Structure and Function*, 221, 3743–3753. <https://doi.org/10.1007/s00429-015-1129-1>
- Reglamento de los Comités de Ética de Investigación en Seres Humanos (Resolución No. 707). Ecuador. (2013, 6 de septiembre). <https://acortar.link/Snb1Ii>
- Reglamento de Régimen Académico. Consejo de Educación Superior (CES). (2013). <https://www.ces.gob.ec/lotaip/2018/Enero/Anexos%20Procu/An-lit-a2-Reglamento%20de%20R%C3%A9gimen%20Acad%C3%A9mico.pdf>
- Reglamento General a la Ley Orgánica de Educación Intercultural (Decreto Ejecutivo 1241; Registro Oficial No. 754). Ecuador. (2012, 26 de julio). <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Reglamento-General-a-la-Ley-Org%C3%A1nica-de-Educacion-Intercultural.pdf>

- Reglamento para la investigación en seres humanos (Acuerdo Ministerial 4889). Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (s. f.). <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/A-4889-Reglamento-para-la-aprobaci%C3%B3n-y-seguimiento-de-CEISH-y-CEAS-L.pdf>
- Rehman, I., Mahabadi, N., Sanvictores, T., & Rehman, C. I. (2025). Classical conditioning. In Stat Pearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470280/>
- Rholetter, W. (2022). Operant conditioning. EBSCO Research Starters. <https://www.ebsco.com/research-starters/social-sciences-and-humanities/operant-conditioning>
- Rose, N. S., Myerson, J., Roediger, H. L., & Hale, S. (2010). Similarities and differences between working memory and long-term memory: Evidence from the levels-of-processing span task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 471–483. <https://doi.org/10.1037/a0018405>
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533–536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- Rumjaun, A., & Narod, F. (2025). Social learning theory—Albert Bandura. In B. Akpan & T. J. Kennedy (Eds.), *Science education in theory and practice* (pp. xx–xx). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81351-1_5
- Saporta, S. (1992). How plastic is the central nervous system? *Journal of the Florida Medical Association*, 79, 645–647. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1431796/>
- Segalowitz, S., & Davies, P. L. (2004). Charting the maturation of the frontal lobe: An electrophysiological strategy. *Brain and Cognition*, 55(1), 116–133. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2003.10.001>
- Sen, E. (2024). Litmap [Software]. <https://www.litmap.org>
- Senem, M., & Guljema, G. (2025). Effective teaching and learning: understanding the relationship between pedagogy and psychology. *In situ*, (4), 49-51. <https://cyberleninka.ru/article/n/effective-teaching-and-learning-understanding-the-relationship-between-pedagogy-and-psychology>
- Shenlian, W. (2024). Ulric Neisser. In Z. Kan (Ed.), *The ECPH Encyclopedia of Psychology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7874-4_156
- Skinner BF. The operational analysis of psychological terms. *Behavioral and Brain Sciences*. 1984;7(4):547-553. doi:10.1017/S0140525X00027187
- Squire, L. R. (2009). Memory and brain systems: 1969–2009. *The Journal of Neuroscience*, 29(41), 12711–12716. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3575-09.2009>

- Sridhar, S., Khamaj, A., & Asthana, M. K. (2023). Cognitive neuroscience perspective on memory: Overview and summary. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1217093. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1217093>
- Suen LJ, Huang HM, Lee HH. [A comparison of convenience sampling and purposive sampling]. *Hu Li Za Zhi*. 2014 Jun;61(3):105-11. Chinese. doi: 10.6224/JN.61.3.105. PMID: 24899564.
- Sumardani, D., & Lin, C.-H. (2023). Cognitive processes during virtual reality learning: A study of brain waves. *Education and Information Technologies*, 28(11), 14877–14896. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11788-4>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-11788-4>
- Thorndike, E. L. (2017). *Animal intelligence: Experimental studies* (Original work published 1911). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351321044>
- Tokuhama-Espinosa, T. N. (2008). The scientifically substantiated art of teaching: A study in the development of standards in the new academic field of neuroeducation (mind, brain, and education science) (Tesis doctoral, Capella University). <https://n9.cl/r6ath>
- Tomé, D. F., Zhang, Y., Aida, T., Mosto, O., Lu, Y., Chen, M., Sadeh, S., Roy, D. S., & Clopath, C. (2024). Dynamic and selective engrams emerge with memory consolidation. *Nature Neuroscience*, 27(3), 561–572. <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01551-w>
<https://www.nature.com/articles/s41593-023-01551-w>
- Tseng YL, Su YK, Chou WJ, Miyakoshi M, Tsai CS, Li CJ, Lee SY, Wang LJ. Neural Network Dynamics and Brain Oscillations Underlying Aberrant Inhibitory Control in Internet Addiction. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2024;32:946-955. doi: 10.1109/TNSRE.2024.3363756. Epub 2024 Feb 28. PMID: 38335078. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38335078/>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381–403). Academic Press. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2919588>
- Tulving, E. (1987). Multiple memory systems and consciousness. *Human Neurobiology*, 6(2), 67–80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3305441/>
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3305441/>
- Tveter, D. (1997). *The pattern recognition basis of artificial intelligence*. IEEE Press. <https://www.wiley.com/en-us/The+Pattern+Recognition+Basis+of+Artificial+Intelligence-p-9780818677960>
- United States Holocaust Memorial Museum. (2023). The Nuremberg Code. *Holocaust Encyclopedia*. <https://encyclopedia.ushmm.org/content/en/article/the-nuremberg-code>

- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2024). VOSviewer (Versión 1.6.19) [Software]. Leiden University. <https://www.vosviewer.com>
- Van Geert, E., & Wagemans, J. (2024). Prägnanz in visual perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 31, 541–567. <https://doi.org/10.3758/s13423-023-02344-9>. <https://link.springer.com/article/10.3758/s13423-023-02344-9>
- Vygotski, L. S., Cole, M., & Luria, A. R. (2009). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores (3.ª ed.). Editorial Crítica. <https://saberepsi.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/vygostki-el-desarrollo-de-los-procesos-psicolc3b3gicos-superiores.pdf>
- Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard University Press. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvjf9vz4>
- Walla, P., & Zheng, Y. (2024). Intense short-video-based social media use reduces the P300 event-related potential component in a visual oddball experiment: A sign for reduced attention. *Life*, 14(3), 290. <https://doi.org/10.3390/life14030290>. <https://www.mdpi.com/2075-1729/14/3/290>
- Watson, J. F. (2024). El CA3 del hipocampo humano utiliza reglas de conectividad funcional específicas para una memoria asociativa eficiente. bioRxiv. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.05.02.592169v1>
- Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex: Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. Cohn. <https://iiif.wellcomecollection.org/pdf/b24763445>
- Whitford, T. J., Rennie, C. J., Grieve, S. M., Clark, C. R., Gordon, E., & Williams, L. M. (2007). Brain maturation in adolescence: Concurrent changes in neuroanatomy and neurophysiology. *Human Brain Mapping*, 28(3), 228–237. <https://doi.org/10.1002/hbm.20335>
- Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., & Yutani, H. (2023). ggplot2: Create elegant data visualisations using the grammar of graphics (Versión 3.4.1) [Paquete de R]. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wu, Y. Y., Gao, Y. M., Feng, T., Rao, J. S., & Zhao, C. (2025). Enhancing functional recovery after spinal cord injury through neuroplasticity: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(14), 6596. <https://doi.org/10.3390/ijms26146596>
- Yen, C., Lin, C.-L., & Chiang, M.-C. (2023). Exploring the frontiers of neuroimaging: A review of recent advances in understanding brain functioning and disorders. *Life*, 13(7), 1472. <https://doi.org/10.3390/life13071472>
- Yıldırım, H., & Kaya, L. G. (2025). New approaches and theories in understanding intelligence and cognitive ability processes. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 13(2),

913–931. <https://doi.org/10.29130/dubited.1635523>.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/dubited/issue/91522/1635523>

- Zechuan, C. (2024). Functional psychology. In Z. Kan (Ed.), *The ECPH Encyclopedia of Psychology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7874-4_762
- Zhai, Z., Han, L., & Zhang, W. (2025). Using EEG technology to enhance performance measurement in physical education. *Frontiers in Public Health*, 13, 1551374. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1551374>
- Zhou, J., & Chen, S. (2025). Exploring gender differences in vocational education and training through the lens of neuroscience. *Acta Psychological*, 254, 104743. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104743>

Anexos

ANEXO 1 PROTOCOLO DEL EXPERIMENTO

1. Colocación del electroencefalógrafo inalámbrico tipo diadema:

En este primer paso, se coloca el dispositivo de EEGi en la cabeza del participante. Este procedimiento requiere la aplicación de un gel o solución conductora en el cuero cabelludo para facilitar la captación de las señales eléctricas cerebrales, en este caso dos gotas de agua. Los electrodos se posicionan siguiendo el Sistema Internacional 10-20, para asegurar la consistencia entre participantes y estudios. Es crucial asegurar una buena impedancia (resistencia) entre los electrodos y el cuero cabelludo para obtener una señal de alta calidad.

2. Calibración del instrumento:

Una vez colocado el EEGi, se procede a la calibración del instrumento. Este paso implica ajustar los parámetros de amplificación, filtrado y digitalización de la señal para optimizar la calidad del registro. Se verifica que todos los electrodos estén captando adecuadamente la actividad eléctrica cerebral y se realiza una prueba de impedancia para asegurar un buen contacto entre los electrodos y el cuero cabelludo. Además, se configuran los canales de registro y se sincroniza el EEGi con el software de presentación de estímulos.

3. Instrucciones de relajación:

Antes de iniciar la tarea experimental, se instruye al participante para que se relaje y actúe de manera natural. Se le pide que se siente cómodamente, respire con normalidad y trate de mantener un estado mental relajado. El objetivo es obtener una línea base de actividad cerebral en estado de reposo que servirá como referencia para comparar los cambios durante la tarea cognitiva. Es importante que el participante se sienta cómodo y no se distraiga con el equipo de EEGi.

4. Presentación de pantalla en blanco:

Se muestra una pantalla en blanco durante un período de tiempo determinado, generalmente entre 30 segundos. Esta pantalla sirve como un estímulo neutro y permite la estabilización de la señal de EEGi antes de iniciar la tarea experimental. Durante este tiempo, se registra la actividad cerebral en estado de reposo, lo que proporciona una referencia para identificar cambios específicos relacionados con la tarea cognitiva posterior.

5. Resolución del primer laberinto:

Se presenta el primer laberinto en la pantalla y se le pide al participante que encuentre la ruta correcta desde el punto de inicio hasta la salida. El laberinto es de baja complejidad y diseño (se mantendrá así para todos los participantes). Durante esta etapa, el EEGi registra la actividad cerebral mientras el participante navega por el laberinto y toma decisiones para encontrar la solución. Se registran tanto los datos neurofisiológicos como las respuestas conductuales, como el tiempo de reacción y la precisión.

6. Presentación de pantalla en blanco:

Después de completar el primer laberinto, se muestra nuevamente una pantalla en blanco durante un período de 30 segundos. Esta etapa permite la recuperación de la actividad cerebral a un estado de reposo y minimiza posibles efectos de interferencia entre los laberintos. Al igual que en el paso 4, se registra la actividad cerebral durante este período de descanso.

7. Resolución del segundo laberinto:

Se presenta el segundo laberinto que empieza con el primer laberinto integrado al segundo (provocación de la evocación) y se repite el procedimiento descrito en el paso 5. El participante debe encontrar la ruta correcta desde el inicio hasta la salida mientras el EEGi registra su actividad cerebral. Es importante que los laberintos sean diferentes pero el segundo con un poco más de dificultad, para estimular la toma de decisiones.

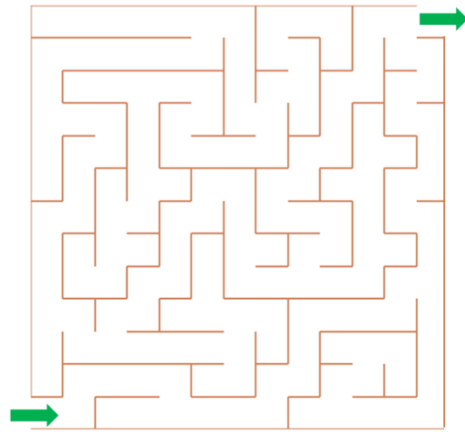
Después de completar el segundo laberinto, finaliza la prueba observando la pantalla en blanco por 30 segundos.

8. Control del tiempo:

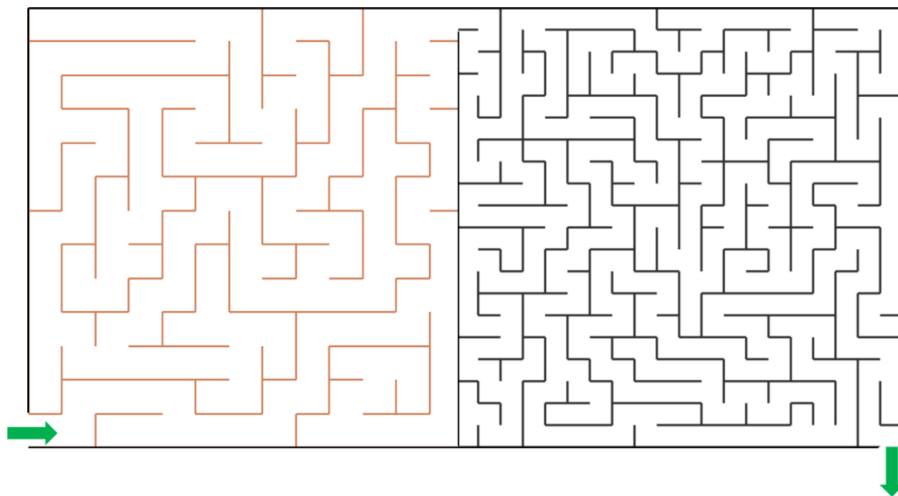
La prueba no tiene un tiempo mínimo de resolución pero si se llevara un control interno de los tiempos para efectos de análisis.

9. Los laberintos

Laberinto 1



Laberinto 2



ANEXO 2 MODELO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LOS PADRES

Documento de consentimiento informado para los padres

Título del estudio: Neuroeducación y Aprendizaje: Análisis de los engramas neuronales y su relación con las teorías del aprendizaje en adolescentes de la unidad Lev Vygotsky año lectivo 2025 - Ecuador

Investigador principal: Dr. Gregorio Celis R.

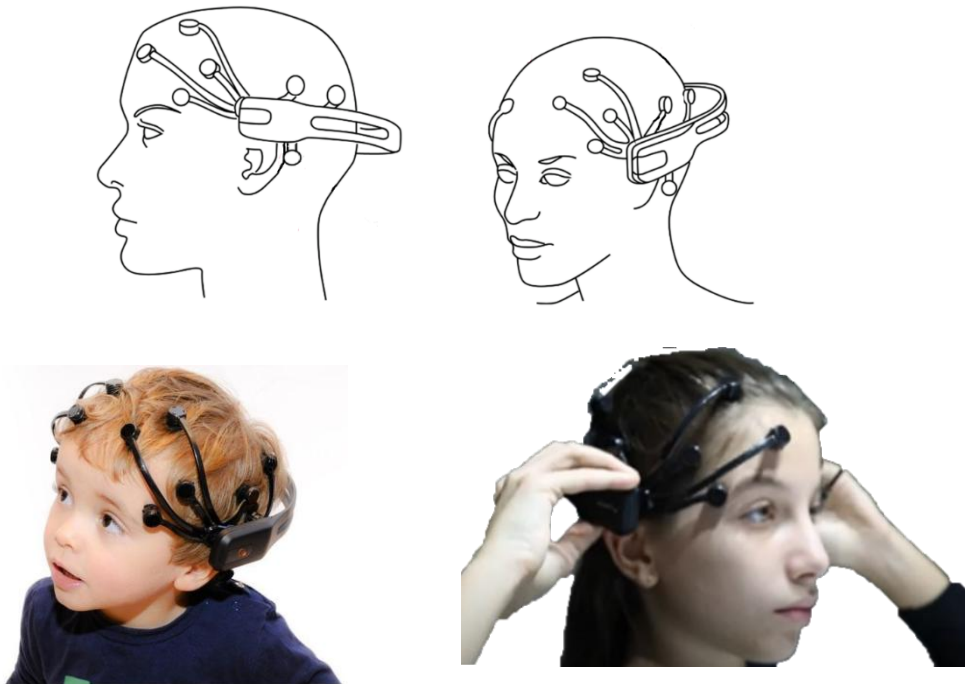
Institución: Universidad de Investigación e Innovación de México UIIX

Introducción: Le invitamos a que permita que su hijo (a) participe en una investigación que utiliza electroencefalografía inalámbrica (EEGi) para estudiar el proceso de aprendizaje y evocación en tiempo real en adolescentes de 13 a 18 años. Antes de decidir si desea participar, es importante que comprenda por qué se realiza la investigación y lo que implicará. Por favor, tome el tiempo necesario para leer detenidamente la siguiente información y discutirla con otras personas si lo desea. Si hay algo que no está claro o si desea obtener más información, no dude en comunicarse con el investigador principal cuyo teléfono está al pie de firma.

Propósito del estudio: El objetivo de este estudio es utilizar la tecnología de EEGi de última generación para investigar los procesos cerebrales involucrados en el aprendizaje y evocación en adolescentes de 13 a 18 años. La EEGi es una técnica no invasiva que registra la actividad eléctrica del cerebro mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo.

Procedimiento: Si acepta participar en esta investigación, se le pedirá a su hijo (a) que resuelva dos laberintos simples, en una computadora mientras se registra su actividad cerebral utilizando un dispositivo de EEGi inalámbrico. Luego se le pedirá que conteste un cuestionario referente a cómo se sintió durante el procedimiento. La sesión de EEGi durará aproximadamente 15 minutos y se llevará a cabo en un aula del colegio, con la presencia de uno o más profesores designados por la Sra. Rectora del colegio.

Riesgos y beneficios: No existe riesgo asociado con la participación en este estudio. La EEGi es una técnica no invasiva y segura que se practica incluso en niños muy pequeños, utiliza una diadema como se ve en las siguientes figuras:



El participante va a experimentar la sensación de tener la diadema como si fuese un “sombbrero” debido a la colocación de los electrodos en el cuero cabelludo, pero esto es temporal y no causa dolor. No hay beneficios directos por participar en este estudio, pero su contribución ayudará a mejorar nuestra comprensión del proceso de aprendizaje. Al finalizar el estudio se enviará al colegio los resultados de este.

Confidencialidad: Toda la información recopilada durante este estudio se mantendrá confidencial. Los datos serán codificados (no se utiliza el nombre o identificación del participante) y almacenados de forma segura, y solo el investigador principal tendrá acceso a datos obtenidos en el proceso. No se incluirá información de identificación personal en ninguna publicación o informe resultante de este estudio.

Participación voluntaria: La participación en este estudio es completamente voluntaria. Puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento sin dar explicaciones.

Contacto: Si tiene alguna pregunta o inquietud sobre este estudio, puede comunicarse con el investigador principal, Dr. Gregorio Celis al teléfono 0998704298

Consentimiento: Al firmar a continuación, declaro que he leído y comprendido la información proporcionada. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y he recibido respuestas satisfactorias. Acepto voluntariamente la participación de mi hijo (a) en este estudio de investigación de electroencefalografía inalámbrica.

Nombre del Representante del estudiante:

Firma del Representante del estudiante:

Fecha:

Nombre del investigador: Dr. Gregorio Celis

Firma del investigador:

Fecha:

ANEXO 3 MODELO DE ASENTIMIENTO INFORMADO DEL MENOR

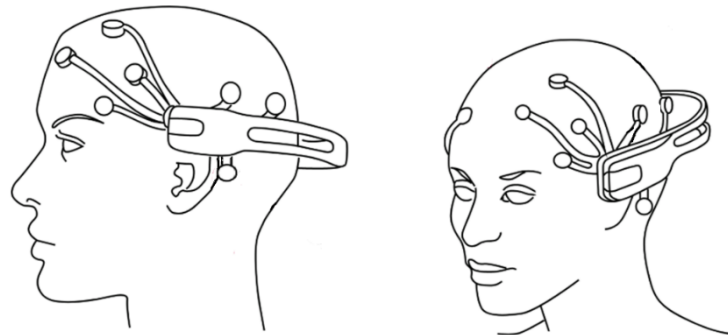
Documento de asentimiento del menor participante

Título del estudio: Neuroeducación y Aprendizaje: Análisis de los engramas neuronales y su relación con las teorías del aprendizaje en adolescentes de la unidad Lev Vygotsky año lectivo 2025 - Ecuador

Hola, mi nombre es Gregorio Celis y soy estudiante del doctorado de “Educación e innovación” de la universidad de Investigación e Innovación de México. Estamos realizando un estudio para aprender más sobre cómo funciona el cerebro durante el aprendizaje, y nos gustaría invitarte a participar.

¿Qué harás si decides participar?

Si aceptas participar, te pediremos que veas dos laberintos simples en la pantalla de la computadora, y que resuelvas como salir de ellos, mientras usas un dispositivo llamado electroencefalógrafo, así como puedes ver en estas figuras.



Este dispositivo se coloca en tu cabeza y mide la actividad de tu cerebro. No duele y es muy seguro de usar.

¿Cuánto tiempo tomará?

La sesión durará alrededor de 15 min o antes si resuelves rápido los laberintos y se llevará a cabo en un aula del colegio con la presencia uno o más profesor designado por la Sra. Rectora.

¿Tienes que participar?

No, no tienes que participar si no quieres. Es tu decisión. Nadie se enojará contigo si dices que no. Incluso si dices que sí ahora, puedes cambiar de opinión más tarde y dejar de participar cuando quieras.

¿Alguien sabrá que participaste?

Mantendremos tu información privada. Solo las personas que harán la investigación lo sabrán y claro está que tus padres también lo sabrán.

¿Tienes alguna pregunta?

Puedes hacer cualquier pregunta que tengas sobre el estudio. Si tienes alguna pregunta más tarde, puedes preguntarme a mí o a tus padres/tutores.

Asentimiento del menor:

Si firmas tu nombre a continuación, significa que quieres participar en este estudio. Tus padres/tutores también tendrán que dar su permiso para que puedas participar. Recuerda, puedes dejar de participar en cualquier momento si cambias de opinión.

Nombre del menor:

Firma del menor:

Fecha:

Declaración del investigador:

He explicado cuidadosamente el estudio al menor y he respondido todas las preguntas. Creo que el menor comprende la información descrita en este documento y acepta participar voluntariamente.

Nombre del investigador: Dr. Gregorio Celis

Firma del investigador:

Fecha:

ANEXO 4 MODELO TABLA DE VERIFICACIÓN DE CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

ID	Criterio	Descripción	Cumple		Observaciones	Fecha Verificación
			SI	NO		
S01	I1	Edad 13-18 años				
S01	I2	Estudiante activo				
S01	I3	Asistencia >85%				
S01	I4	Consentimiento padres				
S01	I5	Asentimiento menor				
S01	E1	Epilepsia				
S01	E2	TDAH				
S01	E3	Implantes				
S01	E4	Trastornos sueño				
S01	E5	Uso medicamentos				

Nota. se aplica a cada sujeto de investigación: Sujeto I: Inclusión E: Exclusión

ANEXO 5 LISTA DE VERIFICACIÓN DE CONTROL DE VARIABLES CONFUSORAS

1. VARIABLES TEMPORALES	VERIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Horario escolar regular (8:00-11:00)	<input type="checkbox"/>	
No período pre/post exámenes	<input type="checkbox"/>	
No post-feriados	<input type="checkbox"/>	

2. VARIABLES AMBIENTALES	MEDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	VERIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Temperatura ambiente	_____ °C	21-23°C	<input type="checkbox"/>	
Nivel de ruido	_____ dB	<40 dB	<input type="checkbox"/>	
Iluminación	_____ lux	300-500 lux	<input type="checkbox"/>	
Aislamiento electromagnético		Verificado	<input type="checkbox"/>	

3. VARIABLES FISIOLÓGICAS	EVALUACIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
Horas de sueño previo	_____ horas	<input type="checkbox"/>	
Tiempo desde última ingesta	_____ horas	<input type="checkbox"/>	
Estado de alerta (1-5)	_____	<input type="checkbox"/>	
Nivel de fatiga (1-5)	_____	<input type="checkbox"/>	
Dominancia manual	Derechas / Izquierda	<input type="checkbox"/>	

4. VARIABLES PSICOLÓGICAS	EVALUACIÓN	ACEPTABLE	OBSERVACIONES
Estado emocional (1-5)	_____	<input type="checkbox"/>	
Nivel de estrés (1-5)	_____	<input type="checkbox"/>	
Motivación para la tarea (1-5)	_____	<input type="checkbox"/>	

INFORMACIÓN GENERAL:

- Fecha de registro: _____
- Hora de inicio: _____
- ID Participante: _____
- Evaluador: _____

ESCALAS DE EVALUACIÓN (1-5):

1. Estado de alerta: 1=Muy somnoliento, 5=Completamente alerta: _____
2. Fatiga: 1=Sin fatiga, 5=Extremadamente fatigado: _____
3. Estado emocional: 1=Muy negativo, 5=Muy positivo: _____
4. Estrés: 1=Sin estrés, 5=Muy estresado: _____
5. Motivación: 1=Sin motivación, 5=Altamente motivado: _____

VERIFICACIÓN FINAL:

- Todas las variables controladas: Sí No
- Registro válido para el estudio: Sí No

Firma del Evaluador: _____ Fecha y hora de verificación: _____

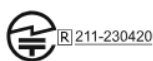
NOTAS ADICIONALES:

ANEXO 6 DATOS TÉCNICOS DEL EQUIPO DE EEGI UTILIZADO

Equipo y colocación



Certificaciones internacionales:



IB - Marca de certificación internacional, con código 211-230420.

C-Tick - Marca de conformidad regulatoria de Australia y Nueva Zelanda para equipos electrónicos y de telecomunicaciones.

FCC - Federal Communications Commission (EE.UU.). Indica que el dispositivo cumple con los estándares de emisiones electromagnéticas estadounidenses.

CE - Conformité Européenne. Indica conformidad con las normas de salud, seguridad y protección ambiental del Espacio Económico Europeo.

UKCA - UK Conformity Assessed. Nueva marca de conformidad del Reino Unido post-Brexit para productos comercializados en Gran Bretaña.

cBAC/us - Certificación de seguridad eléctrica para Norteamérica (Canadá y EE. UU.)

Estas certificaciones son necesarias para que un dispositivo electrónico pueda ser vendido y utilizado legalmente en diferentes mercados internacionales. Cada una representa el cumplimiento con diferentes estándares de seguridad, compatibilidad electromagnética y regulaciones específicas de cada región.

Emotiv EPOC Patentes

6. Emotiv EPOC: US Patent Numbers: 10,028,703

EmotivPRO & EmotivLABS Series

7. US Patent Numbers: 11,553,870 B2 | 10,028,703 | 10,194,865 | 10,806,400 | US-2020-0405236-A1 | US-2019-0320979-A1 | US-2019-0246982-A1 | 10,108,264 | 10,936,065 | US-2021-0149487-A1 | 9,622,660 | US-2019-0336030-A1 | 9,867,548 | US-2018-0092558-A1.

Sensores de EEGi

8. 14 canales: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
9. 2 referencias: referencias CMS/DRL en P3/P4; alternativa de proceso mastoideo izquierdo/derecho
10. Material del sensor: Almohadillas de fieltro empapadas en solución salina

Conectividad

- Inalámbrico: Bluetooth® Low Energy (conectividad mejorada con nueva antena) Compatible con Bluetooth® 5.0: actualmente utilizamos Bluetooth® SMART (también conocido como Protocolo Bluetooth 4.0 de bajo consumo energético). La compatibilidad con Bluetooth® 5.0 estará disponible con las próximas actualizaciones de software y firmware.
- Receptor USB propietario: banda de 2,4 GHz
- USB: para cambiar la configuración de los auriculares y el extensor

Señales de EEGi

- Método de muestreo: muestreo secuencial, ADC único
- **Frecuencia de muestreo:** 2048 internamente reducida a 128 SPS o 256 SPS (configurada por el usuario)
- **Resolución:** LSB = 0,51 μ V (modo de 14 bits), 0,1275 μ V (modo de 16 bits)
- **Ancho de banda:** 0,16 – 43 Hz, filtros de muesca digitales a 50 Hz y 60 Hz

- **Filtrado:** Filtro digital de quinto orden incorporado
- **Rango dinámico (entrada referida):** 8400 $\mu\text{V}(\text{pp})$
- **Modo de acoplamiento:** Acoplado a CA

Sensor de movimiento

- **Pieza de la IMU:** ICM-20948
- **Cuaterniones:** normalizados, 4D
- **Resolución:** 16 bits

Detecciones disponibles

- **Órdenes mentales:** neutrales + hasta 4 elementos entrenados previamente por perfil de entrenamiento
- **Métricas de rendimiento:** entusiasmo, compromiso, relajación, interés, estrés, concentración
- **Expresiones faciales:** Parpadeo, guiño de izquierda a derecha, sorpresa, ceño fruncido, sonrisa, apretar los dientes, risa, mueca burlona de izquierda a derecha

Fuerza

- **Batería:** Batería interna de polímero de litio de 595 mAh
- **Duración de la batería:** hasta 12 horas usando receptor USB, hasta 6 horas usando Bluetooth Low Energy

Peso

- 170 gramos

Dimensión

- 9 x 15 x 15 cm

ANEXO 7 PRESUPUESTO DETALLADO DEL PROYECTO

1. EQUIPOS Y MATERIALES			
Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
Equipo EEG inalámbrico	1	\$ 900,00	\$ 900,00
Laptop para registro	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Gel conductor	5	\$ 15,00	\$ 75,00
Material de limpieza para electrodos	3	\$ 20,00	\$ 60,00
Backup externo (2TB)	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Subtotal Equipamiento			\$ 1.935,00
2. SOFTWARE Y LICENCIAS			
Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
R y R Studio (free)	1	\$ -	\$ -
Brain Voyager (para estudiantes)	1	\$ -	\$ -
JAPS (free)	1	\$ -	\$ -
EEGLAB (free)	1	\$ -	\$ -
MATLAB (para estudiantes por año)	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Microsoft 365 (familiar por año)	1	\$ 99,99	\$ 99,99
NCSS (estándar por año)	1	\$ 349,00	\$ 349,00
Subtotal Software			\$ 503,99
3. GASTOS ADMINISTRATIVOS			
Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
Impresión documentos éticos	100	\$ 0,10	\$ 10,00
Fotocopias	500	\$ 0,05	\$ 25,00
Materiales de oficina	3	\$ 50,00	\$ 150,00
Subtotal Administrativo			\$ 185,00
4. GASTOS OPERATIVOS			
Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
Transporte al colegio (días)	30	\$ 5,00	\$ 150,00
Refrigerios participantes	12	\$ 5,00	\$ 60,00
Material didáctico	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Subtotal Operativo			\$ 310,00

RESUMEN PRESUPUESTARIO SIN IMPREVISTOS			
Categoría	Total (\$)		
Equipamiento y Materiales	\$ 1.935,00		
Software y Licencias	\$ 503,99		
Gastos Administrativos	\$ 185,00		
Gastos Operativos	\$ 310,00		
TOTAL PROYECTO SIN IMPREVISTOS	\$ 2.933,99		
IMPREVISTOS			
Ítem	Porcentaje	Base	Total (\$)
Imprevistos	10	\$ 293,40	\$ 293,40
Subtotal Imprevistos			\$ 293,40
RESUMEN PRESUPUESTARIO SIN IMPREVISTOS			
Categoría	Total (\$)		
Equipamiento y Materiales	\$ 1.935,00		
Software y Licencias	\$ 503,99		
Gastos Administrativos	\$ 185,00		
Gastos Operativos	\$ 310,00		
Imprevistos	\$ 293,40		
TOTAL PROYECTO SIN IMPREVISTOS	\$ 3.227,39		

Nota.

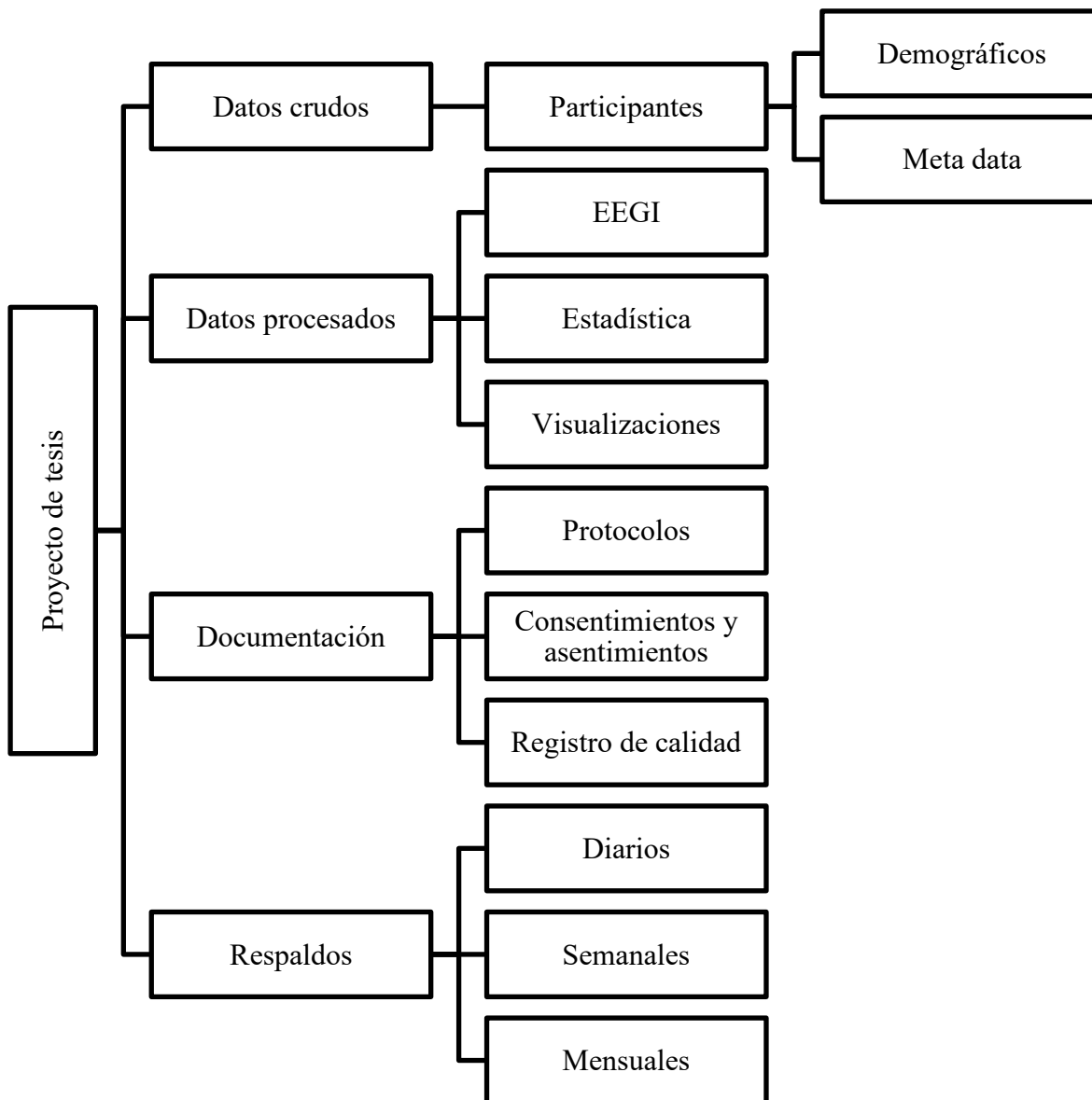
- Todos los costos incluyen IVA
- El presupuesto considera una duración de 6 meses
- Financiamiento 100% recursos del investigador

Los costos pueden variar según disponibilidad y mercado

ANEXO 8 ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE DATOS

1. Estructura de almacenamiento:

A. Jerarquía de Carpetas:



ANEXO 9 PROTOCOLO DE SEGURIDAD

Datos Personales

A. Protección de Datos Personales:

- Asignación de códigos únicos a participantes
- Separación física de datos identificables
- Encriptación de información sensible
- Control de acceso mediante contraseñas

B. Niveles de Acceso:

- Nivel 1: Investigador Principal
 - Acceso total a todos los datos
 - Capacidad de modificación
 - Gestión de respaldos

No existen más niveles porque solo hay un investigador

Sistema de Respaldo

A. Respaldo Primario:

Almacenamiento local en computadora principal bajo encriptación cifrada con la plataforma Kaspersky

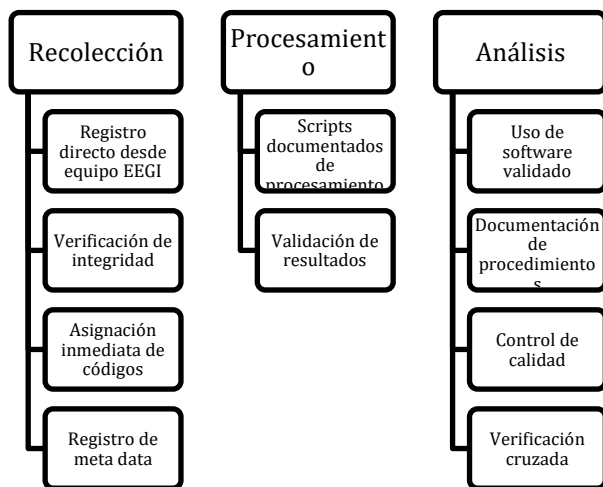
B. Respaldo Secundario:

Disco duro externo dedicado

C. Respaldo en la Nube:

Servicio de almacenamiento encriptación cifrada con la plataforma Kaspersky

Protocolos de Manejo de Datos



Plan de Contingencia

A. Pérdida de Datos:

1. Protocolo de recuperación
2. Sistema de respaldo redundante
3. Documentación de incidentes
4. Plan de restauración

B. Violación de Seguridad:

1. Protocolo de notificación
2. Medidas de contención
3. Evaluación de impacto
4. Acciones correctivas

Retención y Eliminación:

1. Período de Retención establecido por la universidad
2. Protocolo de Eliminación establecido por la universidad

Plan de Difusión: El establecido por la universidad UIIX.

ANEXO 11 ANÁLISIS NEUROFISIOLÓGICO DE LOS TRAZADOS ELECTROENCEFALOGRÁFICOS DE LOS SUJETOS DE ESTUDIO

Sujeto de estudio 1. Hombre 13 años (8vo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Durante el 1er laberinto (T=50-60s), se observa una desincronización posterior y un marcado aumento de la potencia Beta (13-30 Hz) en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6). La actividad Beta es un correlato del estado de alerta, concentración intensa y pensamiento lógico/crítico.
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Durante la fase de Evocación (T=60-70s), se registra un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7). Este cambio corresponde al proceso activo de recuperación de la ruta previamente aprendida. La generación de Theta en estas áreas es un marcador neurofisiológico de la activación del circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial (hipocampo-corteza frontal).
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): En la tarea del 2do laberinto (T=70-100s), hay una desincronización posterior y un marcado aumento de la potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales. Este esfuerzo sostenido está relacionado con la planificación visoespacial y el procesamiento global de la información.
5. Toma de Decisiones: La actividad Beta observada en ambas tareas de laberinto representa la evaluación constante de las opciones de ruta y la selección de un camino a seguir, lo cual requiere una alta carga de procesamiento en la corteza prefrontal.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligera prominencia izquierda, sugiriendo el uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Potencia Beta notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), indicando la dominancia derecha en la planificación visoespacial y el procesamiento global.

Sujeto de estudio 2. Mujer 13 años (8vo de básica)

1. **Análisis de la página en blanco (Línea Base):** La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. **Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial):** Durante esta tarea (T=50-70s), se registra un aumento significativo y sostenido de la potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6). Este patrón refleja el estado de alerta, concentración intensa y pensamiento lógico/crítico.
3. **Fase de Evocación (Recuperación de Memoria):** Durante la fase de Evocación (T=70-80s), se observa un claro aumento de la actividad Theta en las regiones frontales y temporales. Este patrón se correlaciona con la recuperación activa y consciente de la ruta aprendida, siendo la actividad Theta frontal la "firma" de la memoria de trabajo y la navegación espacial.
4. **Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja):** Se registra un aumento significativo y sostenido de la potencia Beta (T=80-170s). Este incremento es la prueba de que el cerebro está empleando el sistema de procesamiento visuoespacial y la orientación global para la resolución de problemas complejos y espaciales.
5. **Toma de Decisiones:** La actividad Beta es un correlato de la toma de decisiones constante ante los obstáculos del laberinto. Esto incluye la formulación de un plan organizado y la evaluación constante de opciones.
6. **Resumen de Lateralización:**
 - a. **Evocación:** Ligera prominencia izquierda, lo que puede indicar el uso de estrategias secuenciales o verbales.
 - b. **Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto):** Marcado predominio de la actividad Beta en el Hemisferio Derecho (F4, FC6, P8).

Sujeto de estudio 3. Mujer 13 años (8vo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se registra un aumento significativo y sostenido de la potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) ($T > 50s$). La Beta persistente es la huella de la función ejecutiva para mantener el estado de alerta y concentración.
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Durante la fase de Evocación ($T = 70-80s$), se observa un claro aumento de la actividad Theta en las regiones frontales y temporales. Este patrón se correlaciona con la recuperación activa y consciente de la memoria de trabajo de la ruta aprendida.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se mantiene el aumento de potencia Beta durante el Laberinto Complejo ($T > 80s$). Esto indica que la participante está utilizando el sistema de procesamiento visuoespacial y la orientación global para la resolución del problema espacial.
5. Toma de Decisiones: La Beta persistente implica una constante toma de decisiones y la planificación del recorrido.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Sutil prominencia izquierda (F7, T7) en la activación Theta, reflejando el uso de estrategias secuenciales o verbales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Marcado predominio de la actividad Beta en el Hemisferio Derecho (F4, FC6, P8).

Sujeto de estudio 4. Mujer 14 años (9vo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se observa la activación de la banda Beta de alta potencia, principalmente en regiones Frontales (F3, F4) y Parietales (P7, P8).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se produce el surgimiento de la banda Theta de mayor amplitud, focalizada en regiones Frontal y Temporal (F7, T7) (T=70-80s). La aparición de Theta es el indicador más robusto de la recuperación activa de la memoria de la ruta aprendida.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se mantiene la Beta sostenida durante el laberinto complejo (T>80s), lo cual es la huella de la función ejecutiva para mantener la planificación del recorrido.
5. Toma de Decisiones: La Beta sostenida representa la constante toma de decisiones ante los obstáculos.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Sutil lateralización izquierda (AF3, F7, T7), que puede reflejar la activación de componentes secuenciales o verbales de la memoria.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Predominio de la actividad Beta en el Hemisferio Derecho (F4, FC6, P8), crucial por reflejar el uso de estrategias de procesamiento visuoespacial y orientación global.

Sujeto de estudio 5. Hombre 15 años (10mo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se infiere que hay una activación de la banda Beta, ya que se menciona la actividad de control ejecutivo, que es la manifestación de la planificación de la ruta.
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Hay un aumento de la amplitud de la banda Theta con focalización en el área Frontal-Temporal Izquierda (AF3, F7, T7) durante la fase de evocación (T=70-80s). La presencia de Theta es el marcador de la recuperación intencional de la ruta previamente codificada.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se observa una Fuerte y sostenida actividad Beta de baja amplitud en las regiones Frontales (F4) y Parietales (P8) derechas durante el Laberinto Complejo (T=80-110s).
5. Toma de Decisiones: La potencia de la banda Beta refleja la alta exigencia cognitiva y el esfuerzo de control ejecutivo, manifestando la planificación de la ruta a futuro y la toma de decisiones en cada bifurcación para evitar errores.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Lateralización izquierda de la actividad Theta, sugiriendo el uso de una estrategia de memoria secuencial o de codificación verbal.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Claro predominio derecho (F4, FC6, P8) en la actividad Beta, relacionado con la orientación visuoespacial y el procesamiento holístico.

Sujeto de estudio 6. Hombre 15 años (10mo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Adquisición de la Ruta): Al iniciar la tarea, se produce la Desincronización Alfa (reducción de potencia) en las regiones posteriores. También hay un aumento de la potencia Theta (Frontal/Fronto-Central), correlacionado con la carga de la memoria de trabajo y el monitoreo cognitivo, y un aumento de la potencia Beta/Gamma (Frontal/Parietal).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): El segmento inicial de la Tarea 2 muestra un Pico de Theta Frontal, claro y prominente, lo que indica el proceso activo de recuperación de la ruta aprendida.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): La transición a la parte nueva y más compleja se caracteriza por el Pico más alto de potencia en las bandas Beta y Gamma en amplias áreas (frontales y parietales). La persistencia de Theta indica que la memoria de trabajo y el monitoreo de errores siguen siendo intensos.
5. Toma de Decisiones: El incremento de Beta/Gamma en el 1er laberinto refleja la toma de decisiones ante las bifurcaciones. El pico de Beta/Gamma en el 2do laberinto representa el máximo esfuerzo cognitivo para integrar nueva información y realizar cálculos espaciales más difíciles.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Lateralización a la derecha (P8, T8, F4, FC6), sugiriendo que la memoria espacial y la navegación mental dependen de estructuras del hemisferio derecho.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Se indica que es un patrón común la lateralización a la derecha para tareas visoespaciales.

Sujeto de estudio 7. Hombre 14 años (10mo de básica)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se observa una supresión inmediata de las ondas alfa en las regiones posteriores (bloqueo alfa), indicando procesamiento activo. Hay un aumento de Theta en las áreas frontales (memoria de trabajo y planificación), y un aumento de Beta en regiones frontales y motoras (concentración, pensamiento activo).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Al inicio de la Fase 3, se observa una activación rápida y sincronizada entre regiones temporales (T7, T8) y el lóbulo frontal. La actividad Theta frontal vuelve a ser prominente, indicando el uso de la memoria de trabajo para recordar la ruta.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): El patrón se asemeja al de la Tarea 1, pero con mayor intensidad. Hay un aumento notable en Gamma y Beta en las áreas prefrontales (AF3, AF4) y parietales (P7, P8). La potencia de Beta y Gamma es aún mayor que en la primera tarea.
5. Toma de Decisiones: La Beta y Gamma en el tramo complejo reflejan una mayor carga cognitiva y una toma de decisiones más compleja. La actividad Beta y Gamma aumenta durante los momentos de duda o encrucijada.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Mayor activación en el hemisferio derecho (P8), consistente con el procesamiento visoespacial.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): La lateralización hacia el hemisferio derecho para el procesamiento espacial se mantiene y posiblemente se intensifica.

Sujeto de estudio 8. Mujer 16 años (1ro bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se observa un aumento de la potencia Beta (13-30 Hz) en las regiones Frontales y Parietales (F7, F3, FC5, P7, P8) y una atenuación del ritmo Alfa posterior.
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se observa un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7) (T=80-110 s). La generación de Theta es un marcador de la activación del circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se mantiene la alta potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) (T=110s en adelante). Esta persistencia indica un esfuerzo sostenido y una alta demanda de recursos espaciales.
5. Toma de Decisiones: El aumento de Beta en el 1er laberinto representa la Planificación y la Toma de Decisiones (evaluación constante de las opciones). La alta potencia Beta sostenida en el 2do laberinto está correlacionada con la concentración y la resolución de problemas.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligera prominencia izquierda (F7, T7), posiblemente debido al uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Cambio crucial con Lateralización Derecha. El aumento de Beta es notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), dominante en la planificación visuoespacial y el procesamiento global.

Sujeto de estudio 9. Mujer 17 años (2do bachillerato)

1. **Análisis de la página en blanco (Línea Base):** La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. **Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial):** Se observa un marcado aumento de la potencia Beta (13-30 Hz) ($T=50s-T=70s$), especialmente en las regiones frontales y fronto centrales (F3, F7, FC5, FC6, F4, F8). Este incremento está correlacionado con un estado de alerta, concentración intensa y pensamiento lógico/crítico.
3. **Fase de Evocación (Recuperación de Memoria):** Se observa un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7) ($T=70s-T=80s$). Este patrón corresponde al proceso activo de recuperación de la ruta, activando el circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial.
4. **Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja):** El aumento de la potencia Beta en Frontales y Fronto Centrales (F4, FC6) se reanuda y se vuelve más notable ($T=80s-T=100s$). Esto refleja la necesidad de una concentración intensa para abordar el desafío desconocido.
5. **Toma de Decisiones:** La actividad Beta en el 1er laberinto representa la evaluación de opciones de ruta. La alta actividad Beta en el tramo complejo indica el esfuerzo sostenido en la evaluación constante de opciones de ruta (Toma de Decisiones) y la formulación de un plan visuoespacial.
6. **Resumen de Lateralización:**
 - a. **Evocación:** Predominantemente simétrica o con una ligera tendencia izquierda (F7, F3), Ligera prominencia izquierda (AF3, F7, T7), sugiriendo el uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. **Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto):** Cambio crucial y significativo, Beta notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), dominante en la planificación visuoespacial.

Sujeto de estudio 10. Mujer 16 años (2do bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Hay un aumento notable de la actividad de baja amplitud y frecuencia rápida, correspondiente a la banda Beta (13-30 Hz), especialmente en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) (T=50-70s).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se observa un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz), concentrada en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7) (T=70-90s). Este aumento es un marcador neurofisiológico de la activación del circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial, interpretando el proceso activo de recuperación de la ruta.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): La actividad Beta reaparece con potencia aumentada y se mantiene de forma sostenida (T=90-130s). Esto indica un esfuerzo sostenido y una alta demanda de recursos espaciales para la resolución.
5. Toma de Decisiones: El incremento de la potencia Beta se correlaciona con la Planificación y la Toma de Decisiones. La Beta sostenida en la sección compleja refleja la evaluación constante de las opciones de ruta y la selección de nuevos caminos.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligera prominencia de Theta en el hemisferio izquierdo (AF3, F7, T7), sugiriendo estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Lateralización crucial Derecha. El aumento de Beta es notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), dominante en la planificación visuoespacial y el procesamiento global.

Sujeto de estudio 11. Mujer 16 años (2do de bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se observa una desincronización del ritmo Alfa posterior y un marcado aumento de la potencia Beta (13-30 Hz) en las regiones Frontales y Fronto Centrales (AF3/4, F3/4, FC5/6) (T=50-70s).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Hay un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz), especialmente en AF3, F3, F7 y T7 (regiones izquierdas) (T=70-80s). La prominencia izquierda de Theta sugiere que el cerebro utiliza estrategias de procesamiento más verbales o secuenciales para recorrer mentalmente la ruta.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): La actividad Beta (13-30 Hz) regresa con alta potencia y se mantiene de forma sostenida (T=80-130s). Esta Beta sostenida refleja la alta carga de procesamiento en la corteza prefrontal requerida para la planificación visoespacial.
5. Toma de Decisiones: El incremento de Beta en el 1er laberinto es un correlato directo de la Toma de Decisiones (evaluación de opciones de ruta). La Beta sostenida en la parte compleja refleja la evaluación constante de opciones en un entorno nuevo y complejo.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Prominencia izquierda de la actividad Theta.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Beta notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8). El HD es dominante en la planificación visoespacial y el procesamiento global de la información.

Sujeto de estudio 12. Hombre 17 años (2do bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Adquisición y Planificación): Se produce un bloqueo del ritmo Alfa posterior (desincronización). Hay un aumento de la potencia en la banda Beta en áreas frontales y fronto centrales (FC5/6, F3/4) (T=50s a T=70s).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se registra un aumento notable de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones Frontales (AF3, F7, F3) y Temporales (T7) (T=70s a T=80s). Este aumento es un marcador neurofisiológico de la activación del circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se observa un marcado aumento de la potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) (T=80s en adelante). Esta actividad sostenida exige una alta carga de procesamiento en la corteza prefrontal.
5. Toma de Decisiones: La actividad Beta en el 1er laberinto refleja la formulación inicial de la ruta. La Beta sostenida en la parte compleja representa el pensamiento lógico/crítico, la planificación organizada y la evaluación constante de las opciones de ruta (Toma de Decisiones).
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligera prominencia izquierda de la actividad Theta y Beta frontal, lo que podría indicar el uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): El patrón de actividad Beta se vuelve marcadamente lateralizado.

Sujeto de estudio 13. Hombre 18 años (3ro bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Hay una desincronización posterior y un marcado aumento de la potencia Beta en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) (T=50s–T=60s). Este aumento es un correlato del estado de alerta, concentración intensa y pensamiento lógico.
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se observa un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7) (T=60s–T=70s). La generación de Theta en estas áreas es un marcador neurofisiológico de la activación del circuito de la memoria de trabajo y la navegación espacial.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): Se registra un aumento de la potencia Beta sostenido a lo largo de esta fase (T=70s–T=100s), concentrándose en las regiones Frontales y Fronto Centrales. Esto indica un esfuerzo sostenido y una alta demanda de recursos espaciales.
5. Toma de Decisiones: El aumento de Beta en el 1er laberinto representa la formulación de un plan organizado y la evaluación de las primeras opciones de ruta. El Beta sostenido en el laberinto complejo refleja la función ejecutiva de toma de decisiones.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligeramente prominente izquierda, sugiriendo el uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Beta notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), indicando que el HD es dominante en la planificación visuoespacial y el procesamiento global.

Sujeto de estudio 14. Mujer 18 años (3ro bachillerato)

1. Análisis de la página en blanco (Línea Base): La Línea Base (Reposo) se caracteriza por la predominancia de la Onda Alfa en las regiones posteriores (occipital y parietal, O1, O2, P7, P8). Esto refleja la desactivación funcional del sistema visual al no haber un estímulo complejo.
2. Resolución del 1er Laberinto (Planificación Inicial): Se observa una desincronización de la actividad Alfa posterior y un marcado aumento de la potencia en la banda Beta (13-30 Hz) en las regiones Frontales y Fronto Centrales (F3/4, FC5/6) (T=50s a T=60s).
3. Fase de Evocación (Recuperación de Memoria): Se observa un claro aumento de la actividad Theta (4-8 Hz) en las regiones frontales (AF3, F3, F7) y temporales (T7) (T=60s a T=70s). La generación de Theta en estas áreas es la frecuencia clave asociada a la Memoria, marcando el proceso activo de recuperación de la ruta.
4. Resolución del 2do Laberinto (Parte Compleja): El aumento de la potencia Beta (13-30 Hz) en las regiones Frontales y Fronto Centrales se hace evidente y sostenido durante los 30 segundos de la tarea compleja (T=70-100s). Esto refleja la alta demanda de procesamiento requerida para la planificación visoespacial.
5. Toma de Decisiones: La activación Beta en las áreas prefrontales representa la planificación y la toma de decisiones iniciales. La actividad Beta sostenida en la fase compleja es necesaria para la evaluación constante de opciones.
6. Resumen de Lateralización:
 - a. Evocación: Ligera prominencia izquierda, lo que podría interpretarse como el uso de estrategias verbales o secuenciales.
 - b. Planificación/Toma de Decisiones (2do Laberinto): Lateralización crucial Derecha. El aumento de la potencia Beta es notablemente mayor en el hemisferio derecho (F4, FC6, P8), ya que el HD es dominante en el procesamiento global y la planificación visoespacial.

ANEXO 12 TABLA KWL

La tabla KWL es un organizador gráfico desarrollado por Donna A. Ogle en 1986 para ayudar a los estudiantes a pensar con mayor propósito sobre lo que leen. Se les pide que enumeren lo que ya saben (K) sobre un tema, lo que desean saber (W) y, después de leer, lo que han aprendido (L). El cuadro KWL anima a los estudiantes a activar conocimientos previos, formular preguntas relevantes y reflexionar sobre lo aprendido con evidencia que lo respalde, ya que esto les ayuda a desarrollar una comprensión más profunda del material. El cuadro KWHL añade una columna con la pregunta "¿Cómo lo averiguaremos?", y el cuadro KWHL-SD añade dos columnas más con las preguntas "¿Cómo compartiremos?" y "¿Qué debemos hacer a continuación?", proporcionando así un enfoque más integral del aprendizaje. Este cuadro ayuda a los estudiantes a responsabilizarse de su propio aprendizaje, establecer metas de aprendizaje y tomar decisiones basadas en evidencia, promoviendo así la autonomía y el aprendizaje autodirigido. Todos estos elementos promueven una mayor comprensión y participación, por lo que los estudiantes tienen más probabilidades de retener información y desarrollar el amor por el aprendizaje.

Ejemplo:

LA CÉLULA					
K	Lo que se	W	Lo que quiero saber	L	Lo que aprendí
	Que es la célula		Fisiología de la célula		Las funciones químicas de las células
	Partes de la célula		Cómo funciona cada parte de la célula		Función interrelacionada de las células

Donde están las células	Tipos de células	Las células de los seres humanos
--------------------------------	-------------------------	---

ANEXO 13 RÚBRICA DE CONSTRUCTO

Constructo	Definición operativa	Nivel
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	1 (Bajo)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	2 (Medio)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	3 (Alto)
Control ejecutivo / planificación (CE_plan)	Capacidad para organizar, secuenciar y actualizar un plan de acción en el laberinto; incluye inhibición de impulsos, establecimiento de metas y ajuste estratégico.	4 (Muy alto)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	1 (Bajo)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	2 (Medio)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	3 (Alto)
Memoria de trabajo / evocación espacial (MT_evoc)	Capacidad para mantener y manipular información espacial del laberinto durante la tarea (secuencias, giros, puntos de referencia).	4 (Muy alto)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	1 (Bajo)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	2 (Medio)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	3 (Alto)
Sesgo de codificación verbal	Grado en que se apoya en etiquetas verbales/secuenciales para codificar y evocar rutas (p. ej., 'izq-der-der').	4 (Muy alto)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	1 (Bajo)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	2 (Medio)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	3 (Alto)
Sesgo de codificación visoespacial	Grado en que se apoya en mapas mentales, configuraciones globales y puntos de referencia visuales.	4 (Muy alto)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	1 (Bajo)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	2 (Medio)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	3 (Alto)
Toma de decisiones (Toma_dec)	Velocidad y calidad de elección en bifurcaciones considerando objetivos y retroalimentación.	4 (Muy alto)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	1 (Bajo)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	2 (Medio)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	3 (Alto)
Atención sostenida	Capacidad para mantener el foco a lo largo de toda la tarea sin decaimiento significativo.	4 (Muy alto)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	1 (Bajo)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	2 (Medio)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	3 (Alto)
Carga cognitiva / tolerancia	Capacidad para sostener rendimiento ante aumento de complejidad, tiempo o interferencia.	4 (Muy alto)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	1 (Bajo)

Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	2 (Medio)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	3 (Alto)
Monitoreo y ajuste por error	Detección de errores y corrección adaptativa en ensayos subsecuentes.	4 (Muy alto)

Desglose

1. Se establecen la teoría y la tarea, y la teoría se refiere a procesos cerebrales como la memoria, la atención, la toma de decisiones y la detección de errores, mientras que la tarea es navegar por laberintos, lo que demuestra comportamientos asociados con los procesos cerebrales.
2. Se define cada proceso cerebral y se describe su manifestación en la tarea, porque comprender estos procesos y sus manifestaciones es crucial para el desarrollo de la escala.
3. Se desarrolla una escala de 4 puntos para cada proceso cerebral, lo que permite un método estandarizado de evaluación.
4. Se detallan los comportamientos observados en cada punto de la escala, lo que proporciona una comprensión clara de lo que representa cada punto de la escala.
5. La escala se valida frente a la teoría y la tarea, de modo que se puede garantizar que la escala mide lo que se supone que debe medir.
6. La puntuación se realiza al analizar la tarea, utilizando la escala, y esto permite una evaluación más precisa de los procesos cerebrales.
7. Es una escala fiable es esencial para obtener resultados consistentes.
8. Se utilizan datos cuantitativos de la tarea y de los registros de EEG, lo que proporciona una comprensión más completa de los procesos cerebrales y sus manifestaciones.
9. Se analizan los resultados, lo que permite una comprensión más profunda de los datos y de los procesos cerebrales que se estudian.

10. Aunque la definición operativa de cada constructo permanece constante (representando la función cognitiva evaluada), los niveles del 1 al 4 describen un gradiente de desempeño. Esta diferenciación se establece mediante criterios de latencia temporal (velocidad de respuesta) y efectividad de la conducta observada. Así, mientras el Nivel 1 describe una manifestación incipiente o deficitaria de la función, el Nivel 4 describe una maestría en la ejecución, caracterizada por la economía de tiempo y la precisión en la toma de decisiones.

Nivel 1 (Bajo): El sujeto posee la capacidad, pero su ejecución es "costosa": requiere mucho tiempo, se bloquea fácilmente y el error es frecuente. La función operativa es inestable.

Nivel 2 (Medio): La capacidad es funcional pero inconsistente. Logra el objetivo, pero con vacilaciones o una velocidad subóptima.

Nivel 3 (Alto): La capacidad está consolidada. El sujeto organiza y procesa la información con fluidez, cometiendo errores mínimos que corrige rápido.

Nivel 4 (Muy Alto): La capacidad está automatizada. El procesamiento es casi instantáneo, mostrando una resistencia superior a la interferencia o la fatiga.

Las ventajas de esta rúbrica incluyen:

- Alineación con la teoría y la tarea, lo cual es importante para garantizar que la escala mida lo que se supone que debe medir, y
- Manifestaciones observables en el comportamiento y la puntuación, porque esto permite una evaluación más precisa de los procesos cerebrales, y
- Utilidad en educación y formación, por lo que es una herramienta útil para una variedad de aplicaciones.

Que se logra

- Proporcionar más detalles para cada punto de escala
- Diseñar un formulario de puntuación para el o los observadores, ya que esto ayudaría a garantizar que la escala se utilice de manera consistente y
- Ofrecer sugerencias sobre la confiabilidad entre evaluadores, ayudando así a garantizar que los resultados sean consistentes y confiables.

