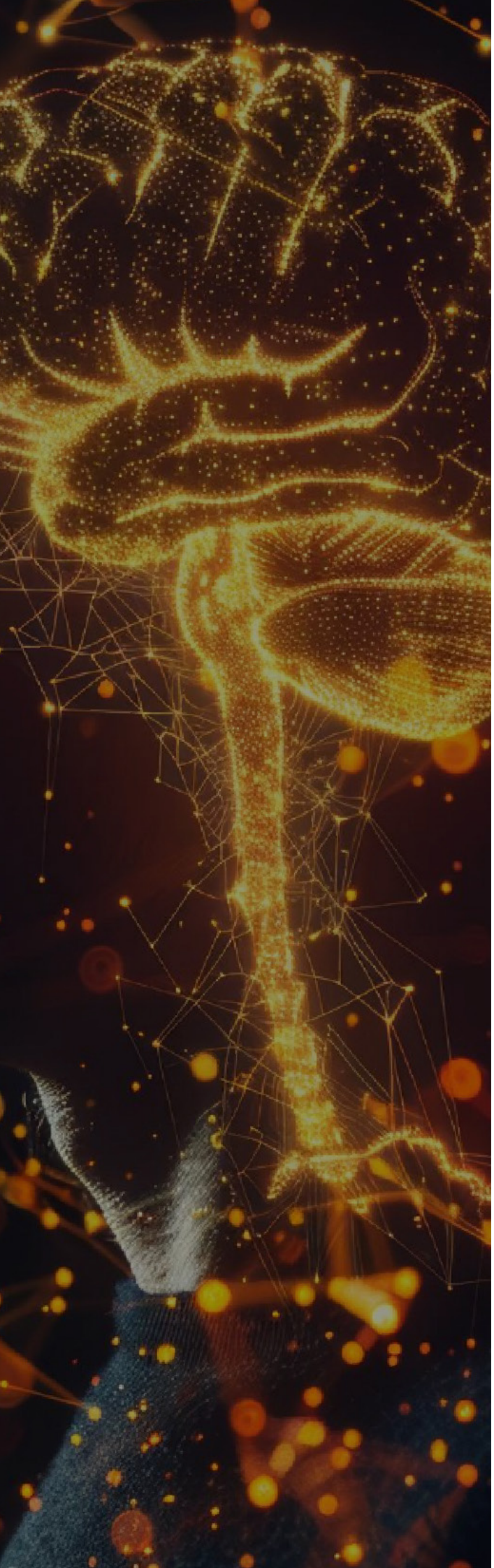
ISBN: 978-9942-609-83-0

NEURO EDUCACIÓN Y CIENCIAS COGNITIVAS:

Fundamentos y Evidencias en el Aula

AUTORES

Margareth Estefania Mera Malavé, Anita Karina Serrano Castro, María Aidis Goyes González, Jerry Maruan Medina Schaffry, Nohely Lisbeth Guevara Guerrero, Katherine Susana Córdova Burgos y Erika Germania Herrera Irazábal.



Instituto de Investigaciones
Transdisciplinarias Ecuador - BINARIO

EDITORIAL BINARIO

Mgs. Susgein Julissa Miranda Cansing
Directora ejecutiva

Lcdo. Wilfrido Rosero Chávez
Gerente operaciones generales

Dra. Sherline Chirinos
Directora de publicaciones y revistas

Lcda. Greguis Reolón Ríos
Directora de marketing y RRSS

La revisión técnica de los documentos correspondió
a especialistas expertos en el área.

ISBN:
978-9942-609-83-0

1era. Edición, septiembre 2026.
Edición con fines educativos no lucrativos

Hecho en Ecuador

Diseño y Tipografía: Greguis Reolón Ríos

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, integra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito al Instituto de Investigaciones Transdisciplinarias Ecuador (BINARIO).

Instituto de Investigaciones
Transdisciplinarias Ecuador - BINARIO
Cel.: +593 99 571 2751

http.://www.binario.com.ec

BINARIO Editorial
978 9942 8754

AUTORES

Margareth Estefania Mera Malavé

Anita Karina Serrano Castro

María Aidis Goyes González

Jerry Maruan Medina Schaffry

Nohely Lisbeth Guevara Guerrero

Katherine Susana Córdova Burgos

Erika Germania Herrera Irazábal

PRÓLOGO

Al analizar el cerebro humano a través de una radiografía, se observa la activación de diversos procesos que, en su mayoría, ocurren de manera simultánea y contribuyen a la configuración de nuestro entorno. La experiencia de la calidez al salir en un día soleado, el sonido de la percusión de un baterista durante un concierto, o la visualización de un atardecer al concluir la jornada. Cada uno de estos estímulos sensoriales es analizado y procesado por el cerebro, lo que permite estructurar la percepción del mundo e interactuar con el entorno.

A lo largo de millones de años de evolución, nuestra especie ha desarrollado en su mente la herramienta más significativa que nos ha permitido no solo subsistir, sino también alcanzar el apogeo de nuestra era. Esto no fue un acontecimiento fortuito; fue el resultado de la observación, el análisis y la capacidad de adaptación que nos permitió lograr lo que ninguna otra especie había conseguido hasta ese momento.

En la actualidad, ya no nos encontramos en situaciones primitivas, enfrentando depredadores y la precariedad del entorno. Sin embargo, se nos presentan desafíos que nos obligan a reconsiderar diversos aspectos de nuestra existencia. Desde la manera en que habitamos hasta cuáles son nuestros límites reales como especie. En este contexto, se presenta la necesidad de preparar a las futuras generaciones para que puedan enfrentar estos desafíos.

En el ámbito educativo, se presenta la obligación de adaptarse con mayor rapidez a las circunstancias actuales, caracterizadas por avances tecnológicos de considerable magnitud. En este momento, se nos presenta la oportunidad de desarrollar estrategias pedagógicas que integren el avance tecnológico, la psicología del aprendizaje y las ciencias de la neurobiología, con el objetivo de mejorar la educación en todas sus etapas. Se logra, de este modo, transitar de un modelo educativo tradicional, en el cual prevalece el contenido académico estandarizado para todos los estudiantes. En un entorno donde se reconocen las particularidades y necesidades de cada individuo en el proceso de aprendizaje, se comprende la importancia de las emociones en dicho proceso, considerándolas como un elemento que no representa un obstáculo.

El nuevo modelo educativo se presenta con el reconocimiento de que el cerebro humano no es una "máquina perfecta" inmutable, sino que tiene la capacidad de adaptarse y reaprender, incluso ante las condiciones más complejas que puedan surgir. Se reconoce que los seres humanos poseen como principal virtud la resiliencia frente a la adversidad que presenta su entorno.

Desde este punto, se observará cómo el cerebro se reconfigura una vez más.

AUTORES

MARGARETH ESTEFANIA MERA MALAVÉ

Médico Veterinario por la Universidad Agraria del Ecuador.
Máster en magíster en agropecuaria mención en Gestión del Desarrollo Rural Sostenible por la universidad.
margareth151087@gmail.com / mmera@upse.edu.ec
Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Docente universitaria, especializada en la enseñanza de anatomía, fisiología, anatomía patológica, medicina apícola, etología y bienestar animal. Combina su rigurosa labor académica y pedagógica con la práctica clínica diaria en su propio consultorio veterinario, donde atiende y vela por la salud de sus pacientes. Su trayectoria destaca por conectar la teoría científica y el bienestar animal directamente con el ejercicio profesional en el campo. Actualmente, inspira a futuras generaciones de profesionales mientras lidera su propio proyecto de atención clínica.

ANITA KARINA SERRANO CASTRO

Licenciada en Ciencias de la Educación
serrano@educacion.gob.ec
Instituto Superior Tecnológico El Libertador.

Anita Karina Serrano Castro, nacida en Guaranda el 15 de abril de 1985, es Magíster en Gestión de Riesgos y Desastres, Magíster y Especialista en Gerencia Educativa, Ingeniera en Marketing y Licenciada en Ciencias de la Educación. Actualmente se desempeña como Rectora del Instituto Superior Tecnológico El Libertador, respaldada por una sólida trayectoria en docencia universitaria, gestión académica y administración pública. Ha liderado proyectos de innovación curricular, investigación científica y aseguramiento de la calidad en la educación superior, cuenta con publicaciones académicas y fue reconocida como Docente Investigadora por la SENESCYT. Su trayectoria integra la educación, la investigación y el liderazgo institucional, contribuyendo al fortalecimiento de una educación superior de calidad, orientada al desarrollo sostenible y la resiliencia.

MARÍA AIDIS GOYES GONZÁLEZ

Licenciada en Ciencias de la Educación
aidis_gonzalez@hotmail.com
Unidad Educativa Particular Amazónica "UNEXPA", Tena, Ecuador.

Docente de Educación General Básica, comprometida con la formación integral de niños y niñas mediante una enseñanza basada en el respeto, la inclusión y el aprendizaje significativo. Imparte las diferentes áreas del currículo de Educación General Básica, promoviendo el desarrollo de conocimientos, habilidades y valores en sus estudiantes. Su labor se caracteriza por la innovación pedagógica, el acompañamiento permanente y el compromiso con la mejora continua de la calidad educativa. Actualmente, fortalece su formación profesional mediante estudios de maestría en Educación.

JERRY MARUAN MEDINA SCHAFFRY

Ingeniero Mecánico – Docente Universitario
jmedina@itsoriente.edu.ec
Instituto Tecnológico Superior Oriente

Ing. Jerry Medina Schaffry. (Coordinador de las carreras de Electromecánica y Minería y Petróleos del Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente). Ingeniero Mecánico, Tecnólogo Electromecánico y Máster en Electrónica y Automatización, con más de 20 años dedicado a la construcción de facilidades petroleras y más de 10 años como docente superior de las áreas de conocimiento de las disciplinas mecánicas y eléctricas. Ha participado en proyectos de I+D relacionadas con la especialidad y la innovación educativa.

NOHELY LISBETH GUEVARA GUERRERO

Psicóloga
Máster Universitario en Orientación Educativa Familiar
Magíster en Psicología Clínica
nguevara@ecotec.edu.ec
Universidad Tecnológica ECOTEC
Facultad de Ciencias de la Salud y Desarrollo Humano, Carrera de Psicología Clínica, Samborondón, Ecuador.

Nohely Lisbeth Guevara Guerrero es psicóloga y magíster en Psicología Clínica, con formación en Orientación Educativa Familiar. Se desempeña como docente universitaria y coordinadora de la carrera de Psicología Clínica en la Universidad Tecnológica ECOTEC. Cuenta con experiencia en atención psicológica, intervención con poblaciones vulnerables, docencia y gestión académica. Sus áreas de interés incluyen la salud mental, la inclusión, el acompañamiento psicosocial y la formación de futuros profesionales.

KATHERINE SUSANA CÓRDOVA BURGOS

Psicóloga Clínica
Magíster en Neuroeducación
Magíster en Psicología Clínica, mención en Atención en Emergencias y Desastres
Magíster en Seguridad Clínica del Paciente y Calidad de la Atención Sanitaria
kcordova@ecotec.edu.ec
Universidad Tecnológica ECOTEC
Facultad de Ciencias de la Salud y Desarrollo Humano, Carrera de Psicología Clínica, Samborondón, Ecuador.

Katherine Susana Córdova Burgos es psicóloga clínica y docente universitaria, con formación de posgrado en Neuroeducación y experiencia en el ámbito académico, clínico y psicosocial. Posgrado en Psicología clínica con mención en emergencias y desastre; posgrado seguridad del paciente y calidad sanitaria. Se desempeña como docente en la carrera de Psicología Clínica de la Universidad ECOTEC. Cuenta con formación en intervención psicológica en crisis, emergencias y desastres. Además, participa como psicóloga voluntaria en programas de atención y acompañamiento psicosocial.

ERIKA GERMANIA HERRERA IRAZÁBAL

Magíster
eherrerai4@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Licenciada en Ciencias de la Educación con mención en Psicología Educativa, Magíster en Psicología con mención en Psicoterapia y Magíster en Educación e Innovación en Educación Superior. Se desempeña como docente en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cuenta con dos años de experiencia en educación superior, destacándose por su compromiso con la formación y el desarrollo integral de sus estudiantes.

ÍNDICE

PRÓLOGO 4

AUTORES 6

ÍNDICE DE TABLAS 15

INTRODUCCIÓN 17

Capítulo 1. Fundamentos Neurobiológicos Del Aprendizaje 21

Introducción y Marco Epistemológico de la Neuroeducación 21
Arquitectura Neuroanatómica y Funcional del Cerebro que Aprende 23
Neuroplasticidad: Mecanismo Celular y Molecular del Aprendizaje 27
Neuroplasticidad: El Sustrato Dinámico del Aprendizaje 30
Neurotransmisión y Neuromodulación en la Cognición 32
Implicaciones Pedagógicas y Aplicaciones Directas en el Aula 41
Bases Celulares y Moleculares de la Plasticidad Sináptica 43
Sistemas Neuroquímicos y Redes Neuroanatómicas del Aprendizaje 45

Capítulo 2. Procesos Cognitivos y Afectivos 48

Introducción y Marco Integrador Cognitivo-Afectivo 48
Redes Atencionales y Sistemas de Memoria en el Procesamiento Escolar 49
Las Funciones Ejecutivas como Pilar del Rendimiento Académico Superior 52
La Afectividad en el Aula: Neurobiología Emocional, Estrés y Clima de Aprendizaje 54
La Taxonomía de las Emociones Académicas 55
Teoría de la Carga Cognitiva y Diseño Instruccional Adaptativo 57
Motivación, Autoeficacia y Clima Social de Aprendizaje 59
Impacto de la Retroalimentación en la Neuroplasticidad 60
Implicaciones Pedagógicas y Estrategias Basadas en Evidencia 61

Integración Neurocognitiva y Afectiva en la Dinámica Escolar 62
Premisa Neurobiológica Clave 63
Arquitectura de los Procesos Cognitivos Subyacentes al Aprendizaje 63
Dimensión Afectivo-Motivacional y su Impacto en el Aprendizaje 66
Intersección Tecno-Afectiva: El Desafío en Ambientes Virtuales de Aprendizaje 67
Sinergia Cognitivo-Afectiva en Entornos Digitales 68
Orientaciones Prácticas y Estrategias Pedagógicas Integradoras 68
Neurobiología de los Filtros Afectivos y la Motivación 71
Funciones Ejecutivas Avanzadas y Control Inhibitorio 72
Metacognición, Autorregulación y la Red Neuronal por Defecto 73
Casos Prácticos de Estudio Integradores 74

Capítulo 3. Funciones Ejecutivas y Autorregulación Cognitiva 78

Introducción y Delimitación Conceptual 78
Punto Clave de Articulación Conceptual 79
Componentes Nucleares de las Funciones Ejecutivas 79
Bases Neurobiológicas y Neuroanatomía de la Autorregulación 83
Modelos Teóricos de Autorregulación Cognitiva y Metacognición 84
La Autorregulación en Ecosistemas Digitales y Entornos Virtuales de Aprendizaje ... 87
Estrategias Pedagógicas para el Fomento de las Funciones Ejecutivas en la Educación Superior 88
Estrategias de Intervención para la Optimización de las Funciones Ejecutivas 90
Modelos Neuropsicológicos del Control Ejecutivo y la Flexibilidad Cognitiva 91
Arquitectura Metacognitiva: Monitorización, Control y Metacomprensión 92
Desarrollo y Ontogenia del Control Ejecutivo 92
Autorregulación Cognitiva y Procesos de Planificación 94
Neurobiología de la Procrastinación y del Agotamiento del Ego 95
Estrategias Metacognitivas de Intervención y Autorregulación 96
Casos Prácticos de Estudio Integradores 97

Capítulo 4. eurodiversidad y Dificultades Específicas Del Aprendizaje 101

Fundamentos Epistemológicos del Paradigma de la Neurodiversidad..... 101

Bases Neurobiológicas y Perfiles de las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA)..... 103

Procesamiento Sensorial, Cognición Social y Condiciones Asociadas..... 106

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) como Arquitectura Pedagógica Inclusiva 108

Tecnologías de Apoyo y Modificaciones en la Educación Superior..... 110

Paradigma de la Neurodiversidad y Conectómica Cerebral 112

Bases Neurobiológicas de las Dificultades Específicas en la Lectoescritura (Dislexia)..... 113

Discalculia y la Neurobiología del Significado Numérico 116

TDAH y Variaciones en el Procesamiento Atencional y Motivacional..... 117

Neurobiología de las Funciones Ejecutivas Complejas y el Giro Cingulado Anterior119

Condición del Espectro Autista (CEA) en Educación Superior: Conectividad Local e Hiperfenomenología..... 121

Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (Dispraxia) y Coordinación Visomotora122

Fenómenos de Comorbilidad y Perfiles Mixtos..... 123

Casos Prácticos Aplicados de Perfiles Mixtos y Adultos Neurodivergentes..... 126

Capítulo 5. Innovación Curricular y Entornos De Aprendizaje Neuroinclusivos 129

Paradigmas de la Innovación Curricular y la Justicia Curricular Neuroinclusiva..... 129

Arquitectura de Entornos Físicos y Digitales Neuroinclusivos 131

Metodologías Activas y Co-creación del Conocimiento..... 134

Sistemas Diversificados de Evaluación y Autenticidad Pedagógica..... 136

Formación Docente, Competencias Socioemocionales y Desarrollo Profesional ... 138

Gobernanza Institucional, Casos de Éxito y Cultura Neuroinclusiva 140

El Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL) desde la Neurociencia Cognitiva 143

Neuroergonomía Espacial y Sensorial en los Entornos de Aprendizaje 145
Tecnologías Asistivas y Evaluación Neuroinclusiva..... 147
Capacitación Docente y Clima Socioafectivo Neuroinclusivo 148
Modelo de Intervención Aplicada en el Terreno: El Protocolo AIR (Accesibilidad, Inclusión y Rigor) en la Educación Superior 150
REFERENCIAS 154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las Principales Macro-Redes Neuronales y su Función Educativa.... 27

Tabla 2. Clasificación de las Emociones Académicas y su Efecto Neurocognitivo..... 56

Tabla 3. Clasificación y Características de la Carga Cognitiva en el Aula 64

Tabla 4. Síntesis de las Funciones Ejecutivas Nucleares y sus Manifestaciones en la Dinámica de Aprendizaje 82

Tabla 5. Fases y Áreas de Regulación Cognitiva y Motivacional 86

Tabla 6. Comparación Epistemológica entre el Modelo Médico de la Discapacidad y el Paradigma de la Neurodiversidad 102

Tabla 7. Matriz de Co-ocurrencia Neurocognitiva y Manifestaciones Interaccionales 107

Tabla 8. El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) 109

Tabla 9. Matriz de Ajustes Razonables en Evaluaciones de Educación Superior 111

Tabla 10. Fenómenos de Comorbilidad y Perfiles Mixtos..... 124

Tabla 11. Variables Ambientales y sus Impactos Neurocognitivos en Entornos Educativos 133

Tabla 12. Matriz Comparativa entre el Modelo Tradicional y el Sistema Neuroinclusivo de Evaluación 137

Tabla 13. Ejes Estratégicos para la Transición Institucional hacia la Cultura Neuroinclusiva 142

Tabla 14. Resultados Medibles en el Terreno..... 153

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El presente libro presenta un análisis interdisciplinario sobre la convergencia entre las neurociencias, la psicología cognitiva y la práctica pedagógica, con el objetivo de optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el contexto académico actual. A través de un recorrido organizado en cinco ejes temáticos, la obra establece una conexión entre los fundamentos biológicos de la cognición y las dinámicas afectivas, el control ejecutivo, el paradigma de la neurodiversidad, así como el diseño de entornos educativos inclusivos mediante la innovación curricular.

En su sección inicial, el libro examina las bases neurobiológicas del aprendizaje, describiendo la arquitectura neuroanatómica, los mecanismos celulares de la plasticidad sináptica y la dinámica de los sistemas de neurotransmisión en el proceso de consolidación de la memoria y la atención. Asimismo, se examina en profundidad la interrelación entre los procesos cognitivos y afectivos, analizando de qué manera las variables socioemocionales, la regulación del estrés, la teoría de la carga cognitiva y el filtro afectivo influyen en la capacidad de procesamiento de la información en contextos tanto presenciales como virtuales.

A continuación, el libro define la neuroanatomía y los modelos teóricos relacionados con las funciones ejecutivas, haciendo especial énfasis en la autorregulación cognitiva, la metacognición y la capacidad de planificación. En este contexto, se examinan dinámicas complejas tales como la procrastinación, el agotamiento del ego y los desafíos de autorregulación en entornos digitales. Se proponen estrategias de intervención neuropsicológica orientadas a promover la autonomía académica en la educación superior.

Posteriormente, la obra adopta una perspectiva epistemológica basada en el paradigma de la neurodiversidad para analizar la conectómica cerebral y las bases neurobiológicas de las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA), incluyendo condiciones tales como la dislexia, la discalculia, el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), la Condición del Espectro Autista y la dispraxia. A partir del análisis de estas variaciones en el procesamiento

sensorial y cognitivo, se fundamenta la necesidad de implementar marcos pedagógicos, como el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), así como tecnologías asistenciales, con el fin de reducir las barreras presentes en el entorno.

Finalmente, el libro presenta los hallazgos científicos en un contexto operativo a través de propuestas de innovación curricular y de neuroergonomía, tanto en entornos espaciales como digitales. Se analizan metodologías activas, la formación docente en competencias socioafectivas y los esquemas de gobernanza institucional, finalizando con la presentación de modelos de intervención aplicada, como el Protocolo AIR (Accesibilidad, Inclusión y Rigor). En conjunto, el texto sistematiza la evidencia neurocientífica con el propósito de establecer una guía conceptual y práctica destinada a la creación de ecosistemas educativos que sean rigurosos, equitativos y neuroinclusivos.

Capítulo 1: Fundamentos Neurobiológicos del Aprendizaje Analiza la arquitectura neuroanatómica, así como los mecanismos celulares y moleculares de la neuroplasticidad que fundamentan la adquisición del conocimiento. Se examinan los sistemas de neurotransmisión, la consolidación de la memoria y el efecto del estrés y la emoción en el procesamiento de la información, estableciendo así el marco epistemológico de la neuroeducación en el contexto del aula.

Capítulo 2: Procesos Cognitivos y Afectivos Explora la interacción entre la dimensión cognitiva y la dimensión emocional en el contexto educativo. Se presentan las redes atencionales, la teoría de la carga cognitiva y la taxonomía de las emociones académicas, analizando la modulación de los filtros afectivos y la motivación en contextos de aprendizaje, tanto presenciales como virtuales.

Capítulo 3: Funciones Ejecutivas y Autorregulación Cognitiva Se examinan la ontogenia, la neuroanatomía y los modelos teóricos relacionados con el control ejecutivo y la metacognición. Analiza en profundidad los componentes fundamentales de la autorregulación, la flexibilidad cognitiva y la planificación, proporcionando un análisis sobre fenómenos tales como

la procrastinación y el agotamiento del ego. Asimismo, incluya estrategias de intervención pedagógica aplicables a la educación superior.

Capítulo 4: Neurodiversidad y Dificultades Específicas del Aprendizaje El aprendizaje fundamenta el paradigma de la neurodiversidad, permitiendo la conceptualización de la conectómica cerebral y los perfiles neurobiológicos asociados a las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA), tales como la dislexia, la discalculia, el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), la condición del espectro autista y la dispraxia. La aplicación del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) es fundamental para garantizar la inclusión y el acceso equitativo a la educación para estudiantes y adultos neurodivergentes

Capítulo 5: Innovación Curricular y Entornos de Aprendizaje Neuroinclusivos La neuro-ergonomía aplica principios de la neurociencia al diseño de espacios físicos y digitales, con el objetivo de optimizar la interacción entre los usuarios y su entorno. Esta disciplina busca mejorar la eficiencia, la comodidad y la seguridad en el uso de estos espacios, basándose en el entendimiento de los procesos cognitivos y sensoriales de los individuos. Se solicita una evaluación de la formación docente en competencias socioafectivas, así como de los sistemas de evaluación auténtica, la gobernanza institucional y la implementación práctica del Protocolo AIR (Accesibilidad, Inclusión y Rigor) en el ámbito de la educación superior.

1 Unidad

FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DEL APRENDIZAJE

CAPÍTULO 1.

FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DEL APRENDIZAJE

Margareth Estefania Mera Malavé, Anita Karina Serrano Castro,
María Aidis Goyes González, Jerry Maruan Medina Schaffry, Nohely Lisbeth Guevara Guerrero,
Katherine Susana Córdova Burgos y Erika Germania Herrera Irazábal.

Introducción y Marco Epistemológico de la Neuroeducación

Se puede observar que, a lo largo del tiempo, el estudio del aprendizaje humano ha experimentado una transformación epistemológica significativa en las últimas cuatro décadas. Históricamente, las teorías del aprendizaje han estado dominadas por enfoques conductistas, cognitivistas y constructivistas. Aunque estas perspectivas han proporcionado valiosas modelizaciones teóricas sobre la conducta observable y los procesos mentales superiores, presentan la limitación de no permitir la observación directa del sustrato biológico que subyace a dichos fenómenos.

Con el desarrollo y la sofisticación de las técnicas de neuroimagen funcional, como la resonancia magnética funcional (fMRI), la electroencefalografía de alta densidad (EEG-hd) y la espectroscopía de infrarrojo cercano, se ha observado el surgimiento de la "neuroeducación" como una disciplina transdisciplinaria emergente. Esta se sitúa en la intersección de la neurociencia funcional, la psicología cognitiva y la pedagogía aplicada (Mora, 2017). Se ha superado la concepción que sostenía que el aprendizaje de un individuo estaba restringido únicamente a su capacidad intelectual y psicológica, desestimando por completo los diversos procesos interrelacionados que tienen lugar en el cerebro humano para comprender incluso acciones tan elementales como el acto de caminar. En este momento, es pertinente detenerse a observar por primera vez la extraordinaria "máquina" de procesamiento y adaptación que constituye el cerebro. Este órgano, a lo largo de millones de años, ha facilitado, mediante procesos neurobiológicos, no solo la supervivencia de nuestra especie, sino también su evolución hasta alcanzar el estado actual.

En primer lugar, es importante señalar que la neuroeducación no tiene como objetivo sustituir los modelos pedagógicos validados ni simplificar la complejidad sociocultural del aula a mer-

os impulsos electroquímicos o patrones de activación cerebral. Por el contrario, su propósito epistemológico consiste en proporcionar un nivel de análisis neurobiológico que valide, refine o cuestione las prácticas educativas institucionales.

Según lo expuesto por Howard et al. (2016), el aprendizaje constituye un proceso biológico esencial mediante el cual el cerebro altera su estructura y funcionamiento en respuesta a la experiencia con el entorno. En este contexto, es fundamental comprender los mecanismos cerebrales que regulan la atención, la plasticidad sináptica, la consolidación de la memoria y la regulación emocional. Este conocimiento resulta indispensable para el diseño de entornos de enseñanza-aprendizaje que estén optimizados y fundamentados en evidencia empírica rigurosa.

No obstante, es necesario considerar que la integración entre la neurociencia y la práctica docente ha enfrentado importantes obstáculos epistemológicos y metateóricos. Ante esta situación, surge la necesidad de comprender qué factores condujeron a esta separación involuntaria. Para abordar esta cuestión y diseñar entornos propicios que faciliten un proceso de aprendizaje óptimo, es necesario examinar el origen de este fenómeno. Uno de los principales desafíos en este ámbito es la discrepancia conceptual que se presenta entre los hallazgos obtenidos en laboratorio, los cuales suelen realizarse en entornos altamente controlados e individualizados, y la realidad dinámica, multifacética e interpersonal de las aulas en las instituciones escolares y universitarias (Bruer, 1997; Sigman et al., 2014).

Esta distancia en la comunicación ha facilitado la proliferación de distorsiones conceptuales conocidas como "neuro mitos". Estos se refieren a malentendidos o interpretaciones sesgadas de datos neurobiológicos que se difunden en la comunidad educativa como verdades científicas indiscutibles (Dekker et al., 2012).

Entre los "neuro mitos" más prevalentes que se pueden señalar, se encuentran la noción de los "estilos de aprendizaje" (visual, auditivo, kinestésico) según el modelo VAK, la errónea creencia de que utilizamos únicamente el 10% de nuestra capacidad cerebral, así como la categorización binaria entre un "cerebro izquierdo lógico" y un "cerebro derecho creativo" (Geake, 2008; Howard, 2014). En primer lugar, la evidencia científica contemporánea ha dem-

ostrado de manera concluyente que el aprendizaje eficiente implica una conectividad de red coordinada a nivel holístico e interhemisférico. Además, se ha establecido que la adaptación de la instrucción a supuestos "estilos de aprendizaje" no produce mejoras significativas en el rendimiento académico (Pashler et al., 2008; Newton & Miah, 2020).

Por lo tanto, el establecimiento de un marco epistemológico sólido en el ámbito de la neuroeducación requiere una rigurosa alfabetización científica de los educadores, lo cual les permitirá discernir entre intervenciones basadas en evidencia neurocognitiva y propuestas comerciales que carecen de validez empírica. No es correcto afirmar que un estudiante "solo aprende de forma visual", mientras que su compañera "aprende a nivel kinestésico (a través del tacto)". Por lo tanto, el profesor debe preparar enfoques personalizados para cada uno de ellos. Una situación de este tipo resultaría absurda y constituiría un desperdicio de recursos que podrían ser utilizados de manera más eficiente. Es importante señalar que no negamos la existencia de métodos de aprendizaje que puedan ser más efectivos para ciertos estudiantes en comparación con otros. Sin embargo, rechazamos de manera categórica la idea de que solo se puede aprender de una manera específica.

Arquitectura Neuroanatómica y Funcional del Cerebro que Aprende

El cerebro humano constituye un sistema adaptativo complejo, compuesto por aproximadamente 86.000 millones de neuronas y una cantidad similar de células gliales (Azevedo et al., 2009). En lugar de funcionar a través de módulos aislados, el procesamiento de la información necesaria para el aprendizaje se distribuye a través de redes estructurales y funcionales que están altamente interconectadas. Para comprender los fundamentos del aprendizaje académico, es necesario analizar tanto las estructuras corticales y subcorticales relevantes como las macro-redes neuronales de gran escala.

Estructuras Corticales y Subcorticales Esenciales

Se puede afirmar que la corteza prefrontal (CPF) es la principal responsable de las funciones ejecutivas, que incluyen la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, la planificación es-

tratégica, la inhibición de respuestas automáticas y la toma de decisiones (Diamond, 2013). Se ha observado que la corteza prefrontal (CPF) está funcionalmente dividida en las regiones dorsolateral, ventromedial y orbitofrontal. Esta estructura ejerce un control de tipo "de arriba hacia abajo" sobre otras áreas del cerebro, organizando el comportamiento orientado hacia metas. En el ámbito educativo, se observa que la maduración ontogenética de la corteza prefrontal (CPF), un proceso que se extiende hasta la tercera década de la vida debido a la mielinización tardía explica las diferencias en el desarrollo de la autorregulación cognitiva y emocional que se manifiestan entre niños, adolescentes y adultos jóvenes (Blakemore, 2012).

En el ámbito subcortical, se puede observar que el sistema límbico desempeña un papel fundamental en la modulación del aprendizaje mediante la interacción entre emoción y cognición. En consideración a lo anterior, el hipocampo, una estructura con forma de caballito de mar situada en el lóbulo temporal medial, constituye el nodo central para la formación, consolidación y codificación de memorias explícitas o declarativas, que incluyen las memorias semánticas y episódicas (Squire & Dede, 2015). Se puede afirmar que el hipocampo funciona como un procesador temporal que integra la información sensorial pertinente para su posterior transferencia y almacenamiento a largo plazo en las áreas de asociación neocorticales.

La amígdala cerebral, íntimamente conectada al hipocampo, constituye una estructura nuclear fundamental en el procesamiento emocional, la detección de amenazas y la saliencia emocional de los estímulos. Desempeña un papel central en el proceso de aprendizaje y en la percepción de los estímulos del entorno. Es importante considerar que, cuando un estímulo pedagógico presenta una carga emocional positiva o un nivel óptimo de novedad, se produce un proceso en el cual la amígdala facilita la potenciación de la codificación hipocámpica mediante la liberación de neuromoduladores (Phelps, 2006). Por el contrario, en situaciones de estrés elevado y crónico, se desencadena una hiperactivación de la amígdala que hiperpolariza la corteza prefrontal e inhibe la función hipocámpica a través del exceso de glucocorticoides (cortisol), lo que obstaculiza el aprendizaje eficaz y la recuperación de información (Arnsten, 2009).

Asimismo, es posible afirmar que los ganglios basales, que incluyen el cuerpo estriado compuesto por el núcleo caudado y el putamen, así como el cerebelo, desempeñan un papel fundamental en la adquisición y automatización de memorias procedimentales, habilidades motoras y hábitos cognitivos (Doyon et al., 2009). La adquisición inicial de una habilidad académica, como la lectura o la resolución de algoritmos matemáticos, requiere un considerable control prefrontal y una carga significativa en la memoria de trabajo. Sin embargo, a través de la práctica deliberada y repetida, el control funcional se transfiere gradualmente hacia los circuitos estriatales y cerebelosos, lo que automatiza el proceso y libera recursos cognitivos para abordar tareas de mayor complejidad analítica. Esto implica que ciertas habilidades que requieren una carga cognitiva, como el aprendizaje de la lectura o la escritura en un idioma diferente, se perfeccionan mediante la práctica constante y no exclusivamente a través de estímulos emocionales, aunque estos también desempeñan un papel relevante.

Macro-redes Neuronales de Gran Escala

Se puede afirmar que la neurociencia cognitiva contemporánea ha superado la perspectiva localizacionista estricta para enfocarse en la dinámica de las macro-redes neuronales integradas (Seeley et al., 2007). En el contexto del aprendizaje en entornos escolares y universitarios, tres redes cerebrales de gran escala desempeñan un papel fundamental en la orquestación de este proceso:

La Red de Control Ejecutivo (ECN, por sus siglas en inglés): se refiere a un conjunto de estructuras neuronales que desempeñan un papel fundamental en la regulación de procesos cognitivos complejos. Esta red es responsable de funciones tales como la toma de decisiones, la planificación y el control de la atención, lo que permite a los individuos gestionar y coordinar diversas tareas de manera eficiente. Se encuentra estructuralmente anclada en la corteza prefrontal dorsolateral y en la corteza parietal posterior. Se activa de manera significativa durante la realización de tareas cognitivas complejas que requieren atención sostenida, manipulación de información en la memoria de trabajo, resolución de problemas novedosos y procesamiento analítico intensivo (García et al., 2016).

La Red de Saliencia (SN - *Salience Network*): es un conjunto de regiones cerebrales que desempeñan un papel fundamental en la identificación y el procesamiento de estímulos relevantes en el entorno. Esta red facilita la atención hacia los elementos que requieren una respuesta inmediata y coordina la interacción entre otras redes cerebrales, como la Red de Control Ejecutivo y la Red de Modo Descansando. Su función es crucial para la toma de decisiones y la regulación emocional.

Está compuesta principalmente por la corteza insular anterior y la corteza cingulada anterior dorsal. La red de saliencia funciona como un conmutador dinámico que identifica estímulos relevantes, novedosos o emocionalmente significativos, ya sea del entorno o del estado interno del organismo. Su función principal en el aula consiste en dirigir los recursos atencionales del estudiante hacia la información instruccional esencial, regulando la transición funcional entre la Red de Control Ejecutivo (ECN) y la Red de Modo Predeterminado (DMN) (Menon & Uddin, 2010).

La Red por Defecto (DMN - *Default Mode Network*): Red distribuida que incluye la corteza prefrontal medial, el precúneo, la corteza cingulada posterior y el lóbulo temporal medial. A diferencia de las redes atencionales, la Red de Modo Descansando (DMN) presenta una elevada actividad metabólica cuando el individuo no se encuentra concentrado en una tarea orientada hacia el entorno externo, como en estados de reposo, ensoñación o divagación mental. No obstante, lejos de representar un estado de inactividad, se ha determinado que la Red de Modo Descansando (DMN, por sus siglas en inglés) es fundamental para la consolidación de la memoria, el procesamiento autorreferencial, la introspección, la simulación mental del futuro, la empatía y el pensamiento creativo divergente (Buckner et al., 2008; Immordino, 2016).

En consideración de lo anterior, es posible destacar que la alternancia equilibrada entre estados de focalización atencional, que implica la activación de la Red de Control Ejecutivo (ECN), y períodos de reflexión introspectiva, que conlleva la activación de la Red de Modo Predeterminado (DMN), es fundamental para la asimilación profunda de conceptos abstractos.

Tabla 1.

Resumen de las Principales Macro-Redes Neuronales y su Función Educativa

Red Neuronal	Nodos Neuroanatómicos Clave	Función Cognitiva Principal	Implicación en el Aula
Control Ejecutivo (ECN)	CPF dorsolateral, corteza parietal posterior	Atención focalizada, memoria de trabajo, razonamiento lógico	Resolución de problemas, cálculo matemático, comprensión lectora profunda.
Saliencia (SN)	Corteza insular anterior, cingulado anterior dorsal	Detección de novedad, conmutación atencional, filtro emocional	Captura de la atención ante estímulos clave, relevancia pedagógica.
Por Defecto (DMN)	CPF medial, precúneo, lóbulo temporal medial	Consolidación, procesamiento autorreferencial, creatividad	Integración conceptual, reflexión metacognitiva, incubación de ideas.

Nota. Elaboración propia.

Neuroplasticidad: Mecanismo Celular y Molecular del Aprendizaje

Es necesario destacar que el descubrimiento de la neuroplasticidad ha desmantelado el dogma científico tradicional que consideraba al cerebro adulto como una estructura estática e inalterable. La neuroplasticidad puede definirse como la capacidad inherente del sistema nervioso para modificar su organización estructural y funcional en respuesta a la experiencia, el aprendizaje, las exigencias del entorno o las lesiones (Pascual-Leone et al., 2005).

Desde una perspectiva pedagógica, la neuroplasticidad representa la condición biológica necesaria para cualquier proceso educativo. No se puede lograr un aprendizaje duradero sin

una modificación física en la citoarquitectura neuronal y en la fortaleza de las conexiones sinápticas. En otras palabras, el aprendizaje de un nuevo idioma conlleva cambios en el cerebro, así como la formación de nuevas conexiones neuronales a medida que transcurre el tiempo, como, por ejemplo, un año en un país distinto.

Plasticidad Sináptica: LTP y LTD

Se puede observar que, a nivel celular y molecular, el mecanismo fundamental que subyace a la formación de huellas de memoria (engramas) es la plasticidad sináptica. La propuesta teórica formulada por Donald Hebb en 1949, resumida en el axioma "las neuronas que se activan simultáneamente se conectan entre sí", fue validada experimentalmente a través del descubrimiento de la Potenciación a Largo Plazo (LTP, por sus siglas en inglés) por Bliss y Lømo (1973).

La LTP representa una intensificación persistente y duradera de la transmisión sináptica entre dos neuronas tras una estimulación de alta frecuencia. Observamos, como en las sinapsis glutamatérgicas del hipocampo y la neocorteza, la LTP requiere la activación coordinada de dos tipos de receptores ionotrópicos de glutamato: los receptores AMPA (ácido α-amino-3-hidroxi-5-metilo-4-isoxazolpropiónico) y los receptores NMDA (N-metil-D-aspartato) (Malenka & Bear, 2004). En vista de esto, nos encontramos que, en condiciones de reposo, el poro del receptor NMDA se encuentra bloqueado por un ion de magnesio (Mg^ {2+}). Cuando la membrana postsináptica experimenta una despolarización suficiente a través de la afluencia de sodio (Na^+) vía receptores AMPA, el ion de magnesio es expulsado electrostáticamente. Esto permite la entrada masiva de iones de calcio (Ca^ {2+}) a la neurona postsináptica a través del canal NMDA.

Se puede apreciar, como durante el influjo de Ca^ {2+} actúa como un segundo mensajero crítico que desencadena cascadas enzimáticas complejas, activando proteín-quinasas como la CaMKII (proteína quinasa dependiente de calcio/ calmodulina II) y la PKC (proteína quinasa C). En una fase temprana (LTP a corto plazo), la CaMKII promueve la fosforilación de los receptores AMPA existentes y el reclutamiento de nuevos receptores AMPA desde el citoplasma

hacia la densidad postsináptica, incrementando la sensibilidad de la membrana ante futuras liberaciones de glutamato. En una fase tardía (LTP a largo plazo), las cascadas de señalización activan factores de transcripción genética como la proteína CREB (cAMP ***response element-binding protein***). Tenemos entonces que, esto induce la expresión génica y la síntesis de nuevas proteínas estructurales (como la actina), lo que conduce a la remodelación morfológica de las espinas dendríticas y a la construcción de nuevas sinapsis físicas (Kandel, 2001).

De manera complementaria, es pertinente señalar que la Depresión a Largo Plazo (LTD, por sus siglas en inglés) constituye el proceso inverso, el cual se caracteriza por una reducción sostenida de la eficacia sináptica, que resulta de una estimulación de baja frecuencia o desincronizada. Lejos de considerarse un fallo del sistema, la LTD (depresión a largo plazo) es, en esencia, un mecanismo fundamental para la plasticidad competitiva, así como para la poda sináptica y la eliminación de conexiones irrelevantes o ruidosas. Se puede afirmar, de manera concisa, que la LTD tiene como objetivo prevenir la saturación sináptica en el cerebro, optimizando la relación señal-ruido en las redes neuronales y facilitando la reconfiguración continua del conocimiento (Bear, 2003).

Neurogénesis Adulta y Enriquecimiento Ambiental

Es fundamental comprender que, además de las modificaciones sinápticas, la plasticidad estructural incluye la neurogénesis en la edad adulta, un proceso mediante el cual se producen nuevas neuronas funcionales a partir de células madre neurales en la región subgranular del giro dentado del hipocampo (Eriksson et al., 1998; Spalding et al., 2013). Asimismo, la magnitud cuantitativa de la neurogénesis en adultos ha sido objeto de discusión. La evidencia indica que las neuronas inmaduras recién generadas se integran funcionalmente en los circuitos hipocámpicos preexistentes, desempeñando un papel significativamente relevante en la separación de patrones, es decir, en la capacidad para discriminar entre experiencias o recuerdos similares, así como en la flexibilidad cognitiva.

Es posible observar que los factores ambientales y conductuales influyen de manera significativa en la tasa de neurogénesis y en la supervivencia de las nuevas neuronas. El enriquec-

imiento ambiental, que se caracteriza por la presencia de diversos desafíos cognitivos, una interacción social significativa, la introducción de novedades y una predisposición hacia el descubrimiento, junto con la práctica de ejercicio físico aeróbico, estimulan la producción del Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF, por sus siglas en inglés) (Voss et al., 2013). En otras palabras, los seres humanos son entidades sociales que adquieren conocimientos a partir de su entorno y de las interacciones con otros. Además, la práctica de actividad física contribuye a crear las condiciones óptimas para el aprendizaje. El BDNF es una neurotrofina esencial que desempeña un papel crucial como un "fertilizante molecular", favoreciendo la supervivencia de las neuronas, la arborización dendrítica, la sinaptogénesis y la consolidación de la potenciación a largo plazo (LTP). En contraste, el sedentarismo, la privación del sueño, el aislamiento social y el estrés crónico disminuyen de manera significativa los niveles de BDNF, lo que provoca la atrofia de las espinas dendríticas en el hipocampo y la corteza prefrontal (McEwen, 2007). En otras palabras, una vida caracterizada por el aislamiento, el estrés y la falta de nuevas experiencias puede tener efectos perjudiciales a nivel neuronal.

Neuroplasticidad: El Sustrato Dinámico del Aprendizaje

La neuroplasticidad se define como la capacidad inherente del tejido nervioso para reestructurar su morfología y fisiología en respuesta a experiencias, entrenamiento, lesiones cerebrales o demandas del entorno. El cerebro puede ser comprendido no como una entidad rígida, sino como un elemento maleable, similar al cauce de un río, que tiene la capacidad de adaptarse y transformarse de acuerdo con su trayectoria. De este modo, se ha desmantelado el paradigma clásico que consideraba al cerebro adulto como una estructura rígida e inmutable. La neurociencia moderna ha evidenciado que la plasticidad cerebral se conserva a lo largo de toda la vida.

Potenciación a Largo Plazo (LTP) y Depresión a Largo Plazo (LTD)

1. La neuroplasticidad se define como la capacidad inherente del tejido nervioso para reestructurar su morfología y fisiología en respuesta a experiencias, entrenamiento, lesiones cerebrales o exigencias del entorno. El cerebro debe ser entendido no como

una entidad estática, sino como un elemento maleable, comparable al cauce de un río, que posee la capacidad de adaptarse y transformarse en función de su trayectoria. De este modo, se ha desmantelado el paradigma clásico que consideraba al cerebro adulto como una estructura estática e inalterable. La neurociencia contemporánea ha demostrado que la plasticidad cerebral se mantiene a lo largo de toda la vida.

2. Involucramiento de Receptores Glutamatérgicos: En condiciones de reposo, los receptores NMDA (N-metil-D-aspartato) se encuentran bloqueados por un ion de magnesio ().
3. Despolarización Sináptica: La activación continuada de los receptores AMPA despolariza la membrana postsináptica, expulsando el ion del canal del receptor NMDA.
4. Aflujo de Calcio (): La entrada masiva de calcio al botón postsináptico activa cascadas enzimáticas (proteína quinasa CaMKII y PKC).
5. Cambios Estructurales: Se insertan más receptores AMPA en la membrana postsináptica y se estimula la síntesis de nuevas proteínas a través del factor de transcripción CREB, promoviendo el crecimiento de nuevas espinas dendríticas.
6. En contraste, es importante señalar que la Depresión a Largo Plazo (LTD) representa el proceso opuesto: se caracteriza por una disminución clara y sostenida de la fuerza sináptica, la cual se produce en respuesta a estimulaciones de baja frecuencia. Una persona que experimenta depresión presenta una disminución en el deseo de participar en nuevas experiencias. Durante este periodo de inactividad, el cerebro aprovecha la oportunidad para prepararse para el momento en que se reanude el aprendizaje. La LTD es igualmente fundamental para el proceso de aprendizaje, ya que facilita la "poda" o eliminación de conexiones innecesarias o irrelevantes, optimizando así la eficiencia de las redes neuronales.

Neurogénesis Adulta en el Giro Dentado

Se ha establecido, durante varias décadas, que la generación de nuevas neuronas concluía en las etapas iniciales del desarrollo. En la actualidad, se ha establecido que en el giro dentado

del hipocampo existe un nicho neurogénico activo a lo largo de toda la vida. Se comprende que las células madre neurales producen interneuronas que se integran funcionalmente en los circuitos hipocámpicos preexistentes, desempeñando un papel fundamental en la discriminación de patrones, es decir, en la capacidad de diferenciar recuerdos similares, así como en la regulación del estado de ánimo.

Neurotransmisión y Neuromodulación en la Cognición

El aprendizaje no depende únicamente de la arquitectura eléctrica de las neuronas, sino del ambiente químico modulado por diversos sistemas de neurotransmisión:

- Glutamato: Es el principal neurotransmisor excitador del sistema nervioso central. Es el mediador directo de la transmisión de información sináptica y el gatillo indispensable para la inducción de la LTP.
- Dopamina: Sintetizada en el área tegmental ventral (ATV) y la sustancia negra, la dopamina es el pilar del sistema de recompensa cerebral. Su liberación en el núcleo accumbens y la corteza prefrontal ante un estímulo novedoso o inesperado genera la señal de "error de predicción de recompensa", incrementando la motivación intrínseca, la focalización atencional y la fijación del recuerdo.
- Noradrenalina: Producida en el *locus coeruleus*, regula el nivel de alerta, el arousal fisiológico y la orientación atencional. Un nivel óptimo de noradrenalina fortalece la memoria de trabajo, mientras que niveles extremos (por estrés agudo) la deterioran.
- Acetilcolina: Proyectada desde el núcleo basal de Meynert hacia toda la corteza, la acetilcolina incrementa la relación señal-ruido en el procesamiento sensorial, optimizando la atención focalizada y facilitando la codificación de nueva información en el hipocampo.
- GABA (Ácido Gamma-Aminobutírico): Es el neurotransmisor inhibidor primario. Permite la sincronización de ritmos corticales (como las oscilaciones gamma) y evita la hiperexcitabilidad, afinando la precisión con la que se forman los mapas cognitivos.

Caso Práctico de Estudio 1: Modulación Dopaminérgica en el Aprendizaje por Descubrimiento

Contexto: En una investigación universitaria sobre metodología de la enseñanza, un grupo de estudiantes de medicina fue dividido en dos modalidades para aprender el diagnóstico de electrocardiogramas complejos. El Grupo A recibió clases magistrales tradicionales donde se explicaba directamente el diagnóstico. El Grupo B utilizó un modelo de resolución de casos donde debían deducir el patrón por sí mismos mediante pistas progresivas.

Análisis Neurobiológico: Los escaneos de resonancia magnética funcional (fRMN) mostraron que los estudiantes del Grupo B presentaron una activación significativamente mayor de la vía dopaminérgica mesocorticolímbica (Área Tegmental Ventral y Núcleo Accumbens) en el momento justo en que "descubrían" la respuesta correcta (el momento ¡*Eureca*!). La liberación súbita de dopamina actuó como una señal neurobiológica de refuerzo, lo que provocó una retención del conocimiento a las 8 semanas un 42% superior en comparación con el Grupo A. Este caso demuestra cómo la modulación química dopaminérgica desencadenada por la curiosidad y la resolución activa fija la información en la memoria a largo plazo de forma sustancialmente más eficaz que la recepción pasiva.

Redes Atencionales y Procesamiento de la Información

Debemos resaltar que, la atención es el mecanismo neurobiológico que actúa como filtro selectivo, priorizando determinados estímulos relevantes mientras inhibe la abundante información irrelevante del entorno. Podemos Analizar cómo Michael Posner postuló la existencia de tres redes atencionales anatómicamente distinguibles, pero funcionalmente integradas:

1. Red de Alerta o Arousal: Encargada de lograr y mantener el estado de vigilancia o preparación para la recepción de estímulos. Depende de las proyecciones noradrenérgicas del locus coeruleus hacia las zonas parietales y frontales.
2. Red de Orientación: Dirige la atención hacia ubicaciones espaciales o características sensoriales específicas. Involucra el córtex parietal posterior, los campos oculares frontales y estructuras subcorticales como el colículo superior y el pulvinar del tálamo.

3. Red Ejecutiva: Supervisa el control voluntario, la resolución de conflictos atencionales, la inhibición de respuestas automáticas y la focalización consciente en tareas complejas. Su base neuroanatómica radica en el córtex prefrontal dorso-lateral y el cingulado anterior.

Caso Práctico de Estudio 2: Colapso de la Red Ejecutiva por Fatiga Atencional en Evaluaciones Prolongadas

Contexto: Un estudio se evaluó el desempeño de 150 estudiantes de posgrado durante un examen de oposición continua de 4 horas de duración. Se monitoreó el rastreo ocular y la actividad electroencefalográfica (EEG) a lo largo de la prueba.

Análisis Neurobiológico: A partir de los 90 minutos de esfuerzo continuo, los registros nos mostraron una disminución progresiva en la amplitud de las ondas beta en el córtex prefrontal dorso-lateral y un aumento en las ondas theta, indicadores de fatiga cognitiva. Las pruebas de rastreo ocular nos revelaron un incremento en las fijaciones irrelevantes y una mayor susceptibilidad a distractores ambientales mínimos.

Observamos cómo, la Red Ejecutiva de la atención, al agotar sus recursos metabólicos (glucosa y reservas neuroquímicas en el córtex cingulado anterior), perdió la capacidad de ejercer el control inhibitorio (*bottom-up* sustituyendo al *top-down*). Como resultado, la tasa de errores en preguntas que requerían razonamiento lógico abstracto se triplicó en la última hora del examen. En este, caso se nos ilustran los límites biológicos de la atención sostenida y respalda la necesidad de estructurar pausas de recuperación cognitiva para mantener la integridad de las redes prefrontales. La atención podemos decir es un recurso efímero, que hay saber administrar.

Estrés, Emoción y su Impacto en el Cerebro que Aprende

A lo largo de la investigación nos hemos podido encontrar como, el estado emocional y afectivo del individuo influye de manera directa la capacidad del sistema nervioso para procesar y retener conocimiento. En vista de esto, podemos decir que las emociones no son

interferencias externas al pensamiento racional, sino señales neurobiológicas organizadoras de la conducta.

El Eje Hipotálamo-Pituitaria-Adrenal (HPA) y el Cortisol

Se encuentra que, ante una amenaza o situación percibida como incontrolable, el hipotálamo libera hormona liberadora de corticotropina (CRH), estimulando a la hipófisis para que secrete ACTH, la cual induce la liberación de cortisol por parte de las glándulas suprarrenales.

- Estrés Agudo Moderado: Una elevación leve y transitoria de cortisol y adrenalina facilita la codificación de la experiencia (alerta adaptativa) e incrementa la saliencia del estímulo.
- Estrés Crónico o Elevado: La presencia continuada y persistente de altos niveles de glucocorticoides en el torrente sanguíneo tiene efectos neurotóxicos directos. En el hipocampo, el exceso de cortisol puede provocar la retracción de espinas dendríticas, inhibe la neurogénesis en el giro dentado y bloquea la inducción de la LTP, traduciéndose en serias dificultades para evocar información previa y almacenar nuevos aprendizajes. Paralelamente, hipertrofia las conexiones amigdalinas, sesgando al cerebro hacia estados persistentes de ansiedad y defensa.

Caso Práctico de Estudio 3: El "Bloqueo en Blanco" por Hiperactivación del Eje HPA bajo Estrés Evaluativo

Contexto: Un estudiante universitario de alto rendimiento académico experimenta episodios recurrentes de "mente en blanco" exclusivamente durante sus exámenes finales orales de Derecho procesal, a pesar de haber demostrado un dominio perfecto de la materia en las sesiones de estudio previas.

Análisis Neurobiológico: Nos encontramos que, la evaluación neuroendocrina realizada inmediatamente antes del examen reveló un pico masivo de cortisol plasmático y de alfa-amilasa salival, detonado por la percepción de amenaza social evaluativa procesada por la amígdala

cerebral. La hiperactivación del eje Hipotálamo-Pituitaria-Adrenal (HPA) inundó los receptores de glucocorticoides (GR) en el hipocampo y el córtex prefrontal dorso-lateral.

Tenemos entonces que, el exceso de cortisol saturó los circuitos de búsqueda e inhibió la transmisión glutamatérgica necesaria para la reconexión con las redes de memoria semántica a largo plazo almacenadas en la neocorteza. Entendemos con esto que, el estudiante no "olvidó" la información, sino que sufrió un bloqueo químico temporal de las vías de acceso y recuperación de la memoria declarativa. La posterior intervención basada en técnicas de respiración diafragmática (ejercicios de respiración) logró reducir la respuesta simpática, permitiendo normalizar los niveles de cortisol y restaurar el acceso cognitivo en evaluaciones posteriores.

Bases Neuroquímicas: Neurotransmisores y Modulación Cognitiva

Se puede apreciar que, el funcionamiento óptimo de las redes cerebrales requeridas para el aprendizaje depende de la delicada orquestación de diversos sistemas neuromoduladores. Mientras que los neurotransmisores aminoacidícos clásicos; el glutamato (principal neurotransmisor excitatorio) y el GABA (ácido gamma- aminobutírico, principal neurotransmisor inhibitorio), sustentan la transmisión de datos rápida y el equilibrio de excitación/inhibición local, los sistemas neuromoduladores aminérgicos y colinérgicos ajustan globalmente el tono computacional del cerebro.

Dopamina y el Sistema de Recompensa

Es fundamental comprender que la dopamina (DA), que se sintetiza principalmente en el área tegmental ventral (ATV) y en la sustancia negra, constituye el neurotransmisor central relacionado con la motivación, la anticipación del placer y el aprendizaje basado en el error de predicción (Schultz, 2016). A través de la vía mesocorticolímbica, la dopamina se proyecta hacia el núcleo accumbens, la amígdala y la corteza prefrontal. En el ámbito de la arquitectura instruccional, se observa que la liberación de dopamina no ocurre de manera masiva durante el consumo de la recompensa en sí, sino que se activa ante la expectativa de la recompensa o en presencia de estímulos novedosos e inesperados.

Se observa que, de acuerdo con el modelo de la señal de error de predicción de la recompensa (RPE, por sus siglas en inglés), cuando un estudiante obtiene un resultado considerablemente superior al esperado (lo que se denomina "error de predicción positivo"), los núcleos dopaminérgicos generan una descarga fásica de dopamina. Esta señal neuroquímica refuerza los circuitos neuronales que condujeron al éxito, fomenta la consolidación de la memoria y aumenta la motivación intrínseca (Pessiglione et al., 2006). Por esta razón, los entornos educativos que incorporan retroalimentación formativa inmediata, curiosidad epistémica, juegos serios y desafíos dosificados de manera óptima aprovechan la dinámica dopaminérgica para mantener el compromiso cognitivo de los estudiantes. Un estudiante motivado, al experimentar la satisfacción derivada de logros menores, puede encontrarse en una posición más favorable para enfrentar desafíos de mayor envergadura en el futuro.

Acetilcolina y Noradrenalina: Sistemas Atencionales

Se ha observado que la acetilcolina (ACh), que se origina en los núcleos del prosencéfalo basal, incluyendo el núcleo basal de Meynert, desempeña un papel fundamental en la modulación de la atención focalizada, la detección de señales sensoriales y la codificación de nueva información (Hasselmo, 2006). A nivel neocortical, la liberación de acetilcolina (ACh) incrementa la ganancia del procesamiento sensorial en relación con el ruido de fondo, lo que permite amplificar la entrada de datos externos e inhibir la interferencia de recuerdos previamente almacenados durante la fase de codificación inicial.

Por su parte, se observa que la noradrenalina (NA), también conocida como norepinefrina, es liberada por el núcleo locus coeruleus en el tronco encefálico y regula los niveles de alerta, vigilancia y activación fisiológica (Aston & Cohen, 2005). La relación entre la activación noradrenérgica y el rendimiento cognitivo se describe mediante una curva en forma de "U invertida", la cual es conocida como la ley de Yerkes-Dodson. Niveles excesivamente bajos de noradrenalina generan somnolencia, apatía y falta de concentración. Por otro lado, niveles óptimos inducen un estado de alerta relajada que favorece el procesamiento ejecutivo. En contraste, niveles excesivos de noradrenalina, que pueden ser provocados por una hiperactivación del estrés,

saturan los receptores prefrontales, lo que resulta en ansiedad, desorganización cognitiva e incapacidad para concentrarse.

Serotonina, GABA y Glutamato: Homeostasis y Regulación Emocional

Es importante señalar que la serotonina (5-HT), que se sintetiza en los núcleos del rafe, desempeña un papel en la modulación del estado de ánimo, la paciencia, la tolerancia a la frustración y la toma de decisiones a largo plazo. Un tono serotoninérgico equilibrado favorece la resiliencia académica frente al fracaso e inhibe la impulsividad (Crockett et al., 2008). De igual manera, la interacción dinámica entre el glutamato y el GABA garantiza la precisión computacional del cerebro. Se observa que el GABA previene la hiperexcitabilidad neuronal y sincroniza las oscilaciones de banda gamma, que oscilan entre 30 y 80 Hz, las cuales son fundamentales para la integración de características sensoriales y la atención ejecutiva coordinada (Lisman & Jensen, 2013).

Neurobiología de los Procesos de Memoria y Consolidación

Para abordar el proceso neurobiológico del aprendizaje, es fundamental comprender que el término "aprender" conlleva la codificación, el almacenamiento y la recuperación de información o habilidades. No obstante, la memoria no debe considerarse un sistema monolítico, sino más bien una constelación de sistemas funcionales interdependientes, sustentados por redes neuroanatómicas diferenciadas (Baddeley, 2012).

Taxonomía de los Sistemas de Memoria

Si se evalúa desde la taxonomía neurocognitiva establecida por Squire (2004), la memoria humana se clasifica fundamentalmente en dos categorías operativas:

1. **Memoria Declarativa o Explícita**: Requiere una invocación consciente y deliberada. Se clasifica, a su vez, en memoria episódica, que se refiere a los recuerdos de experiencias personales contextualizadas en un espacio y un tiempo determinados, y memoria semántica, que abarca el conocimiento conceptual, los hechos, el vocabulario y los principios abstractos desprovistos de contexto. Como se ha examinado anteriormen-

te, el sistema hipocámpico-diencefálico y las áreas de asociación neocorticales son esenciales para el procesamiento correspondiente.

2. Memoria No Declarativa o Implícita: Se manifiesta de forma automática mediante la ejecución conductual, sin requerir acceso consciente. Incluye la memoria procedimental, que abarca las destrezas motoras y cognitivas, así como los automatismos; el *priming*, que se refiere a la facilitación perceptual; y el condicionamiento clásico. Depende fundamentalmente de los ganglios basales, del cerebelo y de la amígdala.

Se observa que por encima de estos sistemas de almacenamiento a largo plazo se encuentra la Memoria de Trabajo (MT), también conocida como memoria operativa, la cual fue conceptualizada inicialmente por Baddeley y Hitch en 1974. Se comprende, por lo tanto, que la memoria de trabajo no constituye un simple depósito pasivo de información, sino que se trata de un sistema atencional de capacidad limitada, encargado del mantenimiento y la manipulación activa de la información durante períodos breves, que se extienden por segundos. La memoria de trabajo se compone del bucle fonológico, que se encarga del procesamiento verbal; la agenda visoespacial, responsable del procesamiento de imágenes y coordenadas espaciales; el retén episódico, que facilita la integración multimodal; y el ejecutivo central, situado en la corteza prefrontal dorsolateral, cuya función es la supervisión y asignación de recursos atencionales.

Se establece que la capacidad de la memoria de trabajo es considerablemente limitada; comúnmente expresada en la regla de 7 ± 2 elementos, según Miller (1956), y posteriormente redefinida en aproximadamente 4 bloques conceptuales complejos por Cowan (2001). Se comprende que la sobrecarga de la memoria de trabajo representa una de las principales barreras para el aprendizaje. La Teoría de la Carga Cognitiva, propuesta por Sweller en 1988, establece fundamentos neurobiológicos que subrayan la importancia de estructurar el material pedagógico de manera que se minimice la carga cognitiva extrínseca, la cual se origina de un diseño instruccional inadecuado. Este enfoque tiene como objetivo optimizar la carga cognitiva pertinente, conocida como "*germane load*", que se dirige a la construcción y automatización de esquemas mentales en la memoria a largo plazo.

Consolidación de la Memoria y el Rol del Sueño

Ante nosotros, se presenta la transformación de una huella de memoria, caracterizada por su naturaleza lábil e inestable, en una representación duradera y resistente a la interferencia, proceso que se denomina consolidación. Este proceso se desarrolla en dos niveles temporales: la consolidación sináptica, que tiene lugar en un intervalo de minutos a horas mediante la síntesis proteica asociada a la potenciación a largo plazo (LTP), y la consolidación de sistemas, que se extiende a lo largo de días, semanas o meses (Frankland & Bontempi, 2005).

Se puede observar que, durante la consolidación de sistemas, se lleva a cabo una reorganización gradual de las redes neuronales. Los recuerdos que inicialmente dependen del hipocampo experimentan un proceso de transferencia progresiva hacia la neocorteza. En este fenómeno, el sueño cumple una función neurobiológica que resulta insustituible (Diekelmann & Born, 2010). Se ha observado que durante las fases de sueño profundo de ondas lentas (NREM - Movimiento Ocular No Rápido), se registran oscilaciones lentas en la corteza cerebral, husos de sueño provenientes del tálamo y ráfagas de ondas agudas de alta frecuencia en el hipocampo. Esta triada electrofisiológica representa la "reactivación o reinterpretación off-line" de los patrones de disparo neuronal que fueron codificados durante el estado de vigilia.

Se nos presenta que, a través de este breve diálogo nocturno en el hipocampo, los contenidos académicos adquiridos durante el día se integran en las redes semánticas neocorticales preexistentes. Posteriormente, durante el sueño de movimientos oculares rápidos (REM), las memorias emocionales y procedimentales se reequilibran y consolidan. Adicionalmente, el sistema glinfático aumenta su actividad durante el sueño, facilitando la eliminación de residuos metabólicos neurotóxicos, tales como la proteína beta-amiloide, que se acumulan en el espacio intersticial cerebral durante el estado de vigilia (Xie et al., 2013). Es importante señalar que la privación crónica de sueño en los estudiantes afecta negativamente la capacidad de consolidación hipocámpica, deteriora el control prefrontal y provoca un déficit significativo en la capacidad de atención. El sueño no debe considerarse como un tiempo improductivo; es esencial para la recuperación del organismo y el adecuado funcionamiento de las funciones cognitivas básicas.

El sueño no es un estado pasivo, sino un proceso dinámico de reorganización neuronal:

- Sueño de Ondas Lentas (NREM / Fases N2 y N3): Durante el sueño profundo, se manifiestan oscilaciones de baja frecuencia, conocidas como ondas delta, así como husos de sueño y complejos K. En esta fase, se establece un diálogo tripartito entre el hipocampo, el tálamo y la neocorteza. Las representaciones recientemente adquiridas se reactivan de manera silenciosa en el hipocampo y se transfieren de forma progresiva a las áreas neocorticales, lo que corresponde al proceso de consolidación de la memoria declarativa.
- Sueño REM (Movimientos Oculares Rápidos): Se caracteriza por una elevada actividad desincronizada y la presencia de sueños vívidos. El sueño REM desempeña un papel fundamental en la consolidación de la memoria procedimental, la integración de redes asociativas complejas, la creatividad y la regulación emocional.
- Homeostasis Sináptica: Durante la vigilia, la continua adquisición de información satura el espacio sináptico de la corteza cerebral. El sueño facilita una disminución general de la fuerza sináptica, conforme a la "hipótesis de la homeostasis sináptica" propuesta por Tononi y Cirelli. Este proceso permite la preservación de aquellas conexiones que han sido explícitamente consolidadas, al tiempo que restablece la capacidad del cerebro para continuar con el aprendizaje en el día siguiente.

Implicaciones Pedagógicas y Aplicaciones Directas en el Aula

Se plantea que la aplicación rigurosa de los principios neurobiológicos en la práctica educativa permite derivar estrategias científicamente validadas que optimizan la eficacia del aprendizaje en contextos escolares y universitarios.

Práctica de Recuperación y Espaciamiento Intercalado

Es necesario considerar que uno de los hallazgos más significativos en la psicología cognitiva de enfoque neurobiológico es el efecto de evaluación o práctica de recuperación (***Retrieval Practice Effect***) (Roediger & Karpicke, 2006). La intención de evocar de manera deliberada la

información almacenada en la memoria, mediante el uso de cuestionarios breves, la elaboración de mapas conceptuales de memoria o la explicación a compañeros, modifica la huella de memoria de forma significativamente más efectiva que la simple relectura pasiva o el subrayado. Desde una perspectiva sináptica, la evocación activa reabre la fase de reconsolidación, reclutando las redes prefrontales e hipocámpicas con el propósito de reorganizar el engrama y establecer vías de acceso alternativas que mejoran la retención a largo plazo.

De igual manera, es importante señalar que el efecto del espaciamiento demuestra que la distribución de las sesiones de estudio a lo largo del tiempo, alternando intervalos de descanso o cambios en la atención, resulta significativamente más efectiva que el estudio masivo o hiperconcentrado (Cepeda et al., 2006). En este contexto, el espaciamiento optimiza la dinámica de la práctica distribuida y la consolidación durante el período de descanso, lo que permite que las sinapsis se reconfiguren a nivel molecular entre las sesiones. Un estudiante que realice pausas breves entre períodos de estudio puede obtener resultados más favorables en comparación con una sesión prolongada e intensa de tres horas. Es posible observar que, al combinar el espaciamiento con la práctica intercalada, es decir, al alternar diferentes tipos de problemas o temas en una misma sesión, se estimula al cerebro a ejercitar la discriminación de patrones y el control ejecutivo, lo que contribuye al fortalecimiento de la flexibilidad procedimental.

Regulación Emocional y Ambientes Seguros de Aprendizaje

En este contexto, es fundamental comprender que el estrés agudo descontrolado, junto con los niveles elevados de cortisol y catecolaminas, inactiva funcionalmente la corteza prefrontal dorsolateral y provoca un deterioro en la memoria de trabajo (Arnsten, 2009). Por el contrario, la creación de entornos de aprendizaje que se caracterizan por la seguridad psicológica, la consideración del error como una oportunidad explícita de aprendizaje (error de predicción positivo), el apoyo social y la motivación del docente favorece la liberación equilibrada de oxitocina, dopamina y serotonina, optimizando así las condiciones neuroquímicas necesarias para la plasticidad sináptica y la exploración intelectual profunda. Un estudiante puede mejorar su desempeño académico si percibe el aula como un entorno seguro para el aprendizaje, en el cual

no se consideren las preguntas como inapropiadas, en lugar de experimentarlo como un espacio de interrogación en el que incluso el más mínimo error pueda tener consecuencias negativas.

Optimización Atencional y Pausas Activas

Si se considera la arquitectura de las redes atencionales y el agotamiento progresivo de la memoria de trabajo, la instrucción continua unidireccional y prolongada, como las lecciones magistrales que carecen de interacción y que superan los 20 a 30 minutos, se revela como altamente ineficiente. En contraposición, la implementación de pausas activas, ya sean cognitivas o físicas, a través de micro-ejercicios aeróbicos o momentos de reflexión introspectiva, que implican la activación consciente de la Red por Defecto, reactivan el sistema noradrenérgico y colinérgico. Esto incrementa el flujo sanguíneo cerebral, promueve la secreción de BDNF y restaura los recursos atencionales de la Red de Control Ejecutivo para los bloques instruccionales posteriores (Pareja, 2014). Si un estudiante de medicina dedica dos horas de estudio, distribuyendo este tiempo en bloques de 30 minutos, en los cuales destina 10 minutos a pausas para caminar sin el uso de su teléfono móvil, su concentración y capacidad para retener información mejoran de manera notable.

Bases Celulares y Moleculares de la Plasticidad Sináptica

El aprendizaje puede ser comprendido como un proceso neurobiológico dinámico, fundamentado en la capacidad del sistema nervioso central para reorganizar su estructura, conectividad y funcionalidad en respuesta a la experiencia y al entrenamiento continuo. En este fenómeno, conocido como "neuroplasticidad", se observa que actúa mediante modificaciones microestructurales en la eficacia de la transmisión sináptica. Se puede observar que las modificaciones estructurales y funcionales no se producen de manera homogénea en toda la corteza cerebral, sino que se concentran en redes neuronales especializadas que integran procesos sensoriales, asociativos y de control ejecutivo.

Desde una perspectiva celular, se observa que el mecanismo fundamental para la consolidación de la memoria a largo plazo es la Potenciación a Largo Plazo (LTP, por sus siglas en inglés, ***Long-***

Term Potentiation). La potenciación a largo plazo (LTP) se define como un aumento sostenido en la fuerza de la señal sináptica que ocurre tras una estimulación de alta frecuencia. En las espinas dendríticas de los somas piramidales localizados en las áreas CA1 y CA3 del hipocampo, la activación prolongada provoca la liberación de glutamato en el espacio sináptico. El glutamato se une inicialmente a los receptores AMPA (ácido α-amino-3-hidroxi-5-metilo-4-isoxazolpropiónico), lo que facilita la entrada de iones de sodio (Na+) y provoca la despolarización de la membrana postsináptica.

En este proceso de despolarización, se produce el desplazamiento del tapón de magnesio (Mg2+), el cual obstruye el canal iónico del receptor NMDA (N-metil-D-aspartato). La apertura del canal NMDA facilita un flujo significativo de cationes de calcio (Ca2+) hacia el medio intracelular. Se reconoce que la concentración intracelular de calcio desempeña un papel fundamental como segundo mensajero, activando las proteínquinasas dependientes de calcio/calmodulina (CaMKII) y la proteína cinasa C (PKC). Estas enzimas inducen la fosforilación de los receptores AMPA preexistentes, lo que incrementa su conductancia iónica, y facilitan la exocitosis de nuevos receptores AMPA hacia la densidad postsináptica. A través de este proceso, se logra el almacenamiento de recuerdos a largo plazo, lo que permite recordar desde una clase del mes anterior hasta el primer viaje en pareja. Cada recuerdo se archiva y se clasifica junto con las sanciones y emociones que se asocian a dicha experiencia.

Consolidación Molecular e Inducción de la Expresión Génica

Es importante señalar que la fase temprana de la potenciación a largo plazo (E-LTP) depende de modificaciones proteicas preexistentes y tiene una duración de varias horas. En contraste, la fase tardía de la potenciación a largo plazo (L-LTP) es esencial para la formación de la memoria permanente y requiere tanto la síntesis de nuevas proteínas como la transcripción génica. Dos etapas del mismo proceso que son fundamentales para la conservación de recuerdos a largo plazo. La elevación sostenida de Ca2+ activa la cascada del adenilato ciclasa, lo que resulta en un aumento del monofosfato de adenosina cíclico (cAMP) y en la activación de la proteína quinasa A (PKA).

La PKA se traslada al núcleo celular, donde lleva a cabo la fosforilación del factor de transcripción CREB (proteína unida al elemento de respuesta al AMP cíclico). De este modo, se puede observar que la activación de CREB favorece la transcripción de genes de respuesta inmediata, entre los cuales se destaca el Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF, por sus siglas en inglés). El factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) promueve la remodelación del citoesqueleto de actina en las espinas dendríticas, lo que a su vez estimula la sinaptogénesis y la arborización dendrítica de manera sostenida. Asimismo, es importante señalar que la Depresión a Largo Plazo (LTD, por sus siglas en inglés) funciona como un mecanismo complementario de "poda" sináptica, el cual se encarga de eliminar conexiones ruidosas o irrelevantes con el fin de optimizar la eficiencia de la red neuronal. El cerebro, mediante este proceso, busca optimizar el uso de sus recursos y maximizar su eficiencia.

Sistemas Neuroquímicos y Redes Neuroanatómicas del Aprendizaje

Se puede afirmar que el aprendizaje eficiente requiere la interacción coordinada de diversos circuitos subcorticales y corticales. En consideración a lo anterior, la corteza prefrontal (CPF), que se divide funcionalmente en las regiones dorsolateral, ventromedial y orbitofrontal, desempeña un papel fundamental como la sede central del control ejecutivo, la atención sostenida, la planificación estratégica y la memoria de trabajo. No obstante, la corteza prefrontal (CPF) no funciona de manera aislada; se establecen proyecciones bidireccionales con el sistema límbico, en particular con el complejo amigdalino y la formación hipocampal.

Se observa que el hipocampo desempeña un papel fundamental en la codificación inicial y en la integración espaciotemporal de las memorias declarativas, tanto episodicas como semánticas. Este proceso implica la transferencia gradual de las huellas engramáticas hacia las áreas de asociación neocortical durante los períodos de descanso y sueño profundo, específicamente en la fase NREM/SWS. Es posible observar que, durante el proceso de consolidación de la memoria, se presentan ondas de cortejo de alta frecuencia (*sharp-wave ripples*) que reactivan los patrones neuronales organizados durante el aprendizaje diurno. En otras palabras, durante las horas de sueño se revisa lo aprendido durante el día y se almacena en la memoria a largo plazo.

Modulación Neuromoduladora: Dopamina, Noradrenalina y Acetilcolina

Se ha determinado que la eficacia en la codificación de la información está significativamente influenciada por el tono neuromodulador del cerebro. El sistema dopaminérgico, que se origina en el área tegmental ventral (ATV) y en la sustancia negra, realiza proyecciones hacia el núcleo accumbens y la corteza prefrontal (CPF) mediante las vías mesolímbica y mesocortical. En este contexto, la dopamina se encarga de codificar el error de predicción relacionado con la recompensa. Cuando un estímulo educativo o un objetivo se percibe con una novedad o relevancia que supera las expectativas, se genera un aumento fásico de dopamina que refuerza el comportamiento y facilita la potenciación a largo plazo (LTP). Por esta razón, se observa una mayor motivación y facilidad para aprender nuevos temas que resultan de interés, como un nuevo idioma.

En el otro extremo, se encuentra la noradrenalina, que es sintetizada en el locus *coeruleus* y desempeña un papel fundamental en la regulación del estado de alerta y en la focalización de la atención. Un nivel intermedio de estimulación noradrenérgica optimiza la relación señal-ruido en la corteza prefrontal, mientras que niveles extremadamente bajos, que se manifiestan como apatía, o niveles excesivamente altos, que se presentan como estrés severo o ansiedad, deterioran el rendimiento cognitivo, de acuerdo con la ley clásica de Yerkes-Dodson. De igual manera, la acetilcolina, originada en el núcleo basal de Meynert, regula la plasticidad receptiva y la selección de información pertinente durante el procesamiento atencional de alto nivel.

2

educación

PROCESOS COGNITIVOS Y AFECTIVOS

CAPÍTULO 2.

PROCESOS COGNITIVOS Y AFECTIVOS

Anita Karina Serrano Castro, María Aidis Goyes González, Jerry Maruan Medina Schaffry, Nohely Lisbeth Guevara Guerrero, Katherine Susana Córdova Burgos, Erika Germania Herrera Irazábal y Margareth Estefania Mera Malavé.

Introducción y Marco Integrador Cognitivo-Afectivo

La comprensión actual del aprendizaje en el ámbito escolar y universitario ha superado de manera definitiva la dicotomía cartesiana que diferenciaba la razón de la emoción. Durante varias décadas, se ha observado que los modelos instruccionales de enfoque conductista y cognitivista clásico conceptualizaron la mente humana como un sistema de procesamiento de información comparable al de una computadora digital. En este contexto, la cognición se desarrollaba en un entorno aséptico, mientras que las emociones eran consideradas interferencias indeseables o vestigios del desarrollo filogenético que debían ser suprimidos, lo cual dista considerablemente de la realidad. No obstante, los avances acumulados en neurociencia cognitiva, psicofisiología y neuropsicología del desarrollo evidencian que la cognición y la afectividad no son entidades independientes, sino dimensiones intrínsecamente interrelacionadas en la estructura funcional del cerebro humano (Damasio, 2018; Immordino, 2016). En el cerebro no existen "departamentos separados"; la razón y la emoción son procesos íntimamente relacionados que influyen en nuestra percepción y aprendizaje del entorno.

El aprendizaje académico puede definirse como un fenómeno biológico y social de gran complejidad que implica la modificación continua de redes neuronales especializadas. Toda entrada sensorial que se recibe en el encéfalo es sometida a un proceso de filtrado, evaluación y codificación de manera simultánea por circuitos cognitivos, tales como la corteza prefrontal y el hipocampo, así como por estructuras del sistema límbico, incluyendo el complejo amigdalino, la ínsula y el giro cingulado anterior. En el contexto del aula, se puede observar que las emociones desempeñan un papel fundamental como el «timón organísmico», el cual dirige la atención, establece prioridades en el procesamiento de estímulos, regula la velocidad de

consolidación de la memoria y determina la perseverancia frente a las dificultades académicas (Pekrun, 2019). Por esta razón, no es posible abordar el estudio del aula sin integrar de manera exhaustiva los procesos cognitivos superiores y la dinámica afectivo-motivacional, lo cual representa una limitación epistemológica que distorsiona la práctica pedagógica.

En el presente capítulo, se llevará a cabo un análisis detallado de la interacción neuropsicológica entre las funciones ejecutivas, los sistemas atencionales, las diferentes tipologías de memoria, las variables emocionales, la carga cognitiva y las dinámicas socioculturales presentes en el aula. Con el presente trabajo, se busca proporcionar un marco conceptual integral y de elevado rigor científico que facilite a educadores e investigadores la comprensión no solo de los mecanismos mediante los cuales el cerebro procesa y retiene la información, sino también de cómo factores como el clima emocional, el estrés, la motivación intrínseca y la regulación metacognitiva influyen en el éxito o el fracaso del proceso de aprendizaje.

Redes Atencionales y Sistemas de Memoria en el Procesamiento Escolar

Partimos del entendimiento de que, para que la información presentada en un entorno instruccional se convierta en conocimiento duradero, es necesario que, en primer lugar, supere el filtro de la atención. Sin la debida atención, resulta ineficaz lograr un desempeño óptimo en el aprendizaje de un estudiante. Al analizarlo desde esta perspectiva, es fundamental comprender que la atención no constituye un constructo monolítico, sino un conjunto articulado de redes neuroanatómicas especializadas que se encargan de seleccionar, focalizar y mantener el procesamiento mental en estímulos relevantes, al tiempo que inhiben distracciones tanto internas como externas (Posner & Rothbart, 2007). En consideración a lo anterior, se observa que el modelo neurocognitivo propuesto por Posner identifica tres redes atencionales fundamentales: la red de alerta o vigilancia, la red de orientación y la red ejecutiva de control.

Circuito Neuroanatómico de las Redes Atencionales

Se presenta a la red de alerta, sustentada por proyecciones noradrenérgicas desde el locus coeruleus hacia las cortezas parietal y frontal, la cual mantiene el estado de preparación to-

no-fásico necesario para la recepción de información. La red de orientación, que incluye la participación de los colículos superiores, el núcleo pulvinar del tálamo y la unión temporoparietal, facilita la dirección del foco atencional hacia ubicaciones específicas en el espacio sensorial. Por otro lado, la red de control ejecutivo, ubicada en la corteza prefrontal dorsolateral y en el giro cingulado anterior, tiene la responsabilidad de resolver conflictos entre respuestas competidoras, detectar errores, supervisar la ejecución y mantener la atención compleja durante tareas académicas prolongadas (Posner & Rothbart, 2007).

Al evaluar la atención humana desde la perspectiva de la enseñanza, se pueden identificar limitaciones estructurales en cuanto a su duración e intensidad. La capacidad de atención auditiva sostenida en adultos y adolescentes puede variar entre 15 y 20 minutos antes de que se produzca una disminución fásica natural. En este contexto, la intención de impartir sesiones magistrales monótonas de 90 minutos contradice la fisiología de las redes neuronales, lo que provoca fatiga cognitiva y saturación del filtro atencional. En consideración de lo anterior, se concluye que, para optimizar la retención, el diseño instruccional debe integrar variaciones en el ritmo, estímulos innovadores y dinámicas interactivas que reactivan de manera periódica las descargas de noradrenalina del locus coeruleus. Una clase en la que los quince minutos de explicación faciliten la interacción de los estudiantes, la formulación de preguntas y el análisis de ideas relacionadas con el tema en cuestión, permitiría mantener el interés del grupo y hacer el aprendizaje más dinámico.

Arquitectura de la Memoria Humana: De la Codificación a la Consolidación Neocortical

Se establece que, una vez que la información es procesada de manera selectiva, esta se incorpora al sistema de memoria humana. En la taxonomía neuropsicológica clásica, la memoria se clasifica en dos dominios principales: la memoria no declarativa o implícita, que incluye la memoria procedimental, el primado y el condicionamiento, y la memoria declarativa o explícita, que se subdivide en memoria semántica y episódica (Squire & Dede, 2015). En el

contexto universitario y escolar, se evidencia que la adquisición de conceptos, teorías y marcos analíticos se basa principalmente en la memoria declarativa.

Se ha determinado que el paso crítico entre la atención y la memoria a largo plazo está constituido por la memoria de trabajo, también conocida como memoria operativa. De acuerdo con el modelo multicomponente propuesto por Baddeley en 2012, la "memoria de trabajo" se compone de:

1. El Poder Ejecutivo Central: Sistema supramodal de capacidad limitada que se encarga de supervisar la atención, coordinar los subsistemas subordinados y activar los esquemas de la memoria a largo plazo.
2. El Bucle Fonológico: Responsable de la retención y revisión de información verbal y acústica a través de un almacén fonológico y un proceso de articulación subvocal.
3. La Agenda Visuoespacial: Se especializa en la manipulación de imágenes mentales, así como en la gestión de formas, colores y coordenadas espaciales.
4. El Buffer Episódico: Almacén de capacidad restringida que integra información del bucle fonológico, la agenda visuoespacial y la memoria a largo plazo, formando representaciones coherentes y cronológicas.

En este contexto, se puede observar que la memoria de trabajo presenta una capacidad considerablemente limitada, tanto en términos de la cantidad de elementos que puede retener como en la duración de su conservación sin revisión. Si la información no se procesa de manera activa a través de estrategias de elaboración semántica o de práctica de recuperación, su calidad se deteriora con rapidez. Por esta razón, los repasos periódicos de un tema previamente estudiado son útiles como refuerzo para consolidar lo aprendido en la memoria. La consolidación de las huellas de memoria a largo plazo, conocidas como engramas, requiere la intervención del circuito hipocampal y su posterior transferencia a través del diálogo cortico-hipocampal hacia las áreas neocorticales asociativas. Este proceso se intensifica durante las fases de sueño de ondas lentas (NREM) y el sueño REM (Squire & Dede, 2015).

Las Funciones Ejecutivas como Pilar del Rendimiento Académico Superior

Es fundamental comprender que las funciones ejecutivas (FE) constituyen el conjunto de procesos cognitivos de alto nivel que permiten a los individuos autorregular su conducta, establecer metas, planificar acciones, resolver problemas complejos y adaptarse de manera flexible a entornos cambiantes (Diamond, 2013). En este sentido, se puede observar cómo esta estructura actúa como el "director de orquesta" del cerebro humano, teniendo su sustrato neurobiológico fundamental en la corteza prefrontal (CPF) y en sus densas conexiones subcorticales con los ganglios basales y el tálamo.

Los Tres Núcleos Fundamentales de las Funciones Ejecutivas

En la literatura neuropsicológica se evidencia la existencia de tres funciones ejecutivas fundamentales o de primer orden, a partir de las cuales se desarrollan competencias más complejas, tales como el razonamiento abstracto, la planificación y la resolución de problemas (Diamond, 2013).

A. Control inhibitorio: Capacidad para controlar o inhibir respuestas automáticas, impulsos, distracciones o hábitos arraigados con el fin de elegir una conducta orientada hacia el logro de objetivos. Incorpora tanto la inhibición conductual, que se refiere al autocontrol de los impulsos, como la inhibición cognitiva, que implica la resistencia a la interferencia atencional. Se puede observar que, en el aula, un control inhibitorio sólido permite al estudiante mantener la concentración ante las notificaciones del teléfono móvil y resistir la tentación de responder de manera apresurada sin haber analizado previamente un problema.

B. Flexibilidad cognitiva: Capacidad para modificar la perspectiva, ajustar el enfoque atencional ante normas cambiantes o rectificar errores cuando una estrategia anterior resulta ineficaz. En este contexto, la flexibilidad cognitiva se presenta como una solución frente a la rigidez mental. Esta capacidad permite considerar perspectivas alternativas, aprender de los errores y reestructurar conceptos teóricos previos cuando se dispone de nueva evidencia empírica.

C. Actualización en la Memoria de Trabajo: Se define como la capacidad de supervisar, evaluar y reemplazar de manera activa el contenido almacenado en la memoria de trabajo, eliminando datos obsoletos e integrando información pertinente para la tarea que se está llevando a cabo.

Principio Neurodesarrollativo de la Corteza Prefrontal:

Es fundamental comprender que la corteza prefrontal representa la última área del cerebro humano en completar el proceso de mielinización y maduración funcional, el cual se prolonga hasta aproximadamente los 25 años de edad. Por esta razón, se observa que los estudiantes de educación secundaria y universitaria se encuentran en una etapa crítica de desarrollo de la corteza prefrontal, en la cual las exigencias académicas elevadas deben ir acompañadas de un soporte pedagógico que facilite la planificación y la autorregulación. Comprender esta realidad nos permite elaborar un plan de acción pedagógica que facilite la transición de esta etapa al alumnado.

Metacognición y Autorregulación del Aprendizaje

Un componente esencial de las funciones ejecutivas en el ámbito educativo es la metacognición, la cual se define como el conocimiento y control que una persona ejerce sobre sus propios procesos cognitivos (Flavell, 1979). La metacognición comprende dos dimensiones interdependientes: el conocimiento metacognitivo, que se refiere a la comprensión de qué, cómo y cuándo aplicar determinadas estrategias, y la regulación metacognitiva, que abarca la planificación, el monitoreo en tiempo real y la evaluación del rendimiento. En este contexto, se observa que los estudiantes con alta capacidad metacognitiva presentan un aprendizaje autorregulado. Antes de comenzar una tarea académica, se procede a analizar las exigencias del problema, se evalúan los recursos disponibles y se seleccionan estrategias específicas que faciliten la obtención de un resultado favorable. Durante la ejecución, se monitorea el nivel de comprensión y se identifican inconsistencias. Al finalizar, se evalúa la eficacia del producto obtenido y se ajusta el enfoque para situaciones futuras (Zimmerman, 2002).

La instrucción explícita de estrategias metacognitivas, tales como el modelado en voz alta por parte del docente o la utilización de guías de autoevaluación, genera incrementos significativos en el rendimiento académico y en la autonomía intelectual del estudiante. Es fundamental señalar que una estrategia adecuada en el proceso de aprendizaje es esencial para lograr el éxito en la enseñanza académica.

La Afectividad en el Aula: Neurobiología Emocional, Estrés y Clima de Aprendizaje

Es fundamental comprender que el cerebro humano no adquiere conocimiento en un contexto emocional aislado. Por lo tanto, se puede afirmar que las emociones constituyen respuestas neurofisiológicas y multidimensionales a estímulos internos o externos que son evaluados como relevantes para la supervivencia o el bienestar del individuo. En el ámbito educativo, las emociones no solo influyen en la experiencia subjetiva, sino que también determinan la química cerebral que puede facilitar o dificultar, según su manejo, la plasticidad sináptica y la retención semántica (Pekrun, 2019).

Anatomía de la Respuesta Emocional: El Eje HPA y la Amígdala

El sistema límbico puede definirse como el núcleo encargado del procesamiento emocional en el encéfalo. En este contexto, el complejo amigdalino otorga una valencia afectiva a los estímulos sensoriales. En otras palabras, cuando un estudiante considera el aula como un entorno amenazante, caracterizado por evaluaciones punitivas, humillaciones públicas o temor al fracaso, la amígdala activa una respuesta fisiológica de alarma. Esta respuesta activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA), lo que promueve la liberación sistémica de catecolaminas, como la adrenalina y la noradrenalina, así como de glucocorticoides, siendo el cortisol el más relevante.

En un nivel moderado e intermitente de activación emocional, conocido como eustrés, se favorece el estado de alerta y el rendimiento, de acuerdo con la ley de Yerkes-Dodson. Sin embargo, la activación crónica del eje HPA, que se asocia con el distrés, tiene efectos perjudiciales significativos sobre el cerebro de la persona que se encuentra en proceso de aprendizaje. En

este contexto, se puede observar que las concentraciones elevadas y prolongadas de cortisol en el líquido cefalorraquídeo afectan negativamente las dendritas de las neuronas piramidales del hipocampo, lo que inhibe la neurogénesis en la zona subgranular del giro dentado y bloquea los mecanismos moleculares de la Potenciación a Largo Plazo (LTP) (Purves et al., 2001).

Asimismo, el estrés agudo activa los circuitos subcorticales relacionados con la supervivencia y deprime la función de la corteza prefrontal dorsolateral, lo que resulta en un bloqueo mental, dificultad para acceder a la memoria de trabajo y una disminución en el control inhibitorio. Un estudiante que experimenta estrés durante un prolongado período puede ver afectado su rendimiento académico; esto no se debe a la falta de compromiso, sino a la fatiga a la que está sometiendo a su cerebro.

La Taxonomía de las Emociones Académicas

En el transcurso de la investigación sobre las emociones y su impacto en el aprendizaje, se ha identificado que Pekrun (2019) desarrolló la Teoría del Valor del Control de las Emociones de Logro. Esta teoría clasifica las emociones experimentadas en contextos educativos según su valencia, ya sea positiva o negativa, y su nivel de activación, que puede ser activadora o desactivadora. En este contexto, la interacción de estas dimensiones determina su influencia en el proceso de aprendizaje.

1. Emociones Positivas que Promueven la Acción (Satisfacción, Esperanza, Orgullo): Se centran en la tarea, fomentan la motivación intrínseca, estimulan la utilización de estrategias de elaboración semántica profundas y refuerzan la memoria a largo plazo. Es posible que se presente la situación de lograr aprobar un examen que se consideraba difícil de superar, por ejemplo.
2. Emociones Positivas Desactivadoras (Relajación, Alivio): Aunque reducen el estrés, pueden disminuir el procesamiento activo inmediato si se experimentan de forma prematura. Una caminata luego de jornada estudio para despejar la mente.
3. Emociones Negativas Activadoras (Ansiedad, Vergüenza, Ira): Consumen recursos valiosos de la memoria de trabajo al desviar la atención hacia pensamientos auto-

máticos irrelevantes (Ej. "voy a reprobar", "mis compañeros se van a burlar"). Aunque en ocasiones vemos que pueden motivar el esfuerzo para evitar el fracaso, su costo cognitivo y neurobiológico es sumamente elevado y no lo vale en el largo plazo.

4. **Emociones Negativas Desactivadoras (Aburrimiento, Desesperanza)**: Representan el estado más perjudicial para el aprendizaje. Reducen drásticamente la motivación, provocan desconexión atencional, suprimen las descargas dopaminérgicas y conducen a la deserción académica. Un estudiante cansado en una clase monologa que no lo motiva, ni lo desafía pierde gradualmente el interés en el momento.

Tabla 2.

Clasificación de las Emociones Académicas y su Efecto Neurocognitivo.

Valencia / Activación	Emociones Típicas	Impacto en Memoria de Trabajo	Efecto en la Motivación y Estrategias
Positiva Activadora	Disfrute del aprendizaje, curiosidad, orgullo.	Optimiza la capacidad del ejecutivo central y la flexibilidad.	Promueve motivación intrínseca y procesamiento profundo.
Positiva Desactivadora	Relajación post-examen, tranquilidad.	Mantiene la memoria sin sobrecarga emocional.	Favorece la consolidación, pero reduce la iniciativa inmediata.
Negativa Activadora	Ansiedad ante los exámenes, vergüenza, ira.	Satura la memoria de trabajo con rumia e intrusiones.	Motivación extrínseca de evitación; uso de estrategias superficiales.
Negativa Desactivadora	Aburrimiento, desesperanza académica.	Inhibe la activación de redes atencionales y ejecutivas.	Anula la motivación; conduce al abandono y procesamiento nulo.

Nota. Adaptado de Pekrun (2019)

Teoría de la Carga Cognitiva y Diseño Instruccional Adaptativo

Se puede señalar que uno de los marcos teóricos más influyentes para establecer una conexión entre la arquitectura de la mente y la práctica pedagógica es la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC), desarrollada por John Sweller (2019). En este contexto, se observa que la Terapia Cognitivo-Conductual (TCC) se fundamenta en el supuesto neuropsicológico de que la memoria de trabajo representa un factor limitante en el proceso de aprendizaje humano, dado que presenta capacidades y duración restringidas, mientras que la memoria a largo plazo no presenta límites prácticos conocidos. El objetivo del diseño instruccional consiste en estructurar la presentación de la información con el fin de prevenir la sobrecarga del ejecutivo central y facilitar la construcción y automatización de esquemas mentales.

Las Tres Dimensiones de la Carga Cognitiva

La TCC nos postula que la carga cognitiva total experimentada por un estudiante durante una tarea es la suma de tres componentes independientes:

1. Carga cognitiva intrínseca: Se refiere a la dificultad inherente al contenido de estudio, la cual está determinada por la complejidad de los conceptos y el grado de interactividad de los elementos, es decir, la cantidad de elementos que deben ser procesados simultáneamente en la memoria de trabajo. En este contexto, se observa que la adquisición del vocabulario de un idioma extranjero presenta un nivel bajo de interactividad entre los elementos, mientras que la comprensión de la sintaxis o la resolución de un problema de termodinámica implica un nivel elevado de interactividad entre los elementos. La carga intrínseca no puede ser modificada sin simplificar el contenido; sin embargo, es posible gestionarla mediante la segmentación de la materia en unidades más pequeñas.
2. Carga Cognitiva Adicional: Se refiere a la carga mental innecesaria que resulta de un diseño pedagógico inadecuado, explicaciones poco claras, formatos de presentación confusos o distracciones en el entorno. Cuando un docente emplea diapositivas que contienen un exceso de texto y las lee de manera literal mientras se expresa, se produce

el fenómeno conocido como "efecto de atención dividida" y la "redundancia". Esto resulta en la saturación simultánea del bucle fonológico y de la agenda visuoespacial de los estudiantes. La "carga extraña" no favorece el proceso de aprendizaje y debe ser reducida de manera sistemática en la mayor medida posible.

3. Carga cognitiva pertinente o germana. Se define como el esfuerzo mental productivo que se destina al procesamiento profundo, a la abstracción de patrones y a la integración de nuevos datos en los esquemas preexistentes de la memoria a largo plazo. Es importante considerar que el diseño instruccional debe optimizar el uso de la memoria de trabajo, minimizando la carga extrínseca, con el fin de redirigir los recursos cognitivos hacia la carga germana.

Principios Prácticos para la Optimización Instruccional

Es posible analizar cómo, a partir de la Terapia Cognitivo-Conductual (TCC), se han derivado diversos principios pedagógicos que han sido validados empíricamente (Sweller et al., 2019):

Efecto del Ejemplo Resuelto (*Worked-Example Effect*): En las etapas iniciales de la adquisición de un conocimiento complejo, se observa que el estudio de problemas resueltos de manera sistemática disminuye considerablemente la "carga extrínseca" en comparación con el aprendizaje basado en el descubrimiento no guiado. De esta manera, se permite a los principiantes desarrollar esquemas iniciales sin sobrecargar su memoria de trabajo.

Efecto de la Modalidad: La presentación de la información mediante la combinación del canal auditivo, como en el caso de una explicación oral, y el canal visual, por ejemplo, a través de un diagrama explicativo, permite distribuir la carga entre el bucle fonológico y la agenda visuoespacial. Esto incrementa la capacidad total de la memoria de trabajo en comparación con una presentación que sea exclusivamente visual o únicamente escrita.

Efecto de Inversión de la Pericia (*Expertise Reversal Effect*): Las estrategias que son beneficiosas para los estudiantes novatos, como los ejemplos resueltos, pueden resultar ineficaces o contraproducentes para los estudiantes avanzados, quienes obtienen mayores beneficios de

la resolución autónoma de problemas. En este contexto, el diseño educativo debe ajustarse de manera dinámica al nivel de conocimiento previo de los estudiantes.

Motivación, Autoeficacia y Clima Social de Aprendizaje

Es posible observar que los procesos cognitivos y el diseño instruccional constituyen condiciones necesarias, aunque no suficientes, para asegurar un aprendizaje profundo. Para lograrlo, es indispensable contar, además, con el impulso de la motivación. En este contexto, se establece que la motivación comprende los procesos neuropsicológicos y actitudinales que inician, dirigen, intensifican y mantienen la conducta orientada hacia metas académicas (Ryan & Deci, 2017).

Teoría de la Autodeterminación: Necesidades Psicológicas Básicas

La Teoría de la Autodeterminación (SDT), desarrollada por Edward Deci y Richard Ryan, establece que el ser humano tiene una inclinación innata hacia el aprendizaje, la adquisición de habilidades y el desarrollo personal. No obstante, esta motivación intrínseca únicamente se desarrolla plenamente cuando el entorno educativo cumple con tres necesidades psicológicas fundamentales (Ryan & Deci, 2017):

1. Autonomía: La experiencia de reconocerse como el agente responsable de sus propias acciones. En este sentido, se puede observar que cuando los docentes proporcionan opciones en las actividades, fomentan la toma de decisiones y respetan los ritmos individuales, la motivación intrínseca aumenta de manera significativa.
2. Competencia: La necesidad de experimentar eficacia y la capacidad para enfrentar desafíos de creciente complejidad. Se requiere que las tareas se ubiquen en la “Zona de Desarrollo Próximo” o en el nivel de desafío óptimo, acompañadas de retroalimentación constructiva que indique el camino hacia la mejora.
3. Relación o Pertenencia: La sensación de estar conectado, valorado y seguro en el entorno del aula. En este contexto, se evidencia que la calidez del docente y el apoyo entre pares satisfacen esta necesidad, lo que contribuye a la reducción de la ansiedad social y a la liberación de recursos cognitivos para el estudio.

La Autoeficacia y la Mentalidad de Crecimiento

Para poder abordar este tema, es necesario que primero comprendamos las concepciones fundamentales. Albert Bandura (1997) definió la autoeficacia como la creencia de un individuo en su propia capacidad para organizar y llevar a cabo las acciones requeridas para alcanzar logros específicos. Es fundamental comprender que la autoeficacia no constituye un rasgo estático de la personalidad, sino que se trata de un juicio prospectivo contextualizado que se fundamenta en cuatro fuentes principales: las experiencias de dominio previo, que se refieren al éxito alcanzado en el pasado; el aprendizaje vicario, que implica observar a pares similares lograr el éxito; la persuasión verbal por parte de figuras de autoridad; y la interpretación de los estados fisiológicos, como la capacidad de interpretar la aceleración del ritmo cardíaco como entusiasmo en lugar de pánico.

Se presenta en este contexto, complementando lo anteriormente expuesto, los estudios de Carol Dweck (2026) sobre la teoría implícita de la inteligencia, que distingue entre dos tipos de mentalidad:

- Mentalidad Fija: La creencia de que la inteligencia es un atributo innato e inmutable. Se observa que los estudiantes con esta mentalidad, interpretan el error como un indicador de incapacidad natural, adoptan metas de rendimiento (orientadas a demostrar capacidad o evitar quedar en evidencia) y abandonan con facilidad ante la frustración.
- Mentalidad de Crecimiento: La creencia de que las habilidades cognitivas y el talento se desarrollan mediante el esfuerzo estratégico, la práctica deliberada y la retroalimentación. Aquí se nos muestra, como quienes poseen esta mentalidad adoptan metas de dominio o aprendizaje, consideran el error como un dato diagnóstico imprescindible para progresar y muestran alta resiliencia neurocognitiva ante el fracaso.

Impacto de la Retroalimentación en la Neuroplasticidad

Se puede observar que se presentan ciertas mejoras en la recepción de nuevos temas por parte de los estudiantes cuando se elogia el esfuerzo estratégico y el proceso de aprendizaje,

como, por ejemplo, al afirmar: "se nota que aplicó en la defensa de este proyecto". Esto contribuye a consolidar una mentalidad de crecimiento. Por el contrario, alabar únicamente la habilidad innata, como, por ejemplo, "usted es un genio en matemáticas", puede promover inadvertidamente una mentalidad fija y aumentar la vulnerabilidad emocional ante posibles errores futuros. El estudiante que se dedica a un proyecto y recibe reconocimiento por las mejoras en sus debilidades, tales como la dicción, experimentará un incremento en su motivación para continuar superándose hasta alcanzar el éxito definitivo. De igual manera, si un estudiante que siempre se ha considerado un "experto" en una materia experimenta un fracaso en la misma, es probable que sienta una frustración personal.

Implicaciones Pedagógicas y Estrategias Basadas en Evidencia

Se ha determinado que la integración de la ciencia cognitiva, la neurobiología afectiva y la psicología instruccional posibilita la formulación de un conjunto de recomendaciones pedagógicas específicas y respaldadas empíricamente, con el objetivo de mejorar la calidad de la enseñanza en los niveles superior y secundario:

1. **Promover la práctica de la recuperación distribuida.** Sustituir la evaluación que se basa únicamente en métodos sumativos y masivos por actividades de evaluación formativa de bajo riesgo, tales como preguntas de respuesta corta o la elaboración de mapas conceptuales sin la consulta de notas. En esta práctica se promueve el acceso a la memoria a largo plazo, lo que refuerza las vías atencionales e interrumpe la curva del olvido (Bjork & Bjork, 2020)
2. **Diseñar entornos que sean emocionalmente seguros y, al mismo tiempo, cognitivamente desafiantes.** Con el objetivo de erradicar la cultura de la sanción punitiva asociada al error. En el aula, es necesario establecer un entorno de "seguridad psicológica" en el cual los errores sean analizados de manera pública y sin dramatismo, considerándolos como eventos de gran valor neuroeducativo para la reestructuración de esquemas incompletos.

3. Optimización del Formato Multimodal y Prevención de la Sobrecarga: Elaborar recursos visuales que incorporen diagramas estructurados junto con explicaciones orales directas, con el objetivo de eliminar el texto redundante y las decoraciones irrelevantes que pueden aumentar la carga cognitiva innecesaria, la cual puede resultar perjudicial.

4. Fomentar la autorregulación metacognitiva explícita. Es fundamental dedicar tiempo lectivo a instruir a los estudiantes en métodos de estudio eficientes. Esto incluye orientarlos en la planificación de su tiempo, la autoevaluación continua y la aplicación de técnicas de intercalado de materias.

Integración Neurocognitiva y Afectiva en la Dinámica Escolar

Es fundamental comprender que el aprendizaje humano representa una estructura compleja e inseparable, en la cual la cognición y el afecto interactúan de manera continua. Se puede observar que, a lo largo de la historia, las corrientes pedagógicas tradicionales han priorizado el desarrollo exclusivamente intelectual, considerando la emoción como un factor secundario o una interferencia no deseada en el proceso educativo. Las emociones eran consideradas como elementos "accesorios" que debían ser suprimidos en favor de la razón, sin que se cuestionara la causa que originaba su manifestación inicial. Asimismo, las neurociencias contemporáneas han demostrado de manera concluyente que el cerebro en proceso de aprendizaje no funciona a través de subsistemas aislados. Por el contrario, las vías neurales dedicadas al procesamiento cognitivo y las redes límbicas asociadas a la afectividad están profundamente interconectadas (Damasio, 2018).

Desde la perspectiva del constructivismo sociocultural, Vygotsky (1987) anticipó esta sinergia al proponer la existencia de una unidad dialéctica entre la afectividad y el pensamiento. De acuerdo con lo expuesto en esta formulación, el desarrollo intelectual se encuentra inextricablemente vinculado a las experiencias socioemocionales del individuo en un contexto cultural mediado. Una persona que resida en un entorno montañoso deberá aprender con mayor diligencia a orientarse en el espacio en comparación con aquella que habita en un entorno

urbano. La diferencia radica en la necesidad; un simple extravío durante la infancia puede representar una distinción crítica entre la vida y la muerte para la primera.

En este contexto, en los entornos académicos contemporáneos, tanto presenciales como virtuales, esta dicotomía formal entre "pensar" y "sentir" no posee validez teórica ni empírica. Se establece, por lo tanto, que los estudiantes no adquieren ni procesan información abstracta de manera aislada; lo realizan en función del valor emocional, el grado de pertenencia y la relevancia contextual que asignan a la experiencia pedagógica (Mayer, 2019).

Premisa Neurobiológica Clave

Se puede observar que la amígdala cerebral desempeña un papel como un filtro modulador de la atención y la memoria. Las experiencias pedagógicas que se asocian con altos niveles de estrés o con una sensación de desamparo percibido activan respuestas defensivas que restringen el flujo sanguíneo en la corteza prefrontal, lo que disminuye de manera significativa la capacidad para el razonamiento abstracto y la resolución de problemas. En consideración a lo anterior, se puede concluir que el estrés prolongado resulta perjudicial para el proceso de aprendizaje de cualquier individuo.

Arquitectura de los Procesos Cognitivos Subyacentes al Aprendizaje

Filtros Atencionales y Procesamiento en Entornos Hipermediatizados

Es fundamental comprender que la atención constituye la puerta de entrada a cualquier proceso formativo, sin la cual ningún proceso de aprendizaje podrá alcanzar el éxito. Se define como el mecanismo neuropsicológico que facilita la focalización, selección y mantenimiento de la actividad mental ante una variedad de estímulos ambientales (Posner & Rothbart, 2007). Es posible observar que, en la era digital, la capacidad de atención sostenida de los estudiantes se encuentra considerablemente desafiada por la existencia de ecosistemas hipermediatizados, los cuales se caracterizan por la fragmentación de la información y la estimulación simultánea. Nos encontramos en una época en la que millones de algoritmos compiten por la atención de los individuos, inundándolos constantemente con estímulos y saturando sus sentidos hasta

fragmentar su capacidad de atención. Es necesario que los docentes y quienes diseñan los planes pedagógicos tengan en cuenta esta realidad, al momento de tomar decisiones.

Se pueden señalar la existencia de tres dimensiones atencionales clave en el espacio educativo:

- Atención Selectiva: Capacidad para discriminar estímulos relevantes (instrucciones del docente, conceptos centrales) e inhibir distractores internos o externos.
- Atención Sostenida: Mantenimiento del foco atencional continuo durante periodos prolongados, indispensable para la lectura analítica y el razonamiento sistemático.
- Atención Dividida y Alternante: Habilidad para conmutar el foco entre distintas tareas instruccionales sin perder el hilo conductor de la actividad principal.

Es importante señalar que el diseño "tecnoeducativo" debe estructurar secuencias metodológicas que regulen la carga atencional, con el fin de evitar la saturación provocada por una sobreestimulación visual o auditiva, especialmente en modalidades de e-learning y b-learning (Sweller et al., 2019).

Memoria de Trabajo y la Teoría de la Carga Cognitiva

La memoria de trabajo, también conocida como memoria operativa, se define como el espacio de trabajo mental de capacidad limitada en el cual se retiene y se manipula información activa para llevar a cabo tareas relacionadas con la comprensión, el razonamiento y el aprendizaje (Baddeley, 2012). En este contexto, conforme a la Teoría de la Carga Cognitiva formulada por John Sweller en 2020, el procesamiento de la información instructiva implica tres tipos distintos de carga:

Tabla 3.

Clasificación y Características de la Carga Cognitiva en el Aula

Tipo de Carga	Origen y Naturaleza	Implicación Pedagógica
Carga Intrínseca	Inherente a la complejidad del contenido y a los conocimientos previos del estudiante.	Debe ser gestionada mediante la segmentación y secuenciación progresiva de los saberes.

Carga Extraña	Provocada por un mal diseño pedagógico, instrucciones confusas o interfaces sobrecargadas.	Debe ser reducida al mínimo mediante un diseño instruccional claro, intuitivo y sistemático.
Carga Relevante (Germana)	Dirigida a la construcción y automatización de esquemas mentales duraderos.	Debe ser promovida maximizando la consolidación de esquemas en la memoria a largo plazo.

Nota. Elaboración propia.

Cuando se constata que la suma de la "carga intrínseca" y la "carga extraña" supera la capacidad limitada de la memoria de trabajo, el estudiante enfrenta una sobrecarga cognitiva que impide la transferencia de información hacia la memoria a largo plazo, lo que puede resultar en frustración e ineficacia en el ámbito académico (Kirschner et al., 2018).

Metacognición y Funciones Ejecutivas en la Autorregulación

Las funciones ejecutivas se definen como el conjunto de procesos cognitivos de alto nivel que son coordinados por la corteza prefrontal. Estas funciones incluyen la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva. Las mismas constituyen los fundamentos sobre los cuales se establece la autorregulación del aprendizaje (Diamond, 2013). La metacognición, definida por Flavell en 1979 y ampliada por Zimmerman en 2002, se refiere tanto al conocimiento de los propios procesos de pensamiento como a la supervisión activa y regulación de dichos procesos en el contexto del logro de metas de aprendizaje.

En este contexto, se puede observar cómo un estudiante reflexivo y autorregulado atraviesa de manera iterativa tres fases continuas:

1. Planificación y Prospectiva: Análisis de las metas de la tarea, selección de estrategias adaptadas y evaluación de la propia capacidad percibida.
2. Ejecución y Monitoreo: Implementación de las estrategias planificadas, focalización de la atención y autoevaluación constante del progreso.

3. Autorreflexión y Acreditación: Valoración de los resultados alcanzados, atribución causal de aciertos o errores y ajuste de estrategias para futuras intervenciones.

Dimensión Afectivo-Motivacional y su Impacto en el Aprendizaje

Teoría de la Autodeterminación y Clima Emocional

Es fundamental comprender que los procesos afectivos no son simplemente elementos complementarios del aprendizaje; constituyen el motor que activa, orienta y sostiene la conducta académica. En la Teoría de la Autodeterminación, propuesta por Ryan y Deci en 2017, se establece que, para lograr una motivación intrínseca óptima y un bienestar psicológico sostenible en el ámbito universitario y escolar, es fundamental satisfacer tres necesidades psicológicas básicas:

- Autonomía: La experiencia de percibirse como el agente causal de la propia conducta y aprendizaje.
- Competencia: La sensación de eficacia en la ejecución de tareas académicas de complejidad creciente.
- Relación o Pertenencia: El sentimiento de estar conectado significativamente con sus pares y sus formadores dentro de un espacio de aprendizaje seguro.

Cuando se logra que el clima del aula satisfaga estas tres dimensiones, se puede observar que los estudiantes desarrollan un patrón de compromiso epistémico profundo, el cual se caracteriza por un interés persistente, un disfrute intelectual y una tolerancia a la frustración frente a obstáculos metodológicos complejos (Pekrun, 2019).

Ansiedad Académica, Autoeficacia y Resiliencia Cognitiva

Es posible observar que, en contraste con los estados de motivación en aumento, la ansiedad académica se define como un patrón multidimensional de respuestas fisiológicas, cognitivas y conductuales frente a situaciones de evaluación. La misma representa una de las barreras afectivas más prevalentes en los entornos de educación superior (Zeidner, 2014). Asimismo, se

observa que la ansiedad excesiva agota recursos fundamentales de la memoria de trabajo, lo que obstaculiza la recuperación eficiente de información consolidada y resulta en un deterioro significativo del rendimiento del individuo.

Se puede observar que este fenómeno está intrínsecamente relacionado con el constructo de autoeficacia percibida, tal como lo formuló Bandura en 1997. La creencia en la propia capacidad para organizar y llevar a cabo las acciones necesarias para alcanzar un objetivo influye de manera directa en las emociones experimentadas:

> Las personas que albergan severas dudas sobre sus capacidades anticipan el fracaso y centran su atención en sus deficiencias personales, convirtiendo los obstáculos en amenazas insuperables. Por el contrario, aquellos con un elevado sentido de autoeficacia abordan los desafíos como oportunidades de dominio, persistiendo a pesar de los reveses. (Bandura,1997, p. 39).

En este contexto, el fortalecimiento de la autoeficacia demanda experiencias de dominio guiado, modelado entre pares, retroalimentación formativa oportuna y la creación de entornos en los cuales el error no se interprete como una falta sancionable, sino, por el contrario, como un elemento pedagógico esencial para la reestructuración conceptual.

Inteligencia Emocional y Mediación Docente

Es necesario destacar que la función del profesorado va más allá de la simple transmisión analítica de contenidos científicos. Considerando que la competencia socioemocional del docente desempeña un papel fundamental en la configuración del clima emocional del aula (Bisquerra, 2016; Goleman, 2006). De este modo, se establece que un docente con competencia emocional es capaz de evaluar el nivel de estrés del grupo, comprender los bloqueos de los estudiantes y proporcionar un soporte afectivo que regule los estados de frustración o apatía.

Intersección Tecno-Afectiva: El Desafío en Ambientes Virtuales de Aprendizaje

Se puede observar que la migración o hibridación de los procesos formativos hacia plataformas virtuales ha introducido dinámicas afectivo-cognitivas particulares. Aunque las tecnologías

digitales proporcionan flexibilidad tanto temporal como espacial, la mediación asíncrona puede intensificar el sentimiento de aislamiento socioemocional y la fatiga digital, en caso de que las actividades no incluyan una adecuada interacción social y cognitiva presencial (Garrison et al., 2000).

En este contexto, el diseño instruccional que considera los aspectos afectivos (*Affective-Aware Instructional Design*) sugiere la incorporación deliberada de "microinteracciones socioafectivas" en los entornos de aprendizaje virtual. Esto implica que es posible implementar desde la creación de foros de acogida y un acompañamiento tutorizado personalizado, hasta la utilización de analíticas de aprendizaje para la detección temprana de patrones de desenganche o frustración académica. El objetivo de esta iniciativa es que el estudiante se sienta integrado en el grupo y actúe como un participante activo, en lugar de ser un mero espectador pasivo. De esta manera, se busca fomentar una conexión auténtica en el proceso de enseñanza virtual.

Sinergia Cognitivo-Afectiva en Entornos Digitales

Es fundamental comprender que un entorno virtual de aprendizaje no debe restringirse a la simple entrega de contenidos en formato digital. Para iniciar un proceso de aprendizaje significativo, es necesario implementar interfaces claras que reduzcan la carga cognitiva innecesaria, junto con interacciones humanas relevantes que fortalezcan la dimensión afectiva y el sentido de pertenencia a la comunidad académica. Un grupo de trabajo en línea compuesto por estudiantes puede experimentar un renovado interés si se fomenta la interacción a través de foros de discusión o videollamadas grupales, en las cuales se pueden aclarar dudas comunes o proponer nuevos escenarios de acción.

Orientaciones Prácticas y Estrategias Pedagógicas Integradoras

Con el objetivo de proporcionar una práctica formativa que integre el rigor cognitivo con la contención afectiva, se proponen las siguientes estrategias orientadoras para la labor docente en el ámbito de la educación universitaria y media superior:

1. Diseño Instruccional Dosificado: Fragmentar contenidos densos en unidades modulares de menor duración (microaprendizaje) acompañadas de actividades previas de activación de esquemas conocimientos existentes.
2. Evaluación Formativa y Retroalimentación Humanizada: Reemplazar la cultura punitiva de la evaluación sumativa única por un enfoque continuo, ofreciendo comentarios específicos, constructivos y orientados al esfuerzo y al proceso de mejora personal.
3. Fomento explicitado de la Metacognición: Inculcar rutinas de pensamiento visual (diarios de aprendizaje, rúbricas de autoevaluación, mapas conceptuales) que permitan al estudiante identificar sus debilidades y regular sus métodos de estudio.
4. Cultura de Seguridad Psicopedagógica: Establecer explícitamente desde el inicio del curso que las dudas y los errores constituyen oportunidades legítimas e indispensables para el progreso intelectual colectivo.
5. Inclusión de Dinámicas Cooperativas: Estructurar el trabajo en pequeños grupos heterogéneos con metas interdependientes, promoviendo el soporte mutuo, el debate respetuoso y el intercambio emocional integrador.

Se puede afirmar que los procesos cognitivos y afectivos en el aula no funcionan como compartimentos estancos, sino como un sistema dinámico e interdependiente. Las funciones ejecutivas, las redes atencionales y los sistemas de memoria constituyen la infraestructura técnica esencial para la codificación, retención y transferencia del conocimiento. No obstante, se observa que este aparato intelectual continúa subordinado a la dinámica afectiva, al clima social del aula, a la modulación del estrés y al sentido de autoeficacia del estudiante.

En este contexto, es necesario reconocer que el diseño de una pedagogía contemporánea de alto nivel debe ir más allá de las intuiciones empíricas y basar la labor docente en los principios validados de la neurociencia y la psicología cognitiva. Al estructurar aulas que respeten los límites fisiológicos de la memoria de trabajo, que fomenten una mentalidad de crecimiento y que garanticen la seguridad emocional, los educadores no solo incrementan significativamente

el rendimiento académico cuantitativo, sino que también promueven el desarrollo integral de individuos autónomos, críticos y preparados para el aprendizaje continuo a lo largo de sus vidas.

El Modelo Multicomponente de la Memoria de Trabajo

Se presenta el modelo de la Memoria de Trabajo, formulado por Alan Baddeley y Graham Hitch, el cual ha sido posteriormente ampliado. Este modelo define la memoria de trabajo no como un simple almacén pasivo a corto plazo, sino como un sistema activo de capacidad limitada, destinado al mantenimiento temporal y a la manipulación de la información necesaria para la realización de tareas cognitivas complejas. Se compone de cuatro subsistemas fundamentales:

- El Ejecutivo Central: Es el componente supervisor que asigna los recursos atencionales, coordina los subsistemas esclavos, conmuta entre tareas y recupera representaciones de la memoria a largo plazo.
- El Bucle Fonológico: Encargado de mantener y manipular la información basada en el habla y el sonido. Consta de un almacén fonológico a corto plazo y de un proceso de repetición articulatoria (el "habla interna").
- La Agenda Visoespacial: Diseñada para la creación, mantenimiento y manipulación de imágenes mentales y coordenadas espaciales.
- El Retén Episódico (*Episodic Buffer*): Un sistema de capacidad limitada que integra la información proveniente del bucle fonológico, la agenda visoespacial y la memoria a largo plazo en una representación coherente, temporal y contextualizada.

Se indica que la memoria de trabajo presenta un cuello de botella significativo, lo que limita su capacidad de procesamiento, en este contexto, cuando la demanda de procesamiento excede los límites de esta arquitectura, se genera una sobrecarga cognitiva, lo que resulta en el colapso de la capacidad de análisis y comprensión de un individuo.

Re-consolidación: La Naturaleza Dinámica del Recuerdo

Se ha considerado tradicionalmente que, una vez que las memorias a largo plazo se consolidan en la neocorteza, estas permanecen inalterables. No obstante, la teoría de la "reconsolidación

de la memoria" evidencia que, al evocar un recuerdo consolidado, este entra temporalmente en un estado lábil, frágil y susceptible de modificación.

En este contexto, es posible observar que, durante este periodo de labilidad, la huella de memoria original puede ser actualizada, enriquecida, atenuada o distorsionada a través de la incorporación de nueva información procedente del presente. Con el transcurso del tiempo tras las vacaciones, es común que recordemos los eventos con ciertas variaciones respecto a cómo ocurrieron en la realidad, desde el color de la vestimenta que llevábamos hasta los alimentos consumidos durante el viaje. Asimismo, observamos que el recuerdo actualizado debe someterse a un nuevo proceso de síntesis proteica para su reconsolidación. Este mecanismo es fundamental para el aprendizaje continuo, ya que facilita la adaptación de los esquemas mentales previos a las realidades emergentes.

Neurobiología de los Filtros Afectivos y la Motivación

Es necesario comprender que la distinción entre "razón" y "emoción" constituye una dicotomía artificial en el ámbito de la ciencia cognitiva contemporánea. Las emociones, en consecuencia, funcionan como marcos de valoración que orientan, sesgan y optimizan el procesamiento cognitivo.

La Hipótesis del Marcador Somático de Antonio Damasio

Antonio Damasio propuso la Hipótesis del Marcador Somático con el propósito de explicar la influencia de las emociones en el razonamiento y en el proceso de toma de decisiones. Considerando que, en situaciones complejas o ambiguas, el análisis racional exhaustivo de todas las opciones podría sobrecargar la memoria de trabajo. Se ha determinado que los marcadores somáticos son reacciones fisiológicas, tales como cambios en el ritmo cardíaco, tono muscular y respuesta galvánica de la piel, que se encuentran asociadas a experiencias pasadas. Estas reacciones son coordinadas por la corteza prefrontal ventromedial y la ínsula. De este modo, al enfrentar una decisión, estas señales viscerales o emocionales funcionan como un filtro automático. Descartan de inmediato las alternativas que podrían resultar perjudiciales

y favorecen las opciones viables, lo que orienta la atención analítica hacia un subconjunto manejable de posibilidades.

Tríada Neuromoduladora de la Motivación

Es fundamental comprender que la motivación para el aprendizaje no se presenta como una actitud meramente voluntaria, sino que constituye la manifestación de un equilibrio neuroquímico dinámico:

- Dopamina (Anticipación y Búsqueda): Rige el deseo y la expectativa de logro. No se libera principalmente al recibir una recompensa, sino durante la fase de búsqueda activa y anticipación del objetivo.
- Endorfinas y Encefalinas (Consumación y Placer): Modulan la sensación de satisfacción y alivio que acompaña al dominio de una tarea compleja.
- Serotonina (Bienestar y Estado de Ánimo): Regula el tono afectivo de fondo, la autoestima cognitiva y la perseverancia frente a los contratiempos.

Es importante señalar que, cuando la experiencia de aprendizaje genera un sesgo de amenaza constante, caracterizado por altas demandas y un bajo control percibido, la elevación prolongada de la ansiedad funciona como un filtro afectivo. Este filtro obstaculiza el flujo eficiente de información, impidiendo que los estímulos procesados por los sistemas sensoriales lleguen a las áreas asociativas neocorticales para su procesamiento exhaustivo.

Funciones Ejecutivas Avanzadas y Control Inhibitorio

Se ha determinado que las funciones ejecutivas constituyen un conjunto de procesos cognitivos de alto nivel que permiten a un individuo orientar su conducta hacia metas complejas que no son automatizadas, su utilización nos permite llevar a cabo diversas actividades a lo largo del tiempo, desde el mantenimiento de una dieta hasta el estudio de diferentes temas para un examen. A partir de esta comprensión, podemos proceder a la planificación de proyectos a largo plazo.

Control Inhibitorio y Resistencia a la Interferencia

El control inhibitorio es la capacidad de frenar o suprimir respuestas automáticas, impulsos, distracciones o esquemas de pensamiento obsoletos en favor de una estrategia meditada. Sin un control inhibitorio eficaz, el sujeto queda a merced del estímulo más saliente o de la respuesta más ensayada, aunque esta sea incorrecta.

A nivel metacognitivo, la inhibición permite suspender el juicio intuitivo o "heurístico" (el llamado Sistema 1 de Kahneman) para dar paso al procesamiento analítico, deliberativo y computacionalmente costoso

Flexibilidad Cognitiva y Costo de Cambio (Task-Switching)

La flexibilidad cognitiva implica la capacidad de desenganchar la atención de un conjunto de reglas o marcos mentales para reajustarla a nuevas demandas o contingencias del entorno.

El fenómeno de *task-switching* (cambio voluntario entre tareas) conlleva un costo de cambio medible: un incremento en el tiempo de reacción y en la probabilidad de error.

Cada vez que la mente conmuta de una tarea a otra, el córtex prefrontal debe inhibir la regla previa y cargar en la memoria de trabajo el nuevo conjunto de reglas. La alternancia rápida e ininterrumpida mina la reserva energética prefrontal, empobreciendo el rendimiento en ambas actividades.

Metacognición, Autorregulación y la Red Neuronal por Defecto

La cognición humana presenta la característica reflexiva de autorreflexión: no solo se procesa información, sino que también se evalúa la calidad, precisión y profundidad de dicho procesamiento.

Monitoreo Metacognitivo e Ilusión de Competencia

La metacognición comprende dos componentes fundamentales: el monitoreo, que se refiere a la evaluación de nuestro propio estado de conocimiento, y el control, que implica las decisiones estratégicas que se adoptan en consecuencia. Un error frecuente en el proceso de monitoreo

es la ilusión de competencia, que se refiere a la creencia errónea de haber adquirido un dominio sobre un contenido académico tras haber llevado a cabo actividades de baja exigencia cognitiva, tales como subrayar o releer un texto de manera pasiva.

La relectura produce una notable fluidez en el procesamiento, ya que el texto resulta familiar y se procesa visualmente con facilidad. Esta fluidez es interpretada erróneamente por el cerebro como un indicativo de un aprendizaje consolidado, cuando en realidad la comprensión gramatical permanece débil. Por el contrario, la práctica de recuperación activa (***Retrieval Practice***), al requerir un esfuerzo significativo, produce señales metacognitivas precisas que ajustan el juicio sobre el aprendizaje de manera realista.

La Red Neuronal por Defecto (DMN) y la Incubación Creativa

La Red Neuronal por Defecto (***Default Mode Network***, DMN) se define como un conjunto asociativo que incluye el córtex prefrontal medial, el precúneo y la corteza cingulada posterior. A diferencia de las redes orientadas a la tarea, las cuales se activan en respuesta a demandas externas específicas, la Red de Modo Descanso (DMN) se activa durante períodos de reposo pasivo, introspección, divagación mental y consolidación de la identidad.

Se puede afirmar que la actividad de la red de modo predeterminado (DMN) es fundamental para el proceso de incubación cognitiva. En este contexto, cuando se observa a un individuo que interrumpe el esfuerzo consciente destinado a resolver un problema complejo y se dedica a un período de descanso o a una actividad que no requiere esfuerzo, la red de modo predeterminado (DMN) continúa procesando asociaciones implícitas de manera subcortical. Esto facilita la integración de conceptos distantes que emergen en la conciencia como intuiciones creativas o momentos de notable sorpresa.

Casos Prácticos de Estudio Integradores

A continuación, se presentan dos casos prácticos que tienen como objetivo ilustrar la interrelación entre los procesos cognitivos, afectivos y metacognitivos en el contexto de la educación superior.

Caso Práctico de Estudio 1: Reconfiguración del Marcador Somático mediante la "Mentalidad de Crecimiento"

Contexto: Un grupo de 80 estudiantes universitarios de primer año de ingeniería con antecedentes de reprobación en cálculo fue expuesto a un programa de intervención pedagógica. El Grupo de Control recibió tutorías técnicas tradicionales. El Grupo Experimental recibió, además del soporte técnico, un entrenamiento explícito en la "Mentalidad de Crecimiento", donde se les enseñó que las equivocaciones no reflejan una limitación intelectual fija, sino la señal biológica de que el cerebro está formando nuevas sinapsis.

Análisis Cognitivo-Afectivo: Durante los exámenes de evaluación, observamos que se midió la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la conductancia cutánea. Los estudiantes del Grupo de Control mostraron marcadores somáticos de amígdala hiperactiva al detectar un error en la resolución de las ecuaciones: el error era procesado como una amenaza a la autoimagen, desencadenando evitación y un colapso en la memoria de trabajo.

En este escenario se encuentra, que los estudiantes del Grupo Experimental reestructuraron la valoración afectiva del error. El error activó el córtex cingulado anterior no como una señal de angustia, sino como un conflicto cognitivo desafiante. En este sentido, vimos como la respuesta fisiológica viró de un patrón de amenaza a un patrón de "reto" (mayor activación de dopamina y noradrenalina focalizada). Esta reconfiguración del marcador somático liberó los recursos del ejecutivo central de la memoria de trabajo, permitiendo a los estudiantes perseverar en la búsqueda de estrategias alternativas y superar la prueba con un rendimiento un 38% superior al grupo de control.

Caso Práctico de Estudio 2: Desarticulación de la Ilusión de Competencia mediante la Práctica de Recuperación Activa

Contexto: En una facultad de Derecho, se realizó un experimento sobre la retención a largo plazo del código civil. Durante cuatro semanas, el Grupo A estudió los artículos mediante el método convencional de relectura repetida y resaltado de textos. El Grupo B dedicó el mismo

tiempo a realizar cuestionarios breves sin consulta (pruebas de opción múltiple razonadas), seguidos de retroalimentación inmediata.

Análisis Cognitivo-Afectivo: Al finalizar la fase de estudio, observamos como ambos grupos completaron un "Juicio de Aprendizaje" (JOL) prediciendo su desempeño. El Grupo A reportó niveles significativamente más altos de confianza subjetiva (ilusión de competencia derivada de la fluidez de procesamiento durante la lectura).

Aun así, en la evaluación final realizada 6 meses después, el Grupo B retuvo un 65% más de contenido que el Grupo A. Ante esto, la explicación cognitiva radica en que la ***práctica de recuperación*** forzó al ejecutivo central a recuperar activamente las redes semánticas neocorticales, lo que desencadenó el fenómeno de reconsolidación de la memoria. Así mismo, vimos que el esfuerzo mental requerido actuó como un calibrador metacognitivo preciso, eliminando las falsas señales de fluidez y dirigiendo el tiempo de estudio posterior hacia los vacíos reales de conocimiento.

3 Educación

FUNCIONES EJECUTIVAS Y AUTORREGULACIÓN COGNITIVA

CAPÍTULO 3.

FUNCIONES EJECUTIVAS Y AUTORREGULACIÓN COGNITIVA

María Aidis Goyes González, Jerry Maruan Medina Schaffry, Nohely Lisbeth Guevara Guerrero, Katherine Susana Córdova Burgos, Erika Germania Herrera Irazábal, Margareth Estefania Mera Malavé y Anita Karina Serrano Castro.

Introducción y Delimitación Conceptual

En el ámbito del estudio contemporáneo de la psicología cognitiva y la neurociencia educativa, las funciones ejecutivas (FE) y la autorregulación cognitiva constituyen dos constructos teóricos interrelacionados que explican cómo los seres humanos somos capaces de planificar, coordinar, monitorear y adaptar conductas orientadas hacia metas complejas.

En este contexto, se observa que, de manera tradicional, la inteligencia general, medida a través del cociente intelectual, ha sido considerada el principal indicador del rendimiento académico y de la adaptabilidad socioemocional. A través de este análisis, se evidencia que las investigaciones realizadas en las últimas tres décadas (Diamond, 2013; Meltzer, 2018) han establecido que la eficiencia ejecutiva y el dominio autorregulatorio son predictores significativamente más robustos del logro conceptual, la autonomía en el aprendizaje y la capacidad para resolver problemas en contextos de alta exigencia cognitiva.

Para definir las funciones ejecutivas, es necesario comprenderlas como un conjunto integrado de procesos de control de alto nivel que coordinan la actividad mental y conductual, especialmente en situaciones en las que los esquemas automatizados o las respuestas impulsivas son insuficientes para abordar demandas situacionales novedosas o complejas (Miyake et al., 2000). De este modo, dichas funciones actúan como la "dirección ejecutiva" o el "director de orquesta" de la mente, regulando la percepción, el procesamiento de información, la memoria, la emoción y la acción motora. La autorregulación cognitiva se refiere al proceso activo y dirigido mediante el cual el individuo supervisa, evalúa y ajusta de manera consciente sus propios pensamientos, estrategias de procesamiento y conductas metacognitivas,

con el objetivo de alcanzar metas que pueden ser autogeneradas o impuestas externamente (Zimmerman, 2002; Pintrich, 2000).

En consideración a lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que la convergencia entre ambos constructos se fundamenta en que las funciones ejecutivas constituyen el sustrato neuropsicológico y la maquinaria operativa sobre la cual se desarrolla la capacidad de autorregulación. En otras palabras, sin una memoria de trabajo sólida, se vuelve inviable mantener activas las metas y los criterios de evaluación, como, por ejemplo, la finalización de un proyecto de grado. Asimismo, en ausencia de control inhibitorio, el estudiante sucumbe ante las distracciones del entorno o la gratificación inmediata, como podría ser el uso de TikTok en lugar de estudiar. Por otro lado, la falta de flexibilidad cognitiva provoca que la adherencia inquebrantable a estrategias ineficaces conduzca inevitablemente al fracaso estratégico. De este modo, se puede observar que la interacción dialéctica entre la formación emocional y la autorregulación no solo influye en la calidad del aprendizaje en entornos presenciales, sino que adquiere una importancia fundamental en la educación virtual, donde la estructuración externa se reduce considerablemente y el estudiante asume la responsabilidad casi total de la autogestión temporal y cognitiva.

Punto Clave de Articulación Conceptual

Se puede observar que las Funciones Ejecutivas (FE) representan los mecanismos neuropsicológicos de control de tipo descendente, mientras que la Autorregulación Cognitiva constituye la implementación dinámica, estratégica y contextualizada de dichos mecanismos en la consecución de objetivos académicos y vitales. En este contexto, el equilibrio entre ambas partes es fundamental para lograr de manera efectiva los objetivos académicos a mediano y largo plazo.

Componentes Nucleares de las Funciones Ejecutivas

Se ha podido observar que, a pesar de la persistencia de diversos debates teóricos sobre la unicidad frente a la diversidad de los procesos ejecutivos, existe un amplio consenso funda-

mentado en el modelo clásico de Miyake et al. (2000) y en las formulaciones posteriores de Diamond (2013). Este modelo postula la existencia de tres funciones ejecutivas básicas o de primer orden: el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva. Se observa que, a partir de la interacción coordinada de estos tres pilares, emergen las funciones ejecutivas de orden superior. En este contexto, se observa la planificación, el razonamiento abstracto, la resolución de problemas y la toma de decisiones complejas.

Control Inhibitorio: Inhibición Cognitiva y Conductual

Es fundamental comprender que el control inhibitorio se define como la capacidad de regular, resistir o suprimir la atención voluntaria hacia estímulos irrelevantes, así como de inhibir tendencias de respuesta dominantes, automáticas o impulsivas, con el propósito de seleccionar una conducta adecuada que se alinee con los objetivos establecidos (Diamond, 2013). Esta se define como la capacidad de concentrarse plenamente en una actividad, ignorando todo lo demás como, por ejemplo, leer un libro completo durante un trayecto en autobús. Este componente se divide comúnmente en dos subdominios distintos, aunque interrelacionados:

Inhibición de la respuesta (control conductual): Implica la capacidad de inhibir acciones motoras o comportamientos automáticos antes de que se materialicen. El hecho de que un estudiante opte por estudiar durante dos horas, conforme a lo estipulado en la planificación de estudio, en lugar de salir con amigos al cine, constituye un ejemplo representativo de esta situación. Esto permite al individuo posponer la gratificación, moderar reacciones emocionales inadecuadas y mantener el autocontrol ante estímulos atractivos.

Inhibición cognitiva, que se refiere al control de la atención y la interferencia. Consiste en el filtrado activo de pensamientos e información que no es pertinente en la memoria de trabajo. Evite que recuerdos, preocupaciones o estímulos perjudiciales interfieran en el flujo del procesamiento de la tarea en curso; la meditación es un ejemplo significativo de esta práctica.

En el ámbito psicoeducativo, una deficiencia en el control inhibitorio no se manifiesta únicamente como hiperactividad o distraibilidad, sino que también implica una notable vulner-

abilidad ante la sobrecarga de estímulos en las plataformas digitales. En este contexto, las notificaciones, las redes sociales y el acceso continuo a información hipertextual compiten constantemente por los recursos de atención del estudiante (Meltzer, 2018).

Memoria de Trabajo: Mantenimiento y Manipulación Activa

No se debe confundir la memoria de trabajo (MT) con un simple almacén estático de corto plazo. En este contexto, al considerar el modelo multicomponente revisado por Baddeley (2012), se establece que la memoria de trabajo constituye un sistema de capacidad limitada, destinado a la retención temporal y a la manipulación activa de la información pertinente durante la ejecución de tareas cognitivas complejas, la misma se compone del bucle fonológico, la agenda visuoespacial, el retén episódico y el ejecutivo central.

Desde la perspectiva de las funciones ejecutivas, la memoria de trabajo cumple una función fundamental en la integración de nueva información con conocimientos previos, en la reestructuración de esquemas conceptuales y en el mantenimiento de las instrucciones de la tarea en un estado de atención. En este contexto, se puede observar que la metodología de trabajo (MT) facilita al estudiante la capacidad de relacionar ideas presentes en párrafos distantes, realizar cálculos multidimensionales, seguir algoritmos complejos y llevar a cabo un monitoreo constante del progreso hacia una meta específica. Cuando la demanda de procesamiento supera la capacidad disponible de la memoria de trabajo, se presenta un fenómeno denominado sobrecarga cognitiva (Sweller, 2011). Esta situación provoca una degradación significativa de la capacidad de autorregulación, lo que puede resultar en el abandono de la tarea o en un procesamiento superficial de la información.

Flexibilidad Cognitiva: Adaptabilidad y Reestructuración Mental

Se ha observado que la flexibilidad cognitiva, conocida también como alternancia o flexibilidad mental, se fundamenta en el control inhibitorio y la memoria de trabajo. Esto representa la capacidad de cambiar de perspectiva, ajustar el enfoque de atención, modificar esquemas mentales previos o adoptar un nuevo enfoque analítico cuando las condiciones contextuales

experimentan modificaciones o cuando las estrategias anteriores resultan ser ineficaces (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000).

En este contexto, se puede observar cómo la flexibilidad cognitiva permite al individuo sobreponerse a la rigidez del pensamiento, aceptar los errores conceptuales, reestructurar hipótesis en presencia de evidencia contradictoria y realizar una transición fluida entre diversas tareas o reglas cognitivas. En este sentido, se logra que un individuo modifique su opinión y se adapte ante la presencia de nueva información. En el contexto del aprendizaje autorregulado, los estudiantes que poseen una alta flexibilidad cognitiva exhiben una notable habilidad para modificar su estrategia al identificar una deficiencia en la comprensión, adaptándose con rapidez a las diversas exigencias pedagógicas que presentan las distintas disciplinas académicas.

Tabla 4. *Síntesis de las Funciones Ejecutivas Nucleares y sus Manifestaciones en la Dinámica de Aprendizaje*

Función Ejecutiva	Mecanismo Neuropsicológico	Manifestación en el Aprendizaje Académico	Riesgo por Disfunción / Déficit
Control Inhibitorio	Supresión de respuestas automáticas y filtrado de interferencias irrelevantes.	Mantenimiento de la concentración, resistencia a istracciones digitales y regulación de la impulsividad.	Distractibilidad alta, postergación constante, multitarea ineficiente y frustración rápida.
Memoria de Trabajo	Mantenimiento y manipulación activa de datos en la conciencia inmediata.	Comprensión lectora profunda, resolución de problemas complejos, sintaxis lógica y razonamiento.	Pérdida del hilo conductor, olvido de instrucciones compuestas y fatiga cognitiva acelerada.

Flexibilidad Cognitiva	Alternancia entre conjuntos de reglas, perspectivas o enfoques de resolución.	Corrección de errores, reaprendizaje conceptual, transferencia de conocimientos y adaptación.	Perseverancia errónea en métodos fallidos, rigidez cognitiva y desorientación ante imprevistos.

Nota. Elaboración propia.

Bases Neurobiológicas y Neuroanatomía de la Autorregulación

El fundamento neurobiológico de las funciones ejecutivas y de la autorregulación cognitiva se localiza principalmente en la corteza prefrontal (CPF), la cual es la región cerebral más avanzada en términos de integración asociativa y presenta un desarrollo más tardío en la filogénesis y ontogénesis humanas (Arnsten, 2009; Fuster, 2015). La corteza prefrontal (CPF) no opera de manera aislada; por el contrario, constituye una compleja red funcional interconectada con estructuras subcorticales, tales como los ganglios basales, el tálamo y el sistema límbico, en particular la amígdala, así como con regiones corticales de asociación posterior, que incluyen las áreas parietales y temporales.

Subregiones Prefrontales y Redes Funcionales

Desde una perspectiva neuroanatómica funcional, se pueden identificar tres divisiones principales en la corteza prefrontal, cada una con funciones diferenciadas pero coordinadas en la regulación cognitiva y afectiva:

Corteza Prefrontal Dorsolateral (CPFDL): Constituye el núcleo motor de la cognición fría. Laa misma, está vinculada con la memoria de trabajo, la manipulación de conceptos abstractos, la planificación estratégica, la secuenciación de acciones y el monitoreo del desempeño (Arnsten, 2009). La CPFDL nos permite sostener las representaciones mentales en ausencia de estímulos externos (como la imaginación de escenarios al leer un libro).

Corteza Prefrontal Ventromedial y Orbitrofrontal (CPFO/CPFVM): Encargada del procesamiento de la denominada cognición cálida (***hot cognition***). Modula las respuestas emocionales, evalúa

el valor de recompensa y riesgo de los estímulos, interviene en la toma de decisiones ético-sociales y ejerce un control inhibitorio sobre impulsos motivacionales básicos gestionados por la amígdala y el núcleo accumbens.

Corteza Cingulada Anterior (CCA): Actúa como un centro de detección de conflictos y supervisión de errores. La CCA detecta discrepancias entre la meta pretendida y el resultado real, enviando señales de alerta a la CPFDL para reclutar recursos cognitivos adicionales y reajustar la estrategia en ejecución (Fuster, 2015).

De manera similar, se observa que la maduración neurobiológica de estas estructuras continúa hasta bien entrada la tercera década de la vida, aproximadamente entre los 22 y 25 años. Este proceso se caracteriza por la poda sináptica y la mielinización progresiva de los tractos axónicos blancos, como es el caso del fascículo longitudinal superior.

Este proceso de neuroplasticidad prolongada explica, en gran medida, por qué las capacidades de autorregulación cognitiva en los estudiantes universitarios son altamente maleables y susceptibles de ser optimizadas a través de intervenciones pedagógicas e institucionales específicas, esto es un aspecto que el docente debe considerar al preparar su cátedra.

Modelos Teóricos de Autorregulación Cognitiva y Metacognición

Se puede afirmar que la autorregulación del aprendizaje (Self-Regulated Learning, SRL) ha sido objeto de análisis teórico desde diversas corrientes sociocognitivas y constructivistas. Entre las formulaciones teóricas de mayor validez empírica y aplicabilidad, se destacan los modelos elaborados por Barry Zimmerman, Paul Pintrich y Julius Kuhl. Estos modelos integran de manera coherente los componentes cognitivos, metacognitivos, motivacionales y contextuales del comportamiento autorregulado, los cuales serán objeto de análisis en secciones posteriores.

El Modelo Cíclico de Barry Zimmerman

Se puede constatar que Zimmerman (2002) conceptualizaba la autorregulación como un proceso cíclico, estructurado en tres fases interdependientes, en las cuales los resultados de la fase anterior influyen directamente en los procesos de la fase siguiente:

1. **Fase de Planificación y Cuidado de la Tarea (*Forethought Phase*)**

Esta ocurre con anterioridad a la ejecución real. Incluye el análisis de la tarea (establecimiento de metas operativas y planificación de estrategias) y el despliegue de creencias auto motivacionales (autoeficacia, expectativas de resultado, orientación hacia metas de dominio e interés intrínseco). Los estudiantes autorregulados dedican un tiempo sustancial a esta fase, descomponiendo objetivos complejos en submetas realizables.

2. **Fase de Ejecución y Control Volitivo (*Performance Phase*)**

Se desarrolla durante la realización de la actividad académica. Comprende el autocontrol (despliegue de autoinstrucciones, focalización de la atención, empleo de imaginería mental y búsqueda de ayuda calificada) y la automonitoreo (autobservación continua de la eficacia con la que se desarrolla el proceso cognitivo y registro personal de avances).

3. **Fase de Autorreflexión (*Self-Reflection Phase*)**

Surge tras la finalización del esfuerzo cognitivo. Abarca el autojuicio (autoevaluación de los resultados comparados con un estándar previo y atribución causal de los éxitos o fracasos) y la autorreacción (sentimientos de autosatisfacción y adaptaciones inferenciales para futuras tareas). Las atribuciones causales dirigidas a factores controlables (como el esfuerzo estratégico) potencian la autoeficacia para futuros ciclos académicos (Zimmerman, 2002).

El Modelo Multidimensional de Paul Pintrich

Se puede constatar que el modelo propuesto por Pintrich (2000) amplió el análisis de la autorregulación al estructurarlo en una matriz compuesta por cuatro fases: Planificación, Monitoreo, Control y Evaluación. Estas fases se intersectan con cuatro áreas de regulación: Cognitiva, Motivacional/Afectiva, Conductual y Contextual. Es importante señalar que esta contribución relevante del modelo de Pintrich se fundamenta en la consideración de los aspectos motivacionales e interpersonales en un plano de igualdad con el procesamiento cognitivo estricto. Se destaca que un estudiante puede poseer estrategias cognitivas avanzadas; sin embargo,

puede enfrentar un fracaso significativo si no cuenta con mecanismos para regular la ansiedad, la persistencia volitiva o el entorno físico de estudio. Desde una perspectiva más amplia, se presenta la oportunidad de comprender estrategias más efectivas para el adecuado desarrollo del proceso de aprendizaje de los estudiantes universitarios.

Tabla 5. *Fases y Áreas de Regulación Cognitiva y Motivacional*

Fase de Regulación	Área Cognitiva	Área Motivacional / Afectiva	Área Conductual	Área Contextual
1. Planificación	Establecimiento de metas cognitivas y activación de saberes previos.	Adopción de metas, juicios de autoeficacia y valor de la tarea.	Planificación del tiempo y asignación de esfuerzo.	Percepción de las demandas del entorno y recursos.
2. Monitoreo	Conciencia Metacognitiva de la comprensión y el avance.	Monitoreo de estados afectivos, ansiedad y motivación.	Supervisión de la conducta real y efectividad del tiempo.	Evaluación de la estabilidad de las Condiciones del entorno.
3. Control	Selección y ajuste de estrategias cognitivas de solución.	Despliegue de incentivos personales y autoinstrucciones.	Aumento del esfuerzo, persistencia y búsqueda de ayuda.	Modificación del contexto de estudio y eliminación de distractores.
4. Reflexión	Juicios cognitivos de logro y autoevaluación formal.	Reacciones afectivas y atribuciones causales(éxito/ fracaso).	Evaluación del uso del tiempo y elección de conductas futuras.	Evaluación de la idoneidad del entorno físico o digital.

Nota. Adaptado de Pintrich (2000).

La Autorregulación en Ecosistemas Digitales y Entornos Virtuales de Aprendizaje

La rápida digitalización de la educación superior y la adopción generalizada de Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) han generado un contexto en el cual las exigencias académicas impuestas a los estudiantes han cambiado de manera significativa. En consideración de lo anterior, los entornos presenciales tradicionales, la disposición física del aula, la presencia sincrónica del docente y la interacción con el grupo de pares ofrecen un soporte externo que compensa de manera parcial las deficiencias en la autorregulación individual. Por el contrario, en los entornos digitales, que se distinguen por la asincronía, la abundancia de información, la navegación no lineal y la continua estimulación multimodal, los andamios externos se minimizan considerablemente (Azevedo & Gašević, 2019).

Sobrecarga Cognitiva, Hipermedialidad y Desorientación

Se puede afirmar que el aprendizaje mediado por tecnologías de la información requiere que el estudiante lleve a cabo de manera continua procesos de autorregulación de alto nivel. En este contexto, la lectura en formatos hipermediales requiere no solo la decodificación del texto, sino también la toma de decisiones ejecutivas continuas respecto a qué hipervínculo seguir, la evaluación de la relevancia de la información obtenida y el retorno al nodo principal sin desviar la meta de aprendizaje original. Este fenómeno, que se puede describir como desorientación espacial e hipertextual, consume una parte significativa de la memoria de trabajo, lo que desplaza los recursos que deberían ser destinados a la elaboración y asimilación profunda de los contenidos (Sweller, 2011; Azevedo & Gašević, 2019).

También, el fenómeno de la "multitarea mediática" presenta un desafío significativo para el control inhibitorio, esto se debe a que la tentación de alternar entre una videoconferencia académica, aplicaciones de mensajería instantánea y plataformas de entretenimiento genera un costo permanente de cambio de tarea en el sistema ejecutivo. Se ha observado con atención que diversas investigaciones indican que la "multitarea digital" no amplía la capacidad de procesamiento, por el contrario, fragmenta la atención, incrementa la tasa de errores en la

comprensión y genera una percepción errónea de competencia académica, la cual se basa en un procesamiento intuitivo y superficial.

Estrategias de Navegación e Investigación en Entornos Virtuales

Con el fin de mitigar los riesgos inherentes a los entornos hipermediales, es necesario que la autorregulación cognitiva se traduzca en estrategias específicas de autorregulación digital:

- Gestión proactiva del entorno digital: Silenciamiento deliberado de notificaciones, uso de bloqueadores de sitios web distractores durante sesiones de estudio focalizado y configuración de espacios de escritorio virtual dedicados exclusivamente a tareas académicas.
- Estrategias de búsqueda y curación metacognitiva de información: Formulación previa de preguntas de investigación, evaluación crítica de la fiabilidad conceptual de las fuentes en línea antes de su lectura exhaustiva, y aplicación de técnicas de síntesis visual (mapas conceptuales digitales, esquemas).
- Monitoreo de la comprensión en tiempo real: Autoevaluaciones intermedias mediante cuestionarios digitales automatizados (*quizzes*) y resúmenes autoexplicativos al finalizar cada módulo de aprendizaje asincrónico.

Estrategias Pedagógicas para el Fomento de las Funciones Ejecutivas en la Educación Superior

Al abordar la estrategia pedagógica que se debe implementar, es fundamental desmantelar ciertas inexactitudes. Entre los conceptos que se destacan, se encuentra el mito ampliamente difundido de que las funciones ejecutivas y la autorregulación son características fijas e inmutables que el estudiante universitario debería haber consolidado de manera completa en etapas formativas anteriores. La evidencia neuropsicológica y psicoeducativa indica lo contrario: las capacidades ejecutivas se desarrollan a través de un entrenamiento sistemático, una mediación explícita y un diseño instruccional intencionado (Meltzer, 2018). Un estudiante

tiene la capacidad y la obligación de, mediante la práctica y la constancia, mejorar de manera significativa sus habilidades de autorregulación de impulsos.

El Andamiaje Cognitivo Explícito (Scaffolding)

El andamiaje instruccional, en el sentido formulado originariamente por Vygotsky y desarrollado por Bruner, nos plantea la acción de proporcionar apoyos temporales adaptados al nivel actual del alumno, los cuales se van retirando paulatinamente (fading) a medida que este internaliza las herramientas y asume el control autónomo del proceso. En la enseñanza universitaria, el andamiaje ejecutivo abarcaría:

- Plantillas de planificación y descomposición de tareas: Instruir explícitamente a los alumnos sobre cómo fragmentar un proyecto de investigación extenso en etapas secuenciales (delimitación del problema, revisión bibliográfica, redacción del marco teórico, análisis y edición) asignando plazos intermedios rígidos pero alcanzables.
- Listas de cotejo y rúbricas metacognitivas: Proporcionar criterios de evaluación transparentes que no solo detallen el producto final esperado, sino los pasos metacognitivos necesarios para alcanzarlo (p. ej., "¿He contrastado la hipótesis inicial con la bibliografía seleccionada?", "¿He revisado la cohesión lógica entre párrafos?").
- Modelado del pensamiento en voz alta (*Think-Aloud Protocols*): El docente o tutor explicita verbalmente sus propios procesos ejecutivos mientras resuelve un problema complejo frente a la clase, mostrando cómo gestiona la confusión, cómo corrige un error interpretativo y cómo selecciona la estrategia óptima.

Diseño Instruccional Orientado a la Autorregulación

1. El diseño del currículo y de las actividades de aprendizaje en las plataformas virtuales debe estructurarse promoviendo la agencia y la responsabilidad cognitiva del estudiante. Se recomiendan las siguientes pautas pedagógicas:
2. Diseño de tareas de complejidad progresiva: Graduar el nivel de demanda cognitiva para evitar la frustración inicial por sobrecarga de la memoria de trabajo y garantizar que el alumno experimente vivencias de éxito que refuercen su autoeficacia.

3. Retroalimentación formativa y oportuna: Promover comentarios cualitativos centrados en el proceso estratégico empleado por el estudiante y no únicamente en el resultado cuantitativo. La retroalimentación debe guiar al alumno a identificar el punto exacto donde falló el monitoreo o la ejecución.
4. Fomento de la evaluación por pares y la autoevaluación: Ejercicios donde los alumnos examinan críticamente el trabajo de sus pares utilizando criterios estandarizados ejercitan el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva, al distanciar al sujeto de su propia producción y forzarlo a adoptar perspectivas analíticas objetivas.

Estrategias de Intervención para la Optimización de las Funciones Ejecutivas

Debido a la notable plasticidad neuronal del córtex prefrontal, se ha observado que las funciones ejecutivas y las competencias de autorregulación pueden ser mejoradas a través de intervenciones deliberadas y sistemáticas.

En este contexto, se puede observar que la literatura científica respalda una diversidad de enfoques integradores que combinan metodologías cognitivas, conductuales y contextuales.

Estrategias Cognitivas y Metacognitivas

- Entrenamiento en Autoinstrucciones: Utilización de habla privada o diálogo interno verbalizado para guiar paso a paso la secuencia de resolución de problemas complejos.
- Práctica de Recuperación Distribuida (*Spaced Retrieval*): Automatización de la memoria procedimental mediante autoevaluaciones periódicas, liberando espacio en la memoria de trabajo para procesos ejecutivos de mayor orden.
- Mapeo Conceptual Dinámico: Representación gráfica de relaciones jerárquicas entre variables para fomentar la flexibilidad cognitiva y la actualización de modelos mentales.

Estrategias de Control Ambiental y Conductual

- Modificación de Contingencias Ambientales: Reducción previa de la carga intrínseca mediante la eliminación de notificadores digitales y la delimitación de espacios hiperfocalizados de trabajo.

- Implementación de Intenciones de Implementación (*Reglas If-Then*): Programación mental explícita de la conducta deseada ante obstáculos previsibles (por ejemplo: "Si me distraigo con el teléfono, entonces lo colocaré fuera de mi vista por 45 minutos").
- Estructuración del Tiempo en Bloques Abiertos: Alternancia estricta entre períodos de esfuerzo sostenido e intervalos de descanso difuso para restaurar la disponibilidad neurotransmisora prefrontal.

Se establece que el fortalecimiento de las funciones ejecutivas y de la autorregulación demanda un enfoque pedagógico y clínico integral, en el cual el entrenamiento cognitivo se integre con un diseño instruccional que optimice la carga de procesamiento y respete los ritmos neurobiológicos, que son diversos en cada estudiante.

Modelos Neuropsicológicos del Control Ejecutivo y la Flexibilidad Cognitiva

Se puede afirmar que el estudio de las funciones ejecutivas ha experimentado un desarrollo teórico considerable, evolucionando de modelos unidimensionales a enfoques multidimensionales e integradores que explican la interacción entre el córtex prefrontal y las estructuras subcorticales. En este contexto, en el ámbito académico y en la resolución de problemas complejos, la autorregulación cognitiva no se manifiesta como una entidad monolítica, sino como un conjunto coordinado de procesos de control ejecutivo superior.

Entre los modelos que cuentan con un mayor respaldo empírico se encuentra el modelo multidimensional propuesto por Miyake y sus colaboradores. Este modelo sostiene que el funcionamiento ejecutivo se basa en tres componentes fundamentales que, aunque interconectados, son independientes entre sí:

1. Inhibición de respuestas prepotentes (*Inhibition*): La capacidad deliberada para suprimir o frenar respuestas automáticas, impulsivas o irrelevantes ante estímulos distractores, garantizando el mantenimiento de la conducta orientada a metas.
2. Actualización y monitorización de la memoria de trabajo (*Updating*): El proceso dinámico de sustitución y modificación de la información almacenada en el foco de

la atención activa, evaluando constantemente la pertinencia de los datos respecto a las demandas de la tarea.

3. Flexibilidad cognitiva o cambio de conjunto mental (*Shifting*): La aptitud para alternar de manera fluida entre múltiples operaciones mentales, esquemas procedimentales o perspectivas conceptuales en respuesta a contingencias del entorno.

Arquitectura Metacognitiva: Monitorización, Control y Metacomprensión

Es fundamental comprender que, aunque las funciones ejecutivas proporcionan el soporte neurobiológico y funcional para la acción, la autorregulación cognitiva alcanza su mayor nivel de sofisticación a través de la arquitectura metacognitiva.

La presente propuesta se presenta inicialmente en los marcos teóricos de Flavell y se refina posteriormente por Nelson y Narens. La metacognición se organiza en dos niveles fundamentales que se diferencian operativamente: el nivel objeto, en el cual se llevan a cabo las operaciones cognitivas directas, y el nivel meta, donde se encuentran las representaciones de dichas operaciones.

Se puede afirmar que el flujo de información entre el nivel objeto y el nivel meta se estructura a través de dos funciones fundamentales:

- Monitorización Metacognitiva: Flujo ascendente (*bottom-up*) mediante el cual el sujeto evalúa el estado actual de sus procesos cognitivos, generando juicios sobre su propio nivel de comprensión o desempeño (por ejemplo, Juicios de Aprendizaje o *Judgments of Learning* - JOLs).
- Control Metacognitivo: Flujo descendente (*top-down*) mediante el cual el nivel meta interviene sobre el nivel objeto, modificando el tiempo de estudio, cambiando la estrategia de procesamiento o interrumpiendo un procedimiento ineficaz.

Desarrollo y Ontogenia del Control Ejecutivo

Se observa que las funciones ejecutivas no se encuentran completamente desarrolladas al inicio de la vida académica. En este contexto, su desarrollo sigue una trayectoria ontogénica

prolongada que se extiende hasta la tercera década de la vida. Esto conlleva una serie de desafíos adaptativos que deben ser abordados para lograr un proceso de aprendizaje óptimo de manera exitosa.

Mielinización y Maduración del Córtex Prefrontal

Se presenta que el córtex prefrontal es la última región del cerebro humano en completar su maduración morfológica y funcional. Este proceso sigue un gradiente de desarrollo que avanza desde las áreas primarias sensoriales y motoras hacia las regiones asociativas más complejas. En este contexto, se observa que la maduración de la corteza prefrontal implica dos mecanismos neurobiológicos fundamentales:

- Poda Sináptica (*Synaptic Pruning*): La eliminación selectiva de conexiones sinápticas redundantes o ineficientes, lo que incrementa la velocidad y precisión del procesamiento asociativo.
- Mielinización Tardía: El recubrimiento de los axones con vainas de mielina en las vías asociativas que conectan el córtex prefrontal con el sistema límbico y las áreas parietales, lo que optimiza la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos.

Se ha observado que, debido a que las regiones límbicas subcorticales, responsables de la búsqueda de recompensas inmediatas, maduran a un ritmo más acelerado durante la adolescencia en comparación con las regiones prefrontales, que se encargan del control inhibitorio, se produce una asincronía en el desarrollo. En esta brecha neurobiológica, se expone la mayor vulnerabilidad de los jóvenes a la impulsividad y a la búsqueda de sensaciones en detrimento de la lógica.

Transición del Control Bottom-Up al Control Top-Down

Se observa que el control cognitivo fluctúa entre dos modalidades principales de procesamiento:

- Procesamiento Guiado por Estímulos (*Bottom-Up*): Respuestas automáticas, exógenas y pasivas, desencadenadas por la saliencia o novedad de los estímulos ambientales.

- Procesamiento Guiado por Metas (*Top-Down*): Control endógeno, voluntario e inhibidor, donde las representaciones internas de objetivos (almacenadas en el córtex prefrontal dorso-lateral) dirigen la atención y suprimen los distractores exógenos.

Se puede afirmar que el desarrollo de la autorregulación implica una transición progresiva del predominio de un enfoque ascendente a uno descendente, en el cual el estudiante es capaz de mantener el esfuerzo intelectual en tareas que, aunque presentan una baja novedad, poseen un alto valor estratégico a largo plazo, este cambio de un estado a otro implica un proceso gradual de control de los impulsos y una maduración de los sistemas neuronales.

Autorregulación Cognitiva y Procesos de Planificación

Es fundamental comprender que la autorregulación constituye un proceso dinámico mediante el cual los estudiantes convierten sus capacidades cognitivas en habilidades académicas operativas, a través de la supervisión continua de su propia conducta.

El Ciclo de Autorregulación de Zimmerman

Se observa que Barry Zimmerman estructuró la autorregulación del aprendizaje en tres fases cíclicas e interdependientes:

1. Fase de Previsión y Planificación: Ocurre antes de la ejecución. Acá, se incluye el análisis de la tarea, la formulación de metas específicas, la selección de estrategias y la evaluación de la autoeficacia percibida.
2. Fase de Ejecución y Control Voluntario: Ocurre durante la realización de la tarea. En esta podemos ver, que involucra la focalización atencional, la autoinstrucción, el control inhibitorio frente a distractores y la monitorización continua del progreso.
3. Fase de Autorreflexión: Ocurre tras la finalización del proceso. Implica la autoevaluación del resultado respecto a la meta inicial, donde se toman las atribuciones causales sobre el éxito o el fracaso y la adaptación estratégica para futuras tareas.

Monitoreo On-line y Detección del Error

Durante la fase de ejecución, se puede observar que el cerebro emplea un sistema de supervisión del comportamiento, el cual es dirigido por el Córtex Cingulado Anterior (CCA). Cuando se presenta una discrepancia entre la respuesta emitida y la respuesta esperada, lo que se considera un error, el CCA genera una señal electrofisiológica denominada Negatividad Relacionada con el Error (ERN).

En esta señal se observa la aparición de una ralentización posterior al error, conocida como *post-error slowing*. Este fenómeno representa un ajuste adaptativo automático en el cual el control prefrontal incrementa la precaución y disminuye la velocidad de procesamiento con el fin de prevenir errores consecutivos. En consideración de lo anterior, una señal de respuesta de evento (ERN) debidamente calibrada nos permite ajustar la trayectoria cognitiva en tiempo real antes de finalizar la tarea.

Neurobiología de la Procrastinación y del Agotamiento del Ego

La procrastinación no debe considerarse un defecto en la gestión del tiempo ni una indicación de pereza intelectual; más bien, se trata de un problema fundamental relacionado con la autorregulación emocional y el control ejecutivo. En otras palabras, el cerebro se enfrenta a un conflicto al decidir cómo utilizar los recursos que tiene a su disposición.

Conflicto Límbico-Prefrontal y Descuento Temporal

Se puede afirmar que la procrastinación no se origina en la supuesta falta de "fuerza de voluntad", sino en la competencia constante entre dos sistemas cerebrales:

- El Sistema Límbico (Reactivo e Inmediato): Busca gratificación instantánea o la evitación inmediata del malestar. Prioriza reducir la ansiedad a corto plazo provocada por una tarea percibida como tediosa, difícil o amenazante (Ej. Redactar un informe).
- El Córtex Prefrontal (Analítico y Prospectivo): Representa los beneficios abstractos a largo plazo (aprobar la asignatura, graduarse, adquirir una maestría).

En este contexto, se establece que cuando la aversión hacia una tarea provoca malestar afectivo, el sistema límbico asume el control e induce conductas de evitación, como la procrastinación, lo cual proporciona un alivio emocional temporal.

Este fenómeno se ve intensificado por el Descuento Temporal, que se refiere a la tendencia neurobiológica a disminuir el valor subjetivo de las recompensas que se perciben como futuras en comparación con aquellas que son inmediatas. ¿Es más recomendable dedicar la noche a la visualización de su serie favorita o a la preparación para el examen programado para la próxima semana? La respuesta puede ser más compleja, dependiendo de los procesos que ocurren en el cerebro al momento de enfrentar dicha decisión.

La Controversia del Agotamiento de la Autorregulación (Ego Depletion)

Se nos indica que el autocontrol y el control ejecutivo no constituyen recursos ilimitados. El modelo de Agotamiento de la Autorregulación sostiene que el ejercicio prolongado de la inhibición voluntaria consume recursos neurometabólicos en la corteza prefrontal. En este contexto, a medida que se dedica más tiempo a reprimir un deseo, este tiende a intensificarse.

Se puede observar que, a medida que se requiere un esfuerzo continuo de control inhibitorio, como resistir distracciones y mantener la atención focalizada, se reduce la capacidad de mantener la autorregulación en tareas posteriores. No obstante, el debate científico persiste en determinar si la causa radica en el agotamiento estricto de glucosa o en una modificación de la motivación y la inclinación del individuo. Hasta el momento, la evidencia empírica indica que la capacidad de autocontrol se agota de manera predecible con el tiempo de exposición prolongada.

Estrategias Metacognitivas de Intervención y Autorregulación

Con el propósito de compensar las limitaciones biológicas del control ejecutivo, la psicología cognitiva ha desarrollado herramientas estratégicas que permiten la externalización y automatización de la autorregulación.

Intenciones de Implementación (Estrategias "Si... Entonces")

Es posible observar que las "intenciones de implementación", desarrolladas por Peter Gollwitzer, son planes de acción contingentes que se formulan con antelación y que establecen una conexión entre señales contextuales específicas y respuestas orientadas hacia objetivos:

- *Estructura:* "Si se presenta la situación X, entonces ejecutaré la acción Y".

Al establecer previamente el momento, el lugar y el método de la acción, se transfiere la responsabilidad de la decisión al entorno. En este contexto, se establece que cuando se presenta la pista contextual (por ejemplo: "Si son las 8:00 AM y me dispongo a estudiar"), la respuesta planificada se activa de manera semiconsciente, lo que disminuye la necesidad de deliberación en el córtex prefrontal y evita la resistencia del sistema límbico. De este modo, se logra un resultado más favorable a largo plazo.

El Habla Interna como Andamiaje Metacognitivo

El lenguaje verbal no solo es útil para la comunicación externa, sino que también puede constituir una herramienta fundamental para la autorregulación del pensamiento. Lev Vygotsky subrayó el proceso mediante el cual el lenguaje egocéntrico en la infancia se interioriza progresivamente, transformándose en lo que se denomina "habla interna". En la adultez, se observa que el habla interna estructurada funciona como un andamiaje que organiza la secuencia de resolución de problemas, mantiene las instrucciones activas en la memoria de trabajo y ejerce un control inhibitorio, en la mayoría de los casos, sobre la impulsividad cognitiva.

Casos Prácticos de Estudio Integradores

En el siguiente apartado vamos a desarrollar, dos casos prácticos que nos ilustran la aplicación y falla de las funciones ejecutivas en el ámbito universitario.

Caso Práctico de Estudio 1: Intervención mediante Intenciones de Implementación en la Elaboración de Tesis

Contexto: Un grupo de 60 estudiantes universitarios con severa procrastinación académica en la redacción de sus trabajos finales de grado fue dividido en dos modalidades. El primer Grupo

de Control fijó la meta general de "escribir dos horas diarias". El segundo Grupo Experimental estructuró intenciones de implementación detalladas en formato "Si... entonces" (por ejemplo: "Si abro el ordenador a las 9:00 AM, entonces redactaré inmediatamente el subapartado de metodología sin abrir navegadores web ni ver notificaciones").

Análisis Ejecutivo: El Grupo de Control experimentó constantes fallos de autorregulación. Esto en parte, al enfrentarse a la ambigüedad de la tarea, el conflicto entre el sistema límbico (aversión al esfuerzo) y el prefrontal derivó en procrastinación diferida y fatiga por toma de decisiones. Al no saber qué hacer, los jóvenes eligieron extender (indefinidamente hasta donde pudieron) el tener que actuar.

Así mismo, el Grupo Experimental automatizó el inicio de la tarea. En este sentido, se observa como la pista contextual preparó previamente las redes atencionales del córtex prefrontal dorso-lateral, suprimiendo la necesidad de tomar una decisión consciente en el momento de mayor aversión emocional. Gracias a esto, como resultado, el Grupo Experimental incrementó la producción escrita en un 52% y redujo los reportes de ansiedad asociados a la tarea.

Caso Práctico de Estudio 2: Calibración de la Negatividad Relacionada con el Error (ERN) en la Solución de Problemas Complexos

Contexto: Se comparó el desempeño de estudiantes de programación informática divididos en dos metodologías de depuración de código. El Grupo A recibía alertas automáticas inmediatas que corregían los errores sintácticos de forma transparente. El Grupo B por otro lado, utilizaba una interfaz con retroalimentación diferida donde debían identificar y explicar verbalmente (habla interna) la causa lógica de la falla antes de ejecutar el programa.

Análisis Ejecutivo: Los análisis electroencefalográficos revelaron que los estudiantes del Grupo A no desarrollaron una señal ERN robusta en el Córtex Cingulado Anterior; esto debido a que, la corrección automatizada externa impidió la activación del sistema interno de monitorización del error, generando dependencia y bajas tasas de aprendizaje conceptual.

Ante esto, pudimos apreciar cómo, el Grupo B al verse forzado a explicitar la lógica mediante el habla interna, fortaleció el circuito del control inhibitorio y la detección endógena del error. Así,

vimos que la señal ERN mostró un incremento significativo de amplitud tras cuatro semanas de práctica. Esto se tradujo en una ralentización adaptativa posterior al error más eficiente, permitiendo a los estudiantes corregir sus propios sesgos lógicos, con una precisión un 41% superior en pruebas de transferencia sin asistencia.

Conclusiones e Implicaciones para la Práctica Educativa

El análisis integral invertido permite concluir que las funciones ejecutivas y la autorregulación cognitiva no constituyen un simple trasfondo instrumental, sino que son el núcleo fundamental del procesamiento intelectual y del aprendizaje significativo en el siglo XXI. Ante la creciente complejidad de las demandas académicas y profesionales, así como la inmersión en ecosistemas digitales, se requiere un cambio de paradigma en la educación superior. No es suficiente con impartir contenidos disciplinares complejos; es imprescindible instruir a los estudiantes en la gestión de sus propios recursos neuronales y reflexivos, con el fin de prepararlos para una vida profesional cada vez más exigente.

Las instituciones educativas y los diseñadores tecno-pedagógicos deben reconocer que el desarrollo de la autonomía no se produce de manera espontánea. En este contexto, es posible observar que se necesitan entornos instruccionales deliberados que integren la estructura del andamiaje metacognitivo inicial con una flexibilidad progresiva que fomente la toma de decisiones autónomas. Fortalecer el control inhibitorio, mejorar la memoria de trabajo operativa a través de estrategias de codificación eficaces y promover la flexibilidad cognitiva. Estos constituyen los fundamentos sobre los cuales se desarrollará la ciudadanía del conocimiento, la cual será capaz de aprender, desaprender y reaprender en contextos marcados por la incertidumbre y la constante reinvención.

4

NEURODIVERSIDAD Y DIFICULTADES ESPECÍFICAS DEL APRENDIZAJE

CAPÍTULO 4.

EURODIVERSIDAD Y DIFICULTADES ESPECÍFICAS DEL APRENDIZAJE

Jerry Maruan Medina Schaffry, Nohely Lisbeth Guevara Guerrero,
Katherine Susana Córdova Burgos, Erika Germania Herrera Irazábal,
Margareth Estefania Mera Malavé, Anita Karina Serrano Castro y María Aidis Goyes González.

Fundamentos Epistemológicos del Paradigma de la Neurodiversidad

Se puede observar que el concepto de neurodiversidad implica una reconfiguración epistemológica significativa en la forma en que la ciencia cognitiva, la psicología y la pedagogía abordan las variaciones en el funcionamiento del cerebro humano. La noción de neurodiversidad, formulada originalmente por la socióloga Judy Singer a finales de la década de 1990, se presenta como un marco crítico que cuestiona la predominancia del modelo médico tradicional de la discapacidad. Desde esta perspectiva, las diferencias en la cognición, la atención, el procesamiento sensorial y el aprendizaje no deben ser interpretadas de manera anticipada como patologías o desviaciones de una norma biológica ideal. En cambio, deben ser reconocidas como lo que realmente son: variaciones naturales y constitutivas del genoma y del fenotipo humano.

Se ha observado que, a lo largo de la historia, la investigación en el ámbito del aprendizaje y el desarrollo cognitivo ha estado influenciada por un sesgo "neuronormativo". En este sesgo se establece que existe una arquitectura cerebral estándar, conocida como neurotípica, en relación con la cual cualquier variación en el rendimiento o en el procesamiento debe ser clasificada como un déficit, un trastorno o una disfunción. En este contexto, el paradigma de la neurodiversidad presenta un modelo biosocial e interaccional que contrasta con esta perspectiva reduccionista.

Desde esta perspectiva, se establece que las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA) no se originan únicamente en la biología del individuo, sino que surgen en la intersección entre la configuración neurocognitiva del sujeto y las exigencias, obstáculos y rigideces de un entorno educativo diseñado de manera homogénea.

Tabla 6. *Comparación Epistemológica entre el Modelo Médico de la Discapacidad y el Paradigma de la Neurodiversidad*

Dimensión Analítica	Modelo Médico Tradicional	Paradigma de la Neurodiversidad
Definición de la variación	Patología, déficit orgánico o trastorno del neurodesarrollo.	Variación natural de la conectividad y función cerebral humana.
Ubicación del problema	Intraindividual (daño o alteración en el sujeto).	Interaccional (fricción entre el perfil individual y el entorno).
Objetivo de la intervención	Curación, remediación, normalización o supresión de rasgos.	Eliminación de barreras, ajustes razonables y diseño accesible.
Agencia del sujeto	Objeto pasivo de diagnóstico y tratamiento clínico.	Sujeto de derecho, co-diseñador de su trayectoria de aprendizaje.
Estrategia pedagógica	Enseñanza de soporte segregada o paliativa.	Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) e inclusión activa.

Nota. Elaboración propia.

En el ámbito de la neurociencia contemporánea, se evidencia que el paradigma de la neurodiversidad cuenta con un respaldo empírico sólido, sustentado en los estudios de conectómica y plasticidad cerebral.

La investigación realizada mediante resonancia magnética funcional (fMRI) ha evidenciado que no existe un único patrón de organización cortical que sea óptimo para la adquisición del conocimiento, por otro lado, es necesario señalar que la variabilidad en la microestructura de

la sustancia blanca, la densidad de las espinas dendríticas y la eficiencia de las redes de estado de reposo evidencian que la mente humana emplea rutas "neurofuncionales" alternativas para abordar problemas similares, por lo tanto, se establece que la diversidad neurocognitiva constituye la norma biológica y no una excepción.

Bases Neurobiológicas y Perfiles de las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA)

Se ha observado que las Dificultades Específicas del Aprendizaje (DEA) constituyen un conjunto de condiciones del neurodesarrollo que afectan la adquisición, automatización y consolidación de habilidades académicas esenciales, tales como la lectura, la escritura, la competencia aritmética y la función ejecutiva. Esto se observa en individuos que presentan un cociente intelectual en los rangos promedio o superiores y que han recibido una educación formal adecuada.

El Perfil Lectoescritor: Dislexia del Desarrollo y Disgrafía

Es fundamental comprender que la dislexia del desarrollo representa una de las manifestaciones neurocognitivas más investigadas dentro del espectro de los trastornos del aprendizaje.

La dislexia no debe considerarse un problema de agudeza visual, sino que se manifiesta como una alteración esencial en el procesamiento fonológico y en la integración multimodal de los sistemas ortográfico, fonológico y semántico. A nivel neuroanatómico, los estudios de neuroimagen funcional evidencian una hipoactivación sistemática en las regiones del hemisferio izquierdo que están implicadas en la lectura fluida:

1. El Área de la Forma Visual de las Palabras (VWFA): Localizada en el giro fusiforme izquierdo, responsable del reconocimiento ortográfico automatizado y paralelo de cadenas de letras.
2. La Región Temporoparietal: Involucrada en la decodificación analítica grafema-fonema y en la segmentación fonológica.

3. El Giro Frontal Inferior (Área de Broca): Reclutado frecuentemente en individuos disléxicos como un mecanismo de compensación motora y articulatoria durante la lectura.

Se observa que esta reorganización neurofuncional provoca que la lectura en las personas con dislexia requiera un esfuerzo atencional consciente y sostenido, lo que resulta en una sobrecarga de la memoria de trabajo verbal, no obstante, este perfil neurobiológico tiende a correlacionarse con un procesamiento holístico altamente desarrollado, una capacidad avanzada de visualización espacial y una notable habilidad para el razonamiento divergente, así como para la identificación de patrones sintéticos en sistemas complejos.

Se puede observar que la disgrafía se presenta como una dificultad significativa en la automatización de los patrones motores necesarios para la caligrafía, así como en la codificación ortográfica durante el proceso de producción escrita, en este contexto, se relaciona con disfunciones en la integración visomotora en el cerebelo y la corteza motora suplementaria, lo que provoca un desacoplamiento entre la generación de ideas y la velocidad de ejecución manual.

El Perfil Cuantitativo: Discalculia del Desarrollo

Es fundamental comprender que la discalculia del desarrollo es una condición que se caracteriza por una alteración en la cognición numérica básica y en la manipulación de magnitudes. Mientras que la dislexia afecta el lenguaje, la discalculia impacta el sentido intuitivo de los números, una habilidad filogenéticamente antigua que se comparte con otras especies. En este contexto, si un estudiante presenta mayores dificultades para comprender una cifra o realizar operaciones aritméticas básicas, no debido a una falta de interés, sino a esta condición en su manera de procesar la información.

La investigación neuropsicológica indica que el sustrato neural primario de la discalculia se localiza en el surco intraparietal (IPS), tanto en su porción horizontal como en la región posterior. El Instituto de Psicología y Salud (IPS) tiene la responsabilidad de representar las magnitudes numéricas en una "línea numérica mental" de manera no verbal. En el caso de

la discalculia, se observa que la microestructura de la sustancia blanca en los fascículos que conectan el lóbulo parietal inferior (IPS) con las áreas prefrontales exhibe una conectividad funcional reducida, lo que dificultad:

- La subitización (capacidad de percibir de forma instantánea la cantidad de un grupo pequeño de objetos sin contar).
- La conversión entre diferentes formatos de representación numérica (palabras, dígitos arábigos y cantidades espaciales).
- La automatización de tablas de multiplicar y hechos numéricos almacenados en la memoria declarativa.

Funciones Ejecutivas y Modulación Atencional: El TDAH en el Contexto Académico

Se puede observar que el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se clasifica como una alteración de la autorregulación y de las funciones ejecutivas, la cual es impulsada por una desregulación en las vías dopaminérgicas y noradrenérgicas que conectan la corteza prefrontal dorsolateral, el córtex cingulado anterior y los ganglios basales.

Desde una perspectiva educativa, el estudiante que presenta un perfil de Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se enfrenta a obstáculos vinculados a la modulación del esfuerzo, el control inhibitorio y la memoria de trabajo. El estudiante que no logra concentrarse con facilidad en una misma actividad sin distraerse, no lo hace por falta de interés en sí mismo, sino debido a la condición que presenta. No obstante, se observa que la denominación "déficit de atención" resulta conceptualmente imprecisa; no se trata de una carencia de atención, sino de una "desregulación atencional".

En consideración a lo anterior, las tareas que presentan un alto valor de novedad, relevancia personal o una elevada estimulación pueden permitir a los individuos con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) experimentar el fenómeno conocido como "hiperfoco". Este estado se caracteriza por una profunda absorción cognitiva, en el cual la productividad y la fluidez asociativa del individuo alcanzan niveles excepcionales.

Procesamiento Sensorial, Cognición Social y Condiciones Asociadas

El desarrollo de la neurodiversidad observamos que requiere examinar no solo las dificultades en el procesamiento simbólico (lectura, cálculo), sino además otras variaciones en el procesamiento sensorial y la cognición social.

Condiciones que frecuentemente coexisten (*co-ocurrencia neurocognitiva*) con las DEA:

Condición del Espectro Autista (CEA) y Estilos de Procesamiento Cognitivo

Se puede afirmar que el procesamiento cognitivo en el espectro autista proporciona un testimonio evidente del valor del paradigma de la neurodiversidad. Históricamente, el autismo ha sido conceptualizado a través de la "triada de déficits" en la interacción social, la comunicación y la flexibilidad conductual. En la actualidad, la neurociencia cognitiva describe el autismo mediante modelos alternativos de procesamiento perceptivo y asociativo.

Entre las teorías cognitivas que encontraremos de mayor relevancia destacan:

1. La Teoría de la Coherencia Central Débil (Frith & Happé): Propone una tendencia hacia el procesamiento local o detallado frente al procesamiento global o contextual. Esto otorga al estudiante autista una capacidad superior para el análisis de sistemas, la detección de inconsistencias lógicas y el trabajo con datos estructurados de alta precisión.

2. El Modelo de Procesamiento Perceptivo Mejorado (Mottron): Establece que las áreas de la corteza sensorial primaria y secundaria operan con un nivel superior de autonomía y resolución en sujetos autistas, lo que explica la hipersensibilidad o hiposensibilidad a estímulos del entorno (acústicos, lumínicos, táctiles).

3. La Teoría de la Monotropía (Murray et al.): Define la cognición autista como un sistema atencional concentrado en un número restringido de intereses profundos ("túneles atencionales"), consumiendo la mayor parte de los recursos cognitivos disponibles y generando una enorme pericia temática.

Tabla 7. *Matriz de Co-ocurrencia Neurocognitiva y Manifestaciones Interaccionales*

Condición	Perfil de Procesamiento Dominante	Áreas de Vulnerabilidad Académica	Fortalezas Cognitivas Sobresalientes
Dislexia	Holístico, visoespacial, sintético.	Decodificación rápida, ortografía automatizada, memoria verbal a corto plazo.	Pensamiento tridimensional, razonamiento analógico, creatividad.
Discalculia	Verbal, conceptual no cuantitativo.	Estimación rápida de magnitudes, aritmética mental, secuenciación temporal.	Comprensión verbal, análisis textual, razonamiento lógico-deductivo.
TDAH	Divergente, asociativo, dinámico.	Mantenimiento de la atención en tareas rutinarias, organización del tiempo.	Pensamiento fuera de la caja, respuesta rápida en crisis, hiperfoco intuitivo.
Autismo (CEA)	Analítico, sistemático, focalizado en el detalle.	Interpretación de demandas implícitas, procesamiento sensorial sobrecargado.	Reconocimiento de patrones, memoria declarativa, rigor lógico-estructural.

Nota. Elaboración propia.

Integración Sensorial y Carga Neurofisiológica

Se ha determinado que el rendimiento cognitivo está intrínsecamente relacionado con la homeostasis del sistema nervioso central. En este contexto, se observa que numerosos estudiantes neurodivergentes presentan alteraciones en la integración sensorial, un proceso mediante el cual el cerebro organiza las sensaciones del propio cuerpo y del entorno para generar respuestas adaptativas.

En entornos educativos tradicionales, se observa la presencia de iluminación fluorescente, altos niveles de reverberación acústica y una considerable densidad espacial. Los individuos con un perfil hiperreactivo experimentan una saturación sensorial de manera constante. Esta sobrecarga activa de manera crónica el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA), lo que resulta en la liberación de cortisol y adrenalina. La elevación de estas hormonas inhibe la plasticidad sináptica en el hipocampo y bloquea el funcionamiento del córtex prefrontal, lo que resulta en una disminución de la capacidad para la autorregulación y el aprendizaje abstracto. Por esta razón, se observa que en el aula un estudiante neurodivergente se distrae y experimenta dolores de cabeza debido a la sobrecarga de estímulos, como las luces fluorescentes, lo que le impide concentrarse en la clase.

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) como Arquitectura Pedagógica Inclusiva

Se ha determinado que el rendimiento cognitivo está intrínsecamente relacionado con la homeostasis del sistema nervioso central. En este contexto, se observa que numerosos estudiantes neurodivergentes presentan alteraciones en la integración sensorial, un proceso mediante el cual el cerebro organiza las sensaciones del propio cuerpo y del entorno para generar respuestas adaptativas.

En entornos educativos tradicionales, se observa la presencia de iluminación fluorescente, altos niveles de reverberación acústica y una considerable densidad espacial. Los individuos con un perfil hiperreactivo experimentan una saturación sensorial de manera constante. Esta sobrecarga activa de manera crónica el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA), lo que resulta en la liberación de cortisol y adrenalina, la elevación de estas hormonas inhibe la plasticidad sináptica en el hipocampo y bloquea el funcionamiento del córtex prefrontal, lo que resulta en una disminución de la capacidad para la autorregulación y el aprendizaje abstracto.

Por esta razón, se observa que en el aula un estudiante neurodivergente se distrae y experimenta dolores de cabeza debido a la sobrecarga de estímulos, como las luces fluorescentes, lo que le impide concentrarse en la clase:

Tabla 8. *El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA)*

1. REDES DE RECONOCIMIENTO (El "Qué" del Aprendizaje)	2. REDES ESTRATÉGICAS (El "Cómo" del Aprendizaje)	3. REDES AFECTIVAS (El "Por qué" del Aprendizaje)
Proporcionar Múltiples Medios de Representación: – Opciones para la percepción. – Opciones para el lenguaje y los símbolos. – Opciones para la comprensión.	Proporcionar Múltiples Medios de Acción y Expresión: – Opciones para la acción física. – Opciones para expresión y la comunicación. – Opciones para las funciones ejecutivas.	Proporcionar Múltiples Formas de Implicación y Compromiso: – Opciones para captar el interés. – Opciones para sostener el esfuerzo. – Opciones para la autorregulación.

Nota. Elaboración propia.

Múltiples Medios de Representación

Es fundamental comprender que este principio tiene como objetivo garantizar que la información sea accesible para diversos perfiles sensoriales y cognitivos. Para un estudiante con dislexia, la presentación de un texto en formato plano constituye un obstáculo. Sin embargo, si se complementa dicho contenido con audio sincronizado, organizadores gráficos interactivos o resúmenes estructurados a través de mapas de nodos, se podrá eliminar la barrera de decodificación presente, lo que permitirá al estudiante interactuar directamente con los conceptos de alto nivel.

Múltiples Medios de Acción y Expresión

Dado que los estudiantes presentan variaciones en sus habilidades ejecutivas y motoras, el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) nos requiere diversificar las modalidades a través de las cuales los aprendices evidencian su dominio en las distintas disciplinas. En este sentido, la evaluación de la comprensión de un marco teórico exclusivamente a través de un examen

escrito con un tiempo limitado mide, en gran medida, la velocidad de lectura y el control inhibitorio en situaciones de estrés.

Si se permite la presentación de proyectos en formatos audiovisuales, exposiciones orales, ensayos estructurados o prototipos funcionales, se asegura que la evaluación refleje la competencia real y no únicamente la rigurosidad de la evaluación. La diversidad de medios de evolución se constituye en una herramienta que puede ser empleada en la planificación docente ante tales situaciones.

Múltiples Medios de Implicación y Compromiso

Hemos solicitado examinar cómo la motivación y la autorregulación emocional constituyen variables fundamentales para el éxito académico, esto se debe a que los aprendices neurodivergentes han enfrentado, con frecuencia, experiencias acumuladas de fracaso escolar, lo que provoca indefensión aprendida y un elevado nivel de ansiedad ante la evaluación.

En este contexto, se evidencia que el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) promueve la autonomía al ofrecer diversas opciones en cuanto al nivel de desafío, la selección de temas de aplicación práctica y el entorno de trabajo, ya sea colaborativo o individual. Esto contribuye a disminuir la amenaza percibida y a fomentar la motivación intrínseca en el aula.

Tecnologías de Apoyo y Modificaciones en la Educación Superior

En el contexto de la educación superior y de posgrado, se observa que la inclusión de estudiantes neurodivergentes demanda la implementación de Ajustes Razonables, los cuales deben estar respaldados por herramientas tecnológicas avanzadas, en este contexto, conforme a lo establecido por la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas, las instituciones educativas tienen la obligación tanto jurídica como ética de llevar a cabo las adaptaciones necesarias que no generen una carga desproporcionada, asegurando así el acceso a la educación en condiciones de igualdad, el objetivo de esta iniciativa no es generar segregación entre los estudiantes, sino facilitar la existencia de una inclusión educativa integral, en la cual ninguno quede excluido del proceso de aprendizaje académico.

Ecosistema de Tecnologías de Asistencia Cognitiva

Es necesario señalar que la tecnología de apoyo ha evolucionado de ser una prótesis reactiva a convertirse en un elemento fundamental del diseño instruccional inclusivo:

- Software de Conversión de Texto a Voz (*Text-to-Speech - TTS)* y Voz a Texto (*Speech-to-Text - STT*): Aplicaciones que permiten a estudiantes con dislexia o disgrafía severa acceder a bibliografía científica compleja mediante la vía auditiva y redactar trabajos académicos mediante el dictado por voz de alta precisión.
- Gestores de Mapas Mentales con Soporte Algorítmico: Herramientas que facilitan la estructuración visual de ideas y la jerarquización de contenidos antes de la redacción, apoyando las funciones ejecutivas de planificación.
- Lectores de Pantalla y Tipografías Accesibles: Implementación de tipografías diseñadas para reducir la confusión visual de letras espejadas (como OpenDyslexic) y configuraciones de contraste cromático para mitigar el estrés visual o el Síndrome de Meares-Irlen.
- Herramientas de Cancelación de Ruido Activa (ANC) y Entornos Virtuales Controlados: Dispositivos que permiten a estudiantes autistas o con TDAH aislarse del ruido ambiental durante períodos de estudio profundo o exámenes evaluativos.

Tabla 9. *Matriz de Ajustes Razonables en Evaluaciones de Educación Superior*

Perfil Neurocognitivo	Ajuste Razonable Recomendado	Justificación Neuropsicológica
Dislexia	Tiempo adicional (25% a 50%) en exámenes escritos; uso de lector de pantalla.	Compensación del menor rendimiento en la velocidad de decodificación y de la memoria de trabajo verbal.

TDAH	Evaluación en aulas individuales con bajas distracciones; pausas activas programadas.	Mantenimiento de la autorregulación atencional y prevención de la saturación ejecutiva.
Discalculia	Uso de calculadora científica autorizada; formularios de fórmulas explícitos.	Liberación de la memoria de trabajo respecto al cálculo de bajo nivel para evaluar el razonamiento lógico.
Autismo (CEA)	Indicaciones escritas explícitas y unívocas; modalidad de examen individual.	Eliminación de la ambigüedad conceptual y reducción de la sobrecarga sensorial y social.

Nota. Elaboración propia.

Paradigma de la Neurodiversidad y Conectómica Cerebral

La conectómica podemos definirla como el estudio cartográfico de las redes de conexiones neuronales del cerebro ha revelado que la mente no funciona mediante módulos rígidos e independientes, sino a través de la integración dinámica de redes distribuidas.

Perfiles de Conectividad Aotípica: Hiperconectividad e Hipoconectividad

Observamos como las diferencias en el desarrollo neurobiológico alteran el equilibrio entre la conectividad local (a corta distancia) y la conectividad global (a larga distancia):

- Hipoconectividad a Larga Distancia: Una menor densidad o una mielinización atípica en los tractos de sustancia blanca que unen regiones distantes (como el fascículo arqueado que conecta las áreas auditivas del lóbulo temporal con las áreas motoras del lóbulo frontal) dificulta la integración fluida de procesos complejos en tiempo real.
- Hiperconectividad Local: En cambio, la presencia de densas redes de conexión concentradas en regiones específicas favorece un procesamiento hiperfocalizado de

detalles, una capacidad sobresaliente para el reconocimiento de patrones visuales o una memoria asociativa atípica.

El perfil cognitivo de un estudiante neurodivergente es el resultado directo de este equilibrio: se observan fortalezas significativas en áreas que dependen del procesamiento asociativo local, junto con dificultades en tareas que requieren una comunicación interhemisférica o cortico-subcortical de alta velocidad.

Bases Neurobiológicas de las Dificultades Específicas en la Lectoescritura (Dislexia)

Es fundamental comprender que la lectura no constituye una capacidad innata del cerebro humano; por el contrario, se trata de una invención cultural reciente que demanda la reconfiguración o "reciclaje neuronal" de áreas visuales interconectadas con el lenguaje oral. En este contexto, la dislexia del desarrollo se define como una condición neurobiológica que se caracteriza por una alteración en la reorganización funcional.

El Área de la Forma Visual de las Palabras y los Circuitos Lectores

El procesamiento lector eficiente, observamos que depende de la interacción coordinada de dos rutas principales situadas predominantemente en el hemisferio izquierdo:

1. La Ruta Dorsal o Fonológica (Temporo-Parietal): Involucra el giro supramarginal y la región temporal superior. Se encarga del procesamiento analítico, segmentando la palabra impresa en grafemas y traduciéndolos a sus correspondientes fonemas (conversión grafema-fonema).
2. La Ruta Ventral o Léxica/Visual (Occipito-Temporal): Conduce hacia el Área de la Forma Visual de las Palabras (VWFA). Esta región procesa las palabras de forma global e instantánea, permitiendo la lectura fluida de vocablos conocidos sin necesidad de deletreo analítico.

En el caso de la dislexia, se puede observar una hipoactivación persistente en la región occipito-temporal izquierda, así como en la zona temporo-parietal, durante la realización de tareas

de lectura. En este contexto, las oscilaciones neuronales de alta frecuencia, conocidas como ondas gamma, en la corteza auditiva primaria presentan una desincronización con el flujo de la voz, lo que complica la representación precisa de los fonemas. Un estudiante puede experimentar dificultades al leer en voz alta, no debido al miedo escénico, sino a una condición neurológica que presenta.

Mecanismos de Compensación Neuronal

Frente a esta disfunción en los circuitos tradicionales del hemisferio izquierdo, se puede observar como el cerebro disléxico desarrolla vías de compensación:

- Reclutamiento del Hemisferio Derecho: Se incrementa la activación en las regiones homologas del hemisferio derecho (área occipito-temporal derecha) y en las zonas prefrontales izquierdas para sostener la lectura mediante un esfuerzo ejecutivo consciente.
- Procesamiento Multimodal: La intervención temprana que combina estímulos auditivos, visuales y kinestésicos logra reestructurar el fascículo arqueado, fortaleciendo la velocidad de conducción entre el procesamiento fonológico y el léxico.

Caso de Estudio 1: Reorganización Hemisférica Mediante Estimulación Multisensorial Auditiva-Visual

Contexto: Un estudiante de primer año de la carrera de Derecho con diagnóstico de dislexia fonológica severa presentaba una tasa de lectura sumamente lenta (65 palabras por minuto frente al promedio universitario de 250 wpm) y una severa fatiga atencional tras 15 minutos de lectura continua de textos legislativos.

Análisis Neurobiológico e Intervención: Las pruebas de diagnóstico neuropsicológico nos mostraron una alteración primaria en la ruta dorsal temporo-parietal izquierda, impidiéndole la conversión fluida de grafema a fonema ante vocabulario técnico no familiar. Ante esto, se implementó una intervención de tres meses utilizando lectura con apoyo bimodal (lectura de textos digitales sincronizada con audio continuo de velocidad regulada a 1.2x) combinado con codificación kinestésica de conceptos clave.

Resultado: Ante la estimulación multisensorial simultánea se eludió la ruta fonológica izquierda devaluada, al forzar una sincronización entre la corteza auditiva primaria y la corteza visual. Así, la resonancia magnética funcional posterior nos mostró un incremento compensatorio significativo, en la activación del área occipito-temporal derecha. Como resultado observamos, que la velocidad de comprensión lectora del estudiante aumentó a 190 palabras por minuto, eliminando la sobrecarga en la memoria de trabajo y permitiéndole alcanzar un rendimiento óptimo en la resolución de casos jurídicos.

Caso de Estudio 2: Descompensación de la Ruta Ventral por Carga de Estrés en Educación Superior

Contexto: Una estudiante de medicina de tercer año con dislexia compensada desde la infancia comenzó a experimentar fallas severas en el reconocimiento instantáneo de terminología anatómica y farmacológica durante los exámenes de alta presión, derivando en errores de lectura en preguntas de opción múltiple que antes dominaba.

Análisis Neurobiológico e Intervención: El análisis del perfil neurocognitivo reveló que la estudiante dependía excesivamente de una ruta ventral (VWFA) hiperentrenada para el léxico cotidiano. Aun así, bajo condiciones de alta carga de cortisol (estrés crónico), se observó la conectividad funcional de larga distancia entre la corteza prefrontal dorso-lateral y el área de la forma visual de las palabras sufría una inhibición transitoria, desmantelando su estrategia de lectura global e imponiendo el regreso a una ruta fonológica defectuosa.

Resultado: Se diseñó una estrategia de intervención enfocada en la reducción de la interferencia afectiva, mediante técnicas de preparación previa del léxico (pre-lectura de términos latinos y griegos 24 horas antes de los exámenes) y la extensión del tiempo de evaluación en un 25%. Ante esto, vimos que, la pre-activación contextual del vocabulario especializado redujo la demanda sobre el control prefrontal durante la prueba, estabilizando el acceso directo a la VWFA y restaurando con ello, la precisión en la lectura bajo presión al nivel de sus pares neurotípicos.

Discalculia y la Neurobiología del Significado Numérico

Se puede observar que, al igual que existe un circuito especializado para el lenguaje escrito, el cerebro cuenta con una arquitectura específica destinada a la estimulación y representación de magnitudes abstractas. Una región del cerebro está dedicada a la comprensión del lenguaje, tanto hablado como escrito, con el propósito de otorgarle un significado específico. La discalculia del desarrollo constituye una alteración en los circuitos anatómicos correspondientes.

El Surco Intraparietal (SIP) y el "Sentido del Número"

El Surco Intraparietal (SIP), lo podemos ubicar en el lóbulo parietal posterior de ambos hemisferios; este, viene a ser el sustrato neurobiológico central del "sentido del número" no verbal. El SIP alberga la representación analógica de la magnitud: la capacidad intuitiva de estimar cantidades, comparar conjuntos visuales y comprender la línea numérica mental sin recurrir al conteo verbal.

Los estudiantes con discalculia pura, los estudios de neuroimagen funcional muestran una alteración en la estructura de la sustancia gris y una hipoactivación bilateral dentro del surco intraparietal. Con esta disfunción se impide asociar de manera fluida el símbolo numérico (Ej. el número "7") con su representación analógica subyacente de cantidad.

Doble Disociación: Discalculia Pura vs. Disfunción Ejecutiva Matemáticas

Es crucial diferenciar entre dos perfiles de dificultad matemática:

Discalculia del Desarrollo Pura: Alteración primaria e individualizada en el módulo del surco intraparietal. El estudiante comprende la lógica abstracta general, pero presenta fallas severas en la estimación intuitiva de cantidades y en la automatización de las operaciones aritméticas básicas.

Dificultad Matemática Secundaria: El módulo de representación analógica en el SIP está intacto, pero el rendimiento cae debido a una sobrecarga en la memoria de trabajo visoespacial o a fallos en el control inhibitorio (coordinados por la red parieto-frontal). El problema no

radica en el concepto de número, sino en la capacidad ejecutiva para mantener y manipular la secuencia de pasos de un problema complejo.

TDAH y Variaciones en el Procesamiento Atencional y Motivacional

Al abordar el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), es fundamental comprenderlo desde una perspectiva neurobiológica. Este trastorno no debe ser considerado como un déficit absoluto de atención, sino como una dificultad en la autorregulación de la atención y la conducta, relacionada con la modulación de las vías catecolaminérgicas.

Hipofunción Catecolaminérgica en Circuitos Cortico-Estriados

El TDAH encontramos que está asociado a una menor disponibilidad o desregulación de dos neurotransmisores claves en la corteza prefrontal y los ganglios basales:

- Dopamina: Regula el procesamiento de la recompensa, la motivación intrínseca y la saliencia del estímulo.
- Noradrenalina: Regula la relación señal-ruido en la atención focalizada y el control de la vigilancia.

Se puede observar que la hipofunción en las vías dopaminérgicas del circuito mesocorticolímbico se manifiesta en el fenómeno conocido como Aversión a la Demora. Por lo tanto, un cerebro que presenta Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) muestra una disminución acelerada en la señal de anticipación de la recompensa ante metas que se encuentran postergadas en el tiempo. Esto dificulta, en gran medida, la capacidad de mantener el esfuerzo en tareas que requieren una alta demanda ejecutiva y que implican una recompensa diferida.

Alteración en la Sincronización de Redes: El Conflicto DMN vs. TPN

Se ha observado que, en el cerebro neurotípico, cuando se activa la Red Orientada a la Tarea (TPN) para abordar un problema que requiere atención sostenida, la Red Neuronal por Defecto (DMN), que está asociada a la divagación y al pensamiento introspectivo, se desacopla o inhibe de manera automática.

En este contexto, se puede observar que los estudiantes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) presentan un fallo en el acoplamiento recíproco, la Red de Modo Predeterminado (DMN) permanece parcialmente activa e interfiere de manera intrusiva durante la realización de tareas que requieren atención focalizada. La interrupción constante de pensamientos endógenos, que no se encuentran regulados, provoca lapsos atencionales que son breves pero frecuentes, los cuales son característicos de este trastorno.

Casos Prácticos de Estudio Integradores

Se presentan dos casos prácticos que nos ilustraran la aplicación de intervenciones adaptadas a perfiles neurodivergentes en la educación superior.

Caso Práctico de Estudio 1: Intervención Fonológica y Multisensorial en un Estudiante Universitario con Dislexia

Contexto: Un estudiante de segundo año de la carrera de Historia con diagnóstico de dislexia del desarrollo presentaba severa lentitud en la lectura de fuentes primarias y alta fatiga cognitiva, aprobando las evaluaciones orales con excelencia, pero colapsando en los exámenes escritos de tiempo limitado.

Análisis Neurobiológico e Intervención: La evaluación neuropsicológica confirmó un déficit en la velocidad de acceso al léxico y una hipoactivación en el Área de la Forma Visual de las Palabras (VWFA) del hemisferio izquierdo. Se implementó un programa de adaptación basado en software de texto a voz (estímulo auditivo simultáneo a la lectura visual) combinado con el uso de esquemas conceptuales interactivos para aprovechar sus elevadas fortalezas en la conectividad parietal derecha y el procesamiento asociativo global.

La estimulación multisensorial simultánea permitió eludir el cuello de botella de la ruta fonológica devaluada. Al liberar a la memoria de trabajo del esfuerzo exhaustivo de descodificación grafema-fonema, el córtex prefrontal pudo dedicar el 100% de sus recursos ejecutivos a la comprensión profunda y al análisis crítico de los textos, incrementando la velocidad de lectura efectiva en un 60% y reduciendo drásticamente la fatiga cognitiva.

Caso Práctico de Estudio 2: Reestructuración Motivacional y Carga Fraccionada en un Estudiante de Ingeniería con TDAH

Contexto: Una estudiante de ingeniería civil diagnosticada con TDAH del tipo predominantemente inatento presentaba un historial de abandono recurrente en la entrega de proyectos finales. A pesar de mostrar una brillante capacidad para resolver problemas lógicos en tiempo real, colapsaba en el trabajo autónomo asincrónico a largo plazo.

Análisis Neurobiológico e Intervención: El perfil reveló una marcada aversión a la demora secundaria a la hipofunción dopaminérgica en el circuito cortico-estriado, combinada con la intrusión de la Red Neuronal por Defecto (DMN) durante periodos de estudio no estructurados mayores a 20 minutos. Se rediseñó el plan de entrega de proyectos sustituyendo la meta final única (a 3 meses plazo) por un sistema de micro-metas semanales con retroalimentación inmediata y la aplicación de la técnica de bloques de enfoque atencional de 20 minutos intercalados con pausas activas.

El fraccionamiento del objetivo final generó picos periódicos de liberación de dopamina ante cada micro-logro alcanzado, compensando la aversión a la demora. Por otro lado, las pausas activas programadas permitieron la activación controlada de la DMN de forma consciente, evitando que irrumpiera involuntariamente durante los bloques de trabajo enfocado. La estudiante completó la totalidad de las entregas dentro del plazo estipulado y aumentó la precisión técnica de sus cálculos en un 35%.

Neurobiología de las Funciones Ejecutivas Complejas y el Giro Cingulado Anterior

El funcionamiento ejecutivo abarca un conjunto de procesos cognitivos de alto nivel coordinados primordialmente por la red de control ejecutivo central. En el ámbito de la educación superior, las demandas cognitivas requieren la supervisión constante de la propia conducta, la detección inmediata de desviaciones respecto a los objetivos y la recalibración flexible de las estrategias de resolución de problemas.

Córtex Cingulado Anterior (ACC) y la Detección de Errores

El Córtex Cingulado Anterior (ACC) actúa como el nodo central del monitoreo cognitivo y la evaluación de conflictos. Ante la percepción de un desacople entre el resultado esperado y el ejecutado, el ACC genera un potencial evocado electroencefalográfico característico denominado Negatividad Relacionada con el Error (ERN), el cual emerge entre los 50 y 100 milisegundos tras la comisión de una falla.

En diversos perfiles neurodivergentes, la señalización mediada por la ERN presenta alteraciones significativas:

- Hipofunción de la ERN (como en el TDAH): La señal de error atenuada reduce la capacidad del estudiante para detectar omisiones sutiles durante la lectura técnica o el cálculo algebraico, traduciéndose en una baja supervisión del propio trabajo académico.
- Hiperfunción de la ERN (frecuente en perfiles con Ansiedad o Espectro Autista): Una señalización exacerbada del error incrementa la reactividad emocional y la rumiación cognitiva, provocando bloqueos ejecutivos por miedo a la equivocación y una rigidez que ralentiza la entrega de productos académicos.

Córtex Prefrontal Dorsolateral (DLPFC) y Memoria de Trabajo

El Córtex Prefrontal Dorsolateral (DLPFC) sostiene la representación activa de la información que se manipula en la memoria de trabajo. En consideración a lo anterior, es necesario señalar que la eficiencia sintáctica del córtex prefrontal dorsolateral (DLPFC) está sujeta a la modulación de la dopamina y la noradrenalina en las espinas dendríticas de las neuronas piramidales.

En estudiantes neurodivergentes, la interferencia provocada por estímulos irrelevantes, tanto exógenos como endógenos, compromete la estabilidad de las representaciones, lo que resulta en la dificultad para mantener la coherencia durante el análisis de textos extensos o la resolución de problemas que requieren múltiples pasos. Ante una actividad que consiste en seguir una guía de estudios escrita, el estudiante experimenta frustración al no poder mantener la continuidad requerida de manera autónoma.

Condición del Espectro Autista (CEA) en Educación Superior: Conectividad Local e Hiperfenomenología

Se presenta que la neurobiología de la Condición del Espectro Autista (CEA) en adultos universitarios se distingue por un perfil atípico de conectividad neural. Este perfil se manifiesta como una hiperconectividad local en microcircuitos corticales especializados, junto con una hipoconectividad funcional de larga distancia entre las regiones posteriores y el córtex prefrontal.

Teoría del Monotropismo e Hiperfoco

Desde la perspectiva de la neurociencia de la saliencia, se observa que el cerebro de las personas con autismo tiende a concentrar los recursos de procesamiento atencional en un rango restringido de estímulos simultáneamente, fenómeno que se denomina monotropismo.

El "hiperfoco" se origina a partir de una asignación significativa de dopamina en la red de control ejecutivo durante la interacción con áreas de interés especializado. En este contexto, se observa que, por un lado, este estado facilita la consecución de niveles excepcionales de maestría e investigación profunda; sin embargo, dificulta la transición atencional hacia tareas académicas secundarias o a los requerimientos administrativos de la universidad.

Coherencia Central Débil y Procesamiento "Bottom-Up"

Se presenta que, el procesamiento cognitivo tradicional apoya la síntesis de información mediante un mecanismo descendente (*top-down*), donde el contexto global determina la interpretación de los detalles. Por otro lado, el perfil cognitivo autista se fundamenta en un procesamiento predominantemente ascendente (*bottom-up*), priorizando la precisión analítica del detalle antes de la integración del marco conceptual general.

Carga de Enmascaramiento o Camouflaging

Es posible señalar que, en el ámbito universitario, los estudiantes con autismo frecuentemente emplean el "enmascaramiento consciente" para suprimir conductas de autorregulación motora o para forzar el contacto visual, se observa que este esfuerzo compensatorio continuo

requiere un consumo desproporcionado de glucosa metabólica en el córtex prefrontal, lo que provoca un agotamiento cognitivo severo, conocido como "*autistic burnout*", el cual afecta directamente el rendimiento académico general.

En este contexto, un estudiante con autismo desvía en gran medida los recursos intelectuales que debería dedicar al aprendizaje académico, ante esta situación, el papel del docente se vuelve fundamental en la transición hacia un modelo pedagógico más inclusivo.

Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (Dispraxia) y Coordinación Visomotora

Se observa que el Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (TDC), también conocido como dispraxia, es una alteración neurodesarrollativa que afecta la planificación, secuenciación y ejecución del movimiento voluntario, lo que tiene un impacto significativo en el ámbito académico superior.

Circuitos Cerebeloso-Corticales y Modelos Motores Internos

Se puede observar que la neurobiología de la dispraxia implica una disfunción en los circuitos cerebeloso-dentado-talámico-corticales, en esta región, el cerebelo se encarga de calcular los modelos internos de acción motora, anticipando las consecuencias sensoriales de un movimiento antes de su ejecución. En la dispraxia, la imprecisión de estas predicciones obstaculiza la automatización de patrones motores complejos.

Impacto en el Desempeño Académico y de Laboratorio

En el entorno universitario, se presenta esta disfunción en:

- Disgrafía Motora: Incapacidad para mantener la velocidad de escritura manual durante la toma de apuntes, desencadenando fatiga muscular rápida en el antebrazo.
- Manipulación de Instrumental Fino: Dificultad para calibrar la fuerza y precisión en el uso de microscopios, pipetas, instrumental quirúrgico o herramientas de dibujo técnico, donde el ajuste fino depende del bucle de retroalimentación propioceptiva del cerebelo.

Fenómenos de Comorbilidad y Perfiles Mixtos

Se puede observar que la manifestación de una única condición neurodivergente "pura" constituye una excepción en la práctica clínica y psicoeducativa, en lugar de ser la norma. En este contexto, se observa que los solapamientos neurobiológicos generan perfiles mixtos que alteran la fenomenología del aprendizaje. En este contexto, es fundamental implementar estrategias pedagógicas coherentes que sean capaces de abordar cada una de las condiciones presentes.

El Perfil AuDHD (Autismo + TDAH)

La coexistencia del trastorno del espectro autista y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad se presenta como una manifestación de una dinámica neurobiológica caracterizada por constantes desafíos en la función ejecutiva:

- Conflicto Estriatal-Dopaminérgico: El componente autista demanda estructura, rutina y predictibilidad para evitar la sobrecarga de la amígdala; del mismo modo en simultaneo, el componente del TDAH busca constantemente estimulación novedosa debido a la hipofunción dopaminérgica en el circuito de recompensa.
- Inestabilidad de la Planificación: El estudiante puede diseñar cronogramas de estudio hiperdetallados (propensión autista) que posteriormente es incapaz de ejecutar o sostener en el tiempo debido a las fallas de autorregulación e inhibición atencional (propensión del TDAH).

Solapamiento Dislexia - TDAH

Se puede observar la presencia de una comorbilidad genética y funcional de aproximadamente un 40% entre la dislexia y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Ambos perfiles presentan una disminución en la velocidad de procesamiento temporal, así como una alteración en la conectividad del cuerpo calloso. La combinación de un procesamiento fonológico deficiente y un déficit en la atención sostenida indica que se incrementa la carga cognitiva durante la lectura, lo que acelera el agotamiento atencional en el individuo.

Tabla 10. *Fenómenos de Comorbilidad y Perfiles Mixtos*

Perfil Mixto / Comorbilidad	Interacción de Circuitos Neurobiológicos	Fenomenología y Manifestación Académica	Estrategia de Intervención / Abordaje Recomendado
AuDHD (Autismo + TDAH)	**Conflicto Estriatal-Dopaminérgico:** El componente autista busca previsibilidad y estructura para mitigar la activación amigdalina, mientras que el TDAH demanda estimulación novedosa por hipofunción dopaminérgica mesocorticolímbica.	**Dilema de la planificación:** Diseñan cronogramas hiperdetallados que luego son incapaces de sostener por fallas de inhibición y memoria de trabajo. **Parálisis de inicio:** Bloqueo frente a proyectos abiertos o no estructurados.	***Técnica de micro-objetivos:** Fraccionar grandes entregas en metas diarias muy acotadas (ej. 200 palabras/día). ***Separación de fases:** Dividir radicalmente la fase de investigación/ esquema de la fase de redacción formal.
Dislexia + TDAH	**Doble Carga en la Velocidad de Procesamiento:** Déficit fonológico y de decodificación en el circuito temporo-parietal combinado con inestabilidad atencional en la red de control ejecutivo central.	**Agotamiento lector acelerado:** La lectura técnica exige un esfuerzo metabólico duplicado. **Fallas de comprensión:** Omisión de datos clave en enunciados complejos o textos largos debido al colapso de la memoria de trabajo.	***Formatos bimodales:** Uso obligatorio de softwares de síntesis de voz (*Text-to-Speech*). ***Ajuste evaluativo:** Tiempos adicionales en pruebas escritas y textos maquetados con jerarquía visual clara.

TDAH + Trastorno de Ansiedad Secundaria	**Saturación Amigdalina-Prefrontal:** La constante percepción de falla ejecutiva activa el circuito del miedo (amígdala), inundando la corteza prefrontal dorso-lateral de cortisol y reduciendo aún más la memoria de trabajo.	**Perfeccionismo paralizante o evitación:** Bloqueo extremo antes de iniciar o entregar trabajos académicos. **Rumiación cognitiva:** Incapacidad de recuperar información durante exámenes bajo presión temporal	*__Evaluación formativa desglosada:__ Bancos de prueba sin penalización para desarticular la respuesta de amenaza. *__Fechas límite intermedias:__ Entregas parciales sin nota evaluativa para reducir el pico de ansiedad final.
Discalculia + Dislexia	**Inadecuada Conectividad Interhemisférica:** Afectación simultánea del Surco Intraparietal (procesamiento numérico y de cantidades) y el Área de la Forma Visual de la Palabra (procesamiento del lenguaje).	**Dificultad en razonamiento cuantitativo verbal:** Incapacidad para interpretar problemas matemáticos redactados en texto. **Confusión de sintaxis simbólica:** Errores constantes al transcribir fórmulas, variables y símbolos abstractos.	*__Soportes visuales interactivos:__ Diagramas de flujo y simuladores gráficos para el planteamiento de problemas. ***Glosarios de equivalencia:** Permitir hojas de fórmulas y símbolos durante la resolución de ejercicios.

CEA + Dispraxia (TDC)	**Desacople Somatosensorial y Cerebeloso:** Hiperconectividad local cortical (procesamiento autista) combinada con imprecisión en los modelos motores internos del circuito cerebeloso-cortical.	**Fatiga muscular y sensorial combinada:** Extrema dificultad para sostener la escritura manual mientras se procesa la información de la clase.	*__Uso prioritario de tecnología:__ Permitir el uso de computadoras/ tabletas con teclados adaptados de forma permanente.
		Sobrecarga en laboratorios: Torpeza motora que incrementa el pánico a la exposición social o la sobrecarga sensorial.	*__Kits de precisión digital:__ Equipamiento automatizado o parejas de trabajo asignadas en prácticas de laboratorio.

Nota. Elaboración propia

Casos Prácticos Aplicados de Perfiles Mixtos y Adultos Neurodivergentes

Caso de Estudio 1: Perfil AuDHD en el Desarrollo de Tesis de Grado

Contexto: Un estudiante de quinto año de la carrera de Ingeniería Informática con diagnóstico mixto de Condición del Espectro Autista y TDAH (AuDHD) presentaba una parálisis ejecutiva en la elaboración de su proyecto final de graduación. Aunque poseía un dominio técnico sobresaliente sobre el lenguaje de programación de su investigación, era incapaz de redactar la memoria escrita del proyecto, registrando tres semestres de retraso.

Análisis Neurocognitivo e Intervención: El análisis del perfil reveló una interacción crítica entre la fijeza en los detalles del marco teórico (procesamiento *bottom-up* autista) y la incapacidad para jerarquizar los pasos de redacción por déficit en la memoria de trabajo y la planificación secuencial (TDAH). Se estructuró un plan de intervención basado en:

1. Andamiaje de Micro-Entregas: Fraccionamiento del trabajo en metas diarias de 200 palabras centradas en subtítulos específicos, eliminando la demanda de visión global del documento.
2. Exención de Formato Inicial: Permitir la redacción mediante esquemas lógicos sintácticos directos utilizando software de mapas conceptuales, postergando la maquetación del texto formal para una fase final independiente.

Resultado: se observa como la reducción de la sobrecarga en el córtex prefrontal dorso-lateral permitió al estudiante completar la redacción de la memoria en cuatro meses, obteniendo la máxima calificación en la defensa técnica del proyecto.

Caso de Estudio 2: Compensación Neuroergonómica de Dispraxia en Laboratorio

Contexto: Una estudiante de primer año de Bioquímica con dispraxia del desarrollo enfrentaba el riesgo de reprobar la asignatura práctica de Química Analítica debido a la rotura frecuente de material de vidrio graduado y a la imprecisión en el enrase de reactivos mediante pipetas manuales.

Análisis Neurocognitivo e Intervención: La evaluación visomotora confirmó que la estudiante presentaba una alteración en el cálculo del modelo motor interno cerebeloso para el ajuste de fuerza fina y la estimación de la distancia propioceptiva. Se aplicó una reestructuración de la praxis de laboratorio mediante:

1. Sustitución Tecnológica: Adaptación temporal del instrumental manual por dispensadores digitales automáticos con calibración de pulsador ancho.
2. Apoyo Propioceptivo Adicional: Incorporación de guantes de micro-peso táctil para incrementar la retroalimentación de los receptores somatosensoriales de las manos hacia la corteza somatosensorial primaria durante la manipulación de recipientes de vidrio.

Resultado: La estudiante ha demostrado haber alcanzado la precisión requerida en las mediciones químicas, lo que le permite aprobar las competencias prácticas de la asignatura, sin alterar los criterios de evaluación conceptual ni los estándares de calidad analítica.

5 Educación

INNOVACIÓN CURRICULAR Y ENTORNOS DE APRENDIZAJE NEUROINCLUSIVOS

CAPÍTULO 5.

INNOVACIÓN CURRICULAR Y ENTORNOS DE APRENDIZAJE NEUROINCLUSIVOS

Katherine Susana Córdova Burgos, Erika Germania Herrera Irazábal,
Margareth Estefania Mera Malavé, Anita Karina Serrano Castro, María Aidis Goyes González,
Jerry Maruan Medina Schaffry y Nohely Lisbeth Guevara Guerrero.

Paradigmas de la Innovación Curricular y la Justicia Curricular Neuroinclusiva

Se presenta la necesidad de que la transformación de las instituciones educativas hacia modelos de equidad requiera un examen crítico de las estructuras curriculares actuales. Desde una perspectiva histórica, el diseño curricular ha estado alineado con un modelo estandarizado, orientado hacia un perfil de estudiante promedio hipotético. En este proceso de homogeneización se establecen barreras implícitas que excluyen a aquellos que procesan la información de manera divergente. Ante esta rigidez, la innovación curricular "neuroinclusiva" sugiere la reconfiguración de los planes de estudio, las metodologías de enseñanza y las estructuras de evaluación, con el objetivo de integrar la diversidad neurocognitiva como un valor fundamental del ecosistema académico.

El concepto de justicia curricular sostiene que un currículo se considera justo cuando se elabora desde la perspectiva de los grupos menos favorecidos o marginados por las estructuras tradicionales. Esta noción fue formulada originalmente en la teoría sociológica de la educación por Raewyn Connell.

En relación con la neurodiversidad, este principio sugiere que el diseño curricular no debe restringirse a implementar ajustes o modificaciones posteriores para estudiantes con diagnósticos específicos, por el contrario, es necesario reconstruir las metas, los contenidos y las trayectorias de aprendizaje desde su concepción inicial, asegurando que la flexibilidad cognitiva y la accesibilidad sean elementos fundamentales de la propuesta pedagógica.

Marco Jurídico, Derechos Humanos y Sustento Normativo

Es posible observar que la fundamentación de la justicia curricular no se limita exclusivamente a una decisión axiológica o pedagógica; se identifica un pilar normativo de carácter vinculante en el derecho internacional público y en los ordenamientos jurídicos nacionales. En este contexto, la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (Organización de las Naciones Unidas, 2006), en su Artículo 24, establece el derecho a una educación inclusiva en todos los niveles, instando a los Estados a asegurar que los individuos no sean excluidos del sistema educativo general por razones de diversidad funcional o cognitiva.

En este contexto, se ha establecido un marco convencional que ha consolidado la transición definitiva desde un modelo médico-rehabilitador, el cual conceptualiza las atipicidades neurocognitivas como déficits individuales que requieren corrección o curación, hacia un modelo social y de derechos humanos. En este contexto, la discapacidad o divergencia no se origina en la condición neurológica del individuo, sino en la interacción entre sus características biológicas y las barreras actitudinales, metodológicas y físicas que impone el entorno.

En este contexto, es importante señalar que el principio de ajuste razonable deja de ser una concesión discrecional y se transforma en una obligación jurídica. No obstante, la innovación curricular "neuroinclusiva" tiene como objetivo superar la lógica de los ajustes individuales y no sistemáticos.

Al integrar el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) desde la formulación de las políticas académicas, las instituciones cumplen de manera proactiva con sus responsabilidades en materia de accesibilidad universal, esto contribuye a disminuir la necesidad de adaptaciones tardías y a asegurar un trato equitativo en los niveles de educación superior y media, la educación de calidad y equitativa, considerada un derecho humano, se aborda de manera integral en este contexto.

Al evaluar la situación desde la perspectiva del diseño instruccional, se concluye que la innovación neuroinclusiva debe trascender la errónea dicotomía entre el rigor académico y la

accesibilidad. Es fundamental comprender que un currículo neuroinclusivo no disminuye la exigencia conceptual ni reduce la profundidad de los resultados de aprendizaje esperados. Por el contrario, se amplían los enfoques metodológicos a través de los cuales los estudiantes acceden al conocimiento, interactúan con los saberes disciplinares y evidencian su dominio de las competencias. De este modo, se observa que la flexibilidad no compromete el estándar académico, sino que lo libera de las limitaciones de formato que obstaculizan la expresión del talento intelectual.

Arquitectura de Entornos Físicos y Digitales Neuroinclusivos

Se puede observar que el entorno en el que se lleva a cabo el aprendizaje actúa como un "tercer educador". La neurociencia cognitiva ha evidenciado de manera concluyente que las variables ambientales, tales como la iluminación, la acústica, la densidad espacial y las interfaces digitales, pueden influir directamente en la modulación del sistema nervioso autónomo, en la disponibilidad de la memoria de trabajo y en la capacidad de autorregulación de los estudiantes. En este contexto, es fundamental considerar los espacios disponibles para el aprendizaje, así como las condiciones de dichos espacios, al momento de desarrollar estrategias efectivas.

Fundamentos Neurobiológicos: Carga Cognitiva y Funciones Ejecutivas

Es fundamental comprender la importancia del diseño ambiental. Para ello, es necesario analizar los procesos neurocognitivos que respaldan el aprendizaje. La Teoría de la Carga Cognitiva, propuesta por Sweller et al., (2019), presenta la carga mental en tres dimensiones: la carga intrínseca, que es inherente a la complejidad del tema; la carga germana, que se refiere al procesamiento y la construcción de esquemas de conocimiento; y la carga extraña, que es provocada por una inadecuada estructuración del entorno o de las instrucciones. De igual manera, los entornos que están sobrecargados o mal diseñados aumentan de manera significativa la carga cognitiva adicional, lo que agota la capacidad limitada de la memoria de trabajo.

De manera paralela, se puede observar que el modelo de funciones ejecutivas propuesto por Miyake et al. (2000) resalta tres componentes fundamentales del control cognitivo: la memoria

de trabajo, la inhibición de respuesta, que se refiere a la capacidad para filtrar distractores, y la flexibilidad cognitiva. En los estudiantes neurodivergentes, tales como aquellos diagnosticados con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), autismo o dislexia, la inhibición atencional y el filtro sensorial pueden manifestar un funcionamiento atípico.

Cuando un aula produce sobreestimulación sensorial o ambigüedad en las instrucciones, se activa la respuesta de amenaza en la amígdala, lo que provoca un desplazamiento de los recursos metabólicos del córtex prefrontal hacia mecanismos de defensa. Esto resulta en una reducción significativa de la capacidad para el procesamiento lógico y la autorregulación emocional.

Diseño Arquitectónico y Acondicionamiento Ambiental Físico

En las aulas físicas, podemos mitigar la sobrecarga sensorial y favorecer la concentración, mediante intervenciones específicas en la arquitectura escolar neuroinclusiva:

- Iluminación Regulable y Fisiológica: Sustitución de sistemas de fluorescencia tradicionales por luminarias LED de espectro continuo con control de intensidad. El parpadeo no perceptible de la luz fluorescente genera fatiga neural latente e hiperexcitabilidad en personas con hiperreactividad sensorial.
- Acondicionamiento Acústico y Control de Reverberación: Incorporación de paneles fonoabsorbentes en muros y techos para mantener el tiempo de reverberación por debajo de los niveles de interferencia. El ruido de fondo y el eco fragmentan la señal del habla, sobrecargando la memoria de trabajo verbal de estudiantes con dislexia o dificultades de procesamiento auditivo central.
- Zonificación Espacial y Áreas de Descompresión Sensorial: Creación de espacios de retiro dentro o adyacentes al aula estándar. Estas zonas, equipadas con elementos de bajo estímulo visual y mobiliario ergonómico adaptable, permiten a los estudiantes autorregular su nivel de activación neurofisiológica (arousal) sin abandonar el entorno de aprendizaje.

Tabla 11. *Variables Ambientales y sus Impactos Neurocognitivos en Entornos Educativos*

Factor Ambiental	Problemática en Entornos Tradicionales	Solución de Diseño Neuroinclusivo	Impacto en la Cognición
Iluminación	Tubos fluorescentes con parpadeo y luz fría.	Iluminación LED regulable y maximización de luz natural indirecta.	Reducción de la fatiga visual, cefaleas y estados de hiperactivación.
Acústica	Alta reverberación y filtrado deficiente de ruido externo.	Paneles absorbentes acústicos y aislamiento de frecuencia vocal.	Optimización de la comprensión auditiva y reducción del esfuerzo atencional.
Espacio Físico	Disposición rígida en filas y alta densidad.	Mobiliario modular, zonas de trabajo individual y áreas de descompresión.	Favorecimiento de la autorregulación y adaptación a necesidades táctiles/motoras.
Entorno Digital	Interfaces saturadas de texto e hipervínculos no jerárquicos.	Diseño limpio, tipografía accesible y arquitectura de información estructurada.	Preservación de la memoria de trabajo y disminución de la carga cognitiva extraña.

Nota. Elaboración propia.

Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA), Accesibilidad Digital e Inteligencia Artificial

Se ha observado que la transferencia de los procesos formativos a plataformas virtuales no asegura de manera automática la inclusión. En caso de que no se diseñen con criterios de usabilidad cognitiva, los entornos digitales pueden incrementar las barreras de aprendizaje. En este contexto, es necesario prestar especial atención a la implementación de la tecnología

y su aplicación en las aulas, reconociendo que su mera presencia no asegura una inclusión efectiva. La arquitectura de la información en los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) debe estar en conformidad con las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG 2.2) y los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA).

Por lo tanto, un entorno virtual de aprendizaje neuroinclusivo debe disponer de interfaces claras que reduzcan los elementos distractores, faciliten una navegación coherente mediante el teclado y garanticen la compatibilidad técnica con lectores de pantalla. Asimismo, la organización de los contenidos debe proporcionar opciones de personalización, tales como la modificación del tamaño de la fuente, el ajuste de los contrastes cromáticos y la posibilidad de descargar materiales en formatos alternativos, como texto plano, audio y mapas conceptuales dinámicos.

En esta arquitectura digital, se observa que las tecnologías emergentes de Inteligencia Artificial (IA) y las herramientas asistenciales desempeñan un papel transformador al actuar como "andamiajes cognitivos". En este contexto, se debe señalar que la inteligencia artificial generativa permite la conversión instantánea de formatos, como la transcripción de lecturas a audio o la síntesis de textos complejos en diagramas conceptuales. Esto facilita la comprensión en individuos que presentan dislexia o trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). De este modo, el software de lectura por voz, los correctores sintácticos contextuales y los planificadores algorítmicos de tareas contribuyen a la estructuración del tiempo y a la descomposición de objetivos complejos. Es fundamental que la institución reinterprete éticamente estas tecnologías. No se deben considerar como ventajas desleales, sino como herramientas comparables a los lentes ópticos, cuyo propósito es igualar las condiciones de acceso al conocimiento.

Metodologías Activas y Co-creación del Conocimiento

Se observa que la clase magistral tradicional, que se centra en la transmisión unidireccional de contenidos durante períodos prolongados, resulta particularmente desfavorable para los estudiantes que presentan dificultades en el mantenimiento de la atención sostenida o en

la codificación exclusivamente verbal. La innovación curricular requiere la transición hacia metodologías activas de aprendizaje, las cuales implican la participación del estudiante en la construcción del conocimiento a través de la acción, la resolución de problemas y la colaboración en equipo. La participación de los estudiantes en problemas reales les permite mejorar su aprendizaje y fortalecer las redes de apoyo entre sus compañeros.

Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y Proyectos (ABP-P)

Se presenta el Aprendizaje Basado en Problemas y el Aprendizaje Basado en Proyectos, los cuales colocan un desafío del mundo real en el centro del proceso educativo. Por lo tanto, esta metodología resulta sumamente beneficiosa en "aulas neurodiversas" debido a las siguientes dinámicas:

- Contextualización y Relevancia: Al establecer una conexión entre el contenido teórico y situaciones prácticas, se activa el sistema dopaminérgico de recompensa, lo que incrementa la motivación intrínseca y facilita el fenómeno del "hiperfoco" en estudiantes que presentan Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) o que poseen perfiles monotrópicos.
- División del Trabajo por Fortalezas: La estructura de proyectos en equipo nos permiten que los estudiantes asuman roles alineados con sus perfiles de competencias. De esta forma, mientras que un estudiante autista con alta capacidad analítica puede liderar la sistematización de datos, un compañero con fortalezas en la comunicación verbal o la conceptualización holística puede encargarse de la síntesis o la presentación.
- Reducción de la Carga de Memoria de Trabajo: Se observa que, al abordar un producto tangible y continuo, el conocimiento no se limita a la memorización abstracta, sino que se distribuye a través de apoyos externos, artefactos digitales y mediadores sociales.

Enfoques Multisensoriales e Integración Tecnológica

Se presenta que la codificación de la información en el cerebro es inherentemente multimodal. El aprendizaje se consolida de manera más sólida cuando los contenidos involucran simultán-

eamente múltiples canales sensoriales. La enseñanza multisensorial integrada combina estímulos auditivos, visuales, kinestésicos y táctiles en el proceso de instrucción.

En este contexto, se observa que la enseñanza de conceptos científicos o matemáticos abstractos, junto con el uso de manipulativos físicos, simulaciones interactivas, software de modelado tridimensional y actividades de dramatización de procesos, facilita que los estudiantes con discalculia o dislexia desarrollen representaciones mentales sólidas a partir de la experiencia directa. Esto les permite superar las limitaciones impuestas por el texto impreso o las fórmulas simbólicas aisladas.

Sistemas Diversificados de Evaluación y Autenticidad Pedagógica

La evaluación se presenta como uno de los aspectos más complejos y críticos en el proceso de transformación neuroinclusiva. De este modo, los exámenes tradicionales escritos, estandarizados y sujetos a estrictos límites de tiempo, no evalúan únicamente el nivel de dominio de una materia. Se evalúan en gran medida la velocidad de procesamiento grafomotor, la capacidad de la memoria de trabajo verbal bajo condiciones de estrés y la resistencia a la sobrecarga sensorial. Asimismo, estos instrumentos penalizan de manera sistemática a los estudiantes neurodivergentes, lo que resulta en una subestimación estructural de sus competencias reales.

Evaluación Auténtica y Multimodalidad

Se observa que la evaluación auténtica propone alinear los instrumentos de medición con las tareas, problemas y modos de producción característicos del ejercicio profesional y académico en el mundo real. Se comprende que, en el contexto profesional, es poco frecuente que se requiera a un individuo resolver un problema complejo de memoria, de manera aislada y en un plazo de dos horas, sin la posibilidad de acceder a fuentes de consulta. Por el contrario, la práctica experta se fundamenta en la consulta de fuentes, la colaboración, la revisión de borradores y la utilización de herramientas tecnológicas, una realidad que se encuentra en creciente expansión en la actualidad.

Con el fin de asegurar la validez y confiabilidad de las mediciones en entornos neuro-inclusivos, es imperativo que las instituciones implementen la evaluación multimodal. Esta metodología proporciona a los estudiantes diversas alternativas equivalentes para evidenciar el cumplimiento de las competencias, tales como la posibilidad de presentar un ensayo escrito, llevar a cabo una presentación oral o un pódcast, o desarrollar un prototipo o artefacto digital, todos evaluados bajo una misma rúbrica unificada.

Tabla 12. *Matriz Comparativa entre el Modelo Tradicional y el Sistema Neuroinclusivo de Evaluación*

Dimensión de Evaluación	Modelo Tradicional Estandarizado	Sistema Neuroinclusivo Multimodal
Formato de Prueba	Examen escrito de opción múltiple o desarrollo textual único.	Variedad de formatos (escrito, oral, portafolio, proyecto, prototipo).
Condición Temporal	Tiempo rígido y restringido (presión por velocidad).	Tiempos flexibles, entregas escalonadas o extensión del tiempo límite.
Uso de Apoyos	Prohibición absoluta de herramientas externas.	Integración autorizada de tecnologías de apoyo (correctores, calculadoras, software).
Función Predominante	Calificación sumativa, clasificatoria y acreditativa.	Evaluación formativa continua con retroalimentación descriptiva.
Criterios de Calificación	Penalización implícita del formato (ortografía, caligrafía).	Rúbricas analíticas transparentes enfocadas en el contenido y la competencia.

Nota. Elaboración propia.

Rúbricas Analíticas Transparentes y Retroalimentación Formativa

Es fundamental comprender que la ambigüedad en las instrucciones de evaluación provoca altos niveles de ansiedad y desorientación, impactando de manera particular a los estudiantes con autismo o dificultades en las funciones ejecutivas. La implementación de rúbricas analíticas transparentes detalla de manera precisa los niveles de desempeño, los criterios de calidad y las ponderaciones de cada aspecto antes de la realización de la tarea.

Para estructurarse como un diálogo instruccional, es necesario identificar los aciertos, señalar las brechas específicas de comprensión y proponer estrategias concretas de autorregulación y mejora continua. Esto contribuirá a la consolidación de una mentalidad de crecimiento.

Formación Docente, Competencias Socioemocionales y Desarrollo Profesional

Es fundamental comprender que la transformación curricular e institucional no puede llevarse a cabo sin la participación activa y comprometida del cuerpo docente. En este contexto, el papel de los profesores universitarios y escolares consiste en actuar como mediadores directos en el diseño instruccional. Sin embargo, una parte significativa de estos profesionales presenta una carencia considerable de formación específica en neurodiversidad, neuropsicología del aprendizaje y diseño inclusivo. Ante esta brecha en la formación, se observa que frecuentemente conduce a la reproducción de sesgos, a la adopción de actitudes paternalistas o al rechazo involuntario hacia los estudiantes que no se ajustan al patrón tradicional, lo cual es un aspecto lamentable que debe ser evitado en la mayor medida posible.

Competencias Docentes para la Inclusión Neurocognitiva

Por lo tanto, la formación docente en entornos neuro-inclusivos debe ir más allá de las charlas de sensibilización superficiales y estructurarse como un programa de desarrollo profesional continuo, enfocado en tres dimensiones fundamentales:

1. Competencia Neuropsicológica Aplicada: Aquí se presenta una comprensión fundamental de la arquitectura cerebral, las funciones ejecutivas, el procesamiento sensorial y las manifestaciones de las dificultades específicas del aprendizaje (DEA). Esto permite

a los educadores interpretar las conductas divergentes no como indisciplina o desinterés, sino como manifestaciones de un perfil de procesamiento particular.

2. Competencia Didáctica DUA: Se observa el dominio en el diseño de unidades didácticas integrales, así como en la elaboración de materiales y evaluaciones, fundamentado en los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA). Esto permite capacitar a los docentes para que puedan anticipar las barreras y diversificar sus metodologías de enseñanza.
3. Competencia Socioemocional e Interpersonal: Acá, se presenta el desarrollo de habilidades de empatía, escucha activa y comunicación asertiva para interactuar con estudiantes neurodivergentes, validando sus experiencias y construyendo un clima de aula caracterizado por la seguridad psicológica.

Guía Metodológica para el Rediseño Neuroinclusivo del Sílabo

Para implementar estas competencias, se ha determinado que el docente necesita herramientas de aplicación práctica. El rediseño de un programa de asignatura (sílabo) conforme a criterios neuroinclusivos debe llevarse a cabo mediante una secuencia metodológica estructurada:

- Fase 1: Auditoría de Barreras: Análisis del sílabo tradicional identificando rigideces en los formatos de lectura, metodologías de clase expositivas continuas y evaluaciones de formato único bajo tiempo limitado.
- Fase 2: Diversificación de insumos de lectura: Se observa la sustitución de listas de textos exclusivamente impresos por repositorios multimodales que incluyen artículos, conferencias grabadas con subtítulos, pódcasts académicos y mapas conceptuales.
- Fase 3: Flexibilización de Cronograma y Entregas: Se han establecido hitos de entrega parciales, correspondientes a una evaluación formativa, que facilitan la revisión continua de los avances, con el objetivo de prevenir la sobrecarga de trabajo al final del período.
- Fase 4: Formulación de la Matriz Multimodal de Evaluación: Definición clara de las opciones de entregables equivalentes y publicación anticipada de las rúbricas analíticas correspondientes.

Comunidades de Práctica y Trabajo Interdisciplinario

Se puede observar que el trabajo en aislamiento debilita las iniciativas de inclusión educativa. Las instituciones educativas deben fomentar la creación de Comunidades de Práctica (CoP), en las cuales los docentes puedan compartir experiencias, analizar casos de estudio de manera colaborativa y evaluar la efectividad de los ajustes curriculares que se hayan implementado. Espacios de encuentro en los cuales se puedan establecer redes de apoyo entre los pares y analizar nuevas alternativas cuando sea necesario.

De igual manera, se observa que es necesaria la articulación de equipos interdisciplinarios compuestos por docentes de diversas asignaturas, psicopedagogos, neuropsicólogos, especialistas en tecnología educativa y terapeutas ocupacionales. Es fundamental abordar con un conocimiento profundo las soluciones que es necesario implementar en las aulas. En este trabajo colaborativo se permite abordar las situaciones complejas desde una perspectiva integral, asegurando que los apoyos institucionales sean coherentes, sostenibles y respetuosos de la autonomía del estudiante.

Gobernanza Institucional, Casos de Éxito y Cultura Neuroinclusiva

Es importante destacar que una innovación curricular no puede depender únicamente de los esfuerzos individuales o de la buena voluntad de docentes aislados. Para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, es necesario institucionalizarse mediante la implementación de estructuras de gobernanza, el establecimiento de políticas institucionales claras y la asignación de presupuestos garantizados. Por lo tanto, las universidades y los centros educativos deben ir más allá del cumplimiento reactivo de las normativas relacionadas con la discapacidad, con el fin de establecer una auténtica "cultura neuroinclusiva".

Marco Normativo Institucional y Unidades de Inclusión

Las instituciones de educación superior y educación media requieren contar con reglamentos claros que establezcan el procedimiento para la solicitud, aprobación e implementación de ajustes razonables. En este contexto, dichas políticas deben asegurar la confidencialidad de los

diagnósticos, reducir la burocracia innecesaria que retrasa la provisión de apoyos y establecer mecanismos formales de apelación en caso de incumplimiento de los acuerdos relacionados con la accesibilidad. Es necesario que las vías internas de la universidad se constituyan en un apoyo efectivo y no en un obstáculo burocrático que restrinja la verdadera inclusión educativa.

Asimismo, consideramos fundamental la consolidación de Unidades u Oficinas de Atención a la Diversidad, las cuales deben contar con los recursos humanos y presupuestarios apropiados. En estas unidades no se debe operar como "guetos asistenciales"; por el contrario, deben funcionar como centros que promuevan la innovación docente, encargándose de asesorar a las facultades, gestionar las tecnologías de apoyo e impulsar la investigación sobre la inclusión en la educación superior. Un espacio que proporcione apoyo y soluciones efectivas para los estudiantes, así como para el personal docente y los responsables de la elaboración de estrategias pedagógicas.

Evidencia Empírica y Casos Institucionales de Éxito

En la literatura internacional y en las experiencias universitarias contemporáneas, se puede observar evidencia sólida sobre los beneficios de la inclusión sistémica. Las instituciones líderes en Europa y América del Norte que han implementado el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) a nivel macroinstitucional han informado sobre una disminución considerable en las tasas de deserción académica, no solo entre los estudiantes neurodivergentes, sino también en la población estudiantil en general (García, 2021).

Se ha observado que la implementación de "Aulas y Salas de Regulación Sensorial" en los campus universitarios ha demostrado reducir los niveles de ansiedad y la tasa de abandono durante los períodos de exámenes finales. De manera similar, la sustitución significativa de pruebas escritas estandarizadas por portafolios digitales de desempeño profesional ha permitido que los estudiantes con autismo o con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) logren tasas de graduación comparables a las de sus compañeros neurotípicos. Se puede evidenciar que el rendimiento deficiente anterior se debía a barreras evaluativas y no a limitaciones intelectuales.

Tabla 13. *Ejes Estratégicos para la Transición Institucional hacia la Cultura Neuroinclusiva*

Eje Estratégico	Acciones Institucionales Clave	Indicadores de Logro y Seguimiento
Gobernanza y Normativa	Aprobación del Reglamento de Inclusión y Accesibilidad Universal.	Porcentaje de asignaturas con criterios DUA incorporados en los sílabos.
Infraestructura y Tecnología	Auditoría ambiental de aulas y licenciamiento de tecnologías de apoyo.	Disminución de barreras físicas/ digitales reportadas por los estudiantes.
Formación Continua	Programa obligatorio de capacitaciones docentes en DUA y neurodiversidad.	Cobertura del plan de formación en el 100% de los departamentos académicos.
Investigación y Evaluación	Creación de observatorios internos de trayectorias académicas neurodivergentes.	Tasas de retención, satisfacción y graduación de estudiantes con DEA.

Nota. Elaboración propia.

Transición a la Educación Superior y Empleabilidad Neuroinclusiva

El alcance de un "currículo neuroinclusivo" trasciende los límites de la etapa académica, ya que también tiene como objetivo proyectar su impacto en la inserción laboral y el desarrollo profesional del individuo. Desde una perspectiva histórica, la población neurodivergente ha experimentado tasas desproporcionadamente elevadas de desempleo y subempleo, como resultado de procesos de selección y dinámicas laborales que han sido estructurados a partir de sesgos neurotípicos.

En consecuencia, se puede afirmar que una formación universitaria neuroinclusiva favorece el reconocimiento de las fortalezas asociadas a la neurodiversidad, tales como el pensamiento sistémico de patrones, la elevada creatividad divergente, la capacidad de concentración intensa

en tareas complejas y la atención meticulosa al detalle (Doyle, 2020). Asimismo, al promover la autogestión, el conocimiento de los perfiles cognitivos individuales y la utilización de tecnologías de apoyo durante la formación universitaria, los graduados desarrollan competencias fundamentales en autorregulación y autonomía. Se capacita a los estudiantes neurodivergentes para que puedan enfrentar de manera autónoma la vida profesional, evitando así posibles dificultades en el proceso. En este contexto, las instituciones educativas deben vincular sus centros de empleabilidad con redes empresariales que estén sensibilizadas, fomentando entornos laborales accesibles que reconozcan el talento neurodiverso como un elemento estratégico para la innovación.

La Voz del Estudiante: Autogestión y Participación Ciudadana

Es evidente que, en consonancia con el principio fundamental del movimiento de personas con discapacidad, "Nada sobre nosotros sin nosotros", la gobernanza neuroinclusiva debe integrar de manera activa la voz y la participación de los estudiantes neurodivergentes en todos los niveles de toma de decisiones. Estas constituyen las mejores fuentes para comprender las necesidades de la institución y cómo podrían ofrecerles apoyo.

La creación de asociaciones estudiantiles neurodivergentes, su inclusión en las comisiones de reforma curricular y su participación en la evaluación de la accesibilidad institucional aseguran que las políticas públicas y las innovaciones pedagógicas se ajusten a las necesidades reales del estudiantado. De esta manera, se fomenta la autogestión y el liderazgo estudiantil, lo cual refuerza la autodeterminación, la autoestima y las competencias necesarias para una ciudadanía activa, elementos esenciales para el desarrollo profesional y la integración social.

El Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL) desde la Neurociencia Cognitiva

Es fundamental comprender que el Diseño Universal para el Aprendizaje (*Universal Design for Learning*, UDL) no se limita a ser una metodología instruccional. En realidad, constituye un marco de diseño curricular basado en la arquitectura funcional del cerebro humano, tal como lo propone el *Center for Applied Special Technology* (CAST).

Mapeo del UDL sobre las Redes Cerebrales Primarias

El UDL presenta sus principios en la alineación directa con tres redes neuronales interconectadas:

1. Redes de Reconocimiento (El "Qué" del Aprendizaje): Ubicadas en las regiones posteriores del córtex (lóbulos occipital, temporal y parietal). Se especializan en percibir e interpretar la información sensorial. El principio UDL correspondiente exige proporcionar "múltiples formas de representación" (texto, audio, diagramas interactivos, modelos 3D) para asegurar que el canal de entrada no constituya un cuello de botella.
2. Redes Estratégicas (El "Cómo" del Aprendizaje): Concentradas en el córtex prefrontal y las áreas motoras/promotoras. Planifican, ejecutan y supervisan las acciones mentales y físicas. El principio UDL dicta proporcionar "múltiples formas de acción y expresión", permitiendo a los estudiantes demostrar su maestría mediante diversos formatos ejecutorios.
3. Redes Afectivas (El "Porqué" del Aprendizaje): Distribuidas en el sistema límbico, la ínsula y el circuito dopaminérgico mesocorticolímbico. Evalúan la saliencia, el interés y el significado emocional de los estímulos. El principio UDL demanda proporcionar "múltiples formas de implicación", autorregulando el desafío para mantener la motivación intrínseca.

Redundancia Funcional y Flexibilidad Curricular

Es necesario comprender que un currículo inflexible presupone la existencia de un "estudiante promedio", el cual no tiene fundamento en la realidad neurobiológica. Esto se entiende considerando que cada individuo presenta particularidades y desafíos específicos que debe enfrentar en el proceso de aprendizaje. En este contexto, la "redundancia funcional" se refiere a la presentación de un mismo núcleo conceptual mediante canales alternativos de manera simultánea. En este contexto, se observa que la redundancia no simplifica el nivel de exigencia teórica, sino que elimina las barreras de accesibilidad cognitiva, lo que permite que individuos con diversas fortalezas y debilidades en la conectividad local o global procesen la información con la misma profundidad. Esto podría considerarse un igualador en el ámbito del aprendizaje.

Neuroergonomía Espacial y Sensorial en los Entornos de Aprendizaje

Se puede observar que la neuroergonomía investiga la interacción entre el cerebro humano y el entorno físico. Las aulas universitarias tradicionales suelen presentar altos niveles de ruido de fondo, iluminación artificial intermitente y mobiliario rígido, factores que pueden inducir fatiga y sobrecarga cognitiva. Para los estudiantes neurodivergentes, tales entornos resultan perjudiciales para la plena concentración que pueden mantener durante las clases.

Carga Sensorial y el Sistema Reticular Activador Ascendente (SRAA)

El Sistema Reticular Activador Ascendente (SRAA) desempeña la función de filtro primario de la estimulación sensorial, regulando el estado de alerta y la activación cortical. Este sistema se localiza en el tronco encefálico. Así entonces, en entornos con alta reverberación acústica o iluminación fluorescente de baja frecuencia, el SRAA se ve forzado a trabajar a máxima capacidad para filtrar la "basura sensorial", reduciendo los recursos atencionales disponibles en la corteza prefrontal. Por esta razón, la concentración en clase de algunos estudiantes neurodivergentes es considerablemente baja en determinados entornos.

Se observa que, en estudiantes con perfiles de procesamiento sensorial atípico, como aquellos que se encuentran dentro del espectro autista o que presentan Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), esta deficiencia en el filtrado sensorial provoca una "sobrecarga sensorial". El exceso de estimulación activa la amígdala, lo que provoca respuestas vegetativas de estrés, tales como el aumento de cortisol y noradrenalina, que inhabilitan temporalmente las funciones ejecutivas.

Principios de Diseño Neuroergonómico

Con el fin de mitigar la fatiga sensorial y optimizar el rendimiento cognitivo, es necesario que la infraestructura universitaria incorpore:

- Acondicionamiento Acústico Pasivo: Absorción de reverberación para mantener la relación señal-ruido del habla por encima de los +15 dB.

- Iluminación Dinámica de Espectro Completo: Uso de luz natural regulada o luminarias LED de alta frecuencia que imiten el ciclo circadiano, reduciendo el parpadeo imperceptible que desencadena fatiga visual y cefalea.
- Zonas de Descompresión Sensorial: Espacios anejos al aula con baja estimulación visual y auditiva que permitan la autorregulación fisiológica activa.

Caso Práctico 1: Reacondicionamiento Neuroergonómico en Laboratorios de Simulación Clínica

Contexto: Un departamento de enfermería universitaria identificó una tasa desproporcionada de bloqueos cognitivos y errores procedimentales en estudiantes neurodivergentes durante las prácticas en laboratorios de simulación de alta fidelidad, caracterizados por alarmas sonoras continuas, luces fluorescentes intensas y alta densidad de personas.

Análisis Neuroergonómico e Intervención: El análisis situacional indicó que el entorno provocaba una hiperactivación del sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA) y de la amígdala en estudiantes con hipersensibilidad sensorial, lo que resultaba en un colapso de la memoria de trabajo justo antes de llevar a cabo procedimientos complejos.

En respuesta a esta situación, se llevó a cabo una reestructuración del entorno mediante la instalación de paneles de absorción acústica, iluminación LED regulable por áreas y un espacio destinado a la descompresión sensorial previo a la simulación. Asimismo, se autorizó el uso de atenuadores acústicos selectivos que permiten filtrar el ruido de fondo sin aislar la voz humana.

Resultado: Después de la intervención, se observó una disminución del 45% en los índices de estrés percibido y un aumento del 38% en la precisión en la ejecución de procedimientos clínicos bajo simulación en el alumnado neurodivergente. Esto demuestra que las dificultades previas estaban relacionadas con una sobrecarga sensorial del entorno y no con una falta de competencia técnica.

Tecnologías Asistivas y Evaluación Neuroinclusiva

Es necesario señalar que la tecnología no debe ser considerada como una ventaja desleal, sino como un andamiaje o "prótesis cognitiva" que equilibra las condiciones de ejecución para diversos tipos de procesamiento cerebral.

Prótesis Cognitivas para las Funciones Ejecutivas

Es necesario señalar que las herramientas digitales avanzadas, tales como los convertidores de texto a voz, los softwares de mapas mentales dinámicos, los lectores de pantalla y los asistentes de organización temporal, funcionan como extensiones externas del córtex prefrontal. Al asumir tareas que requieren una alta carga en la memoria de trabajo, tales como el mantenimiento de la estructura de un texto o el seguimiento secuencial del tiempo, estas tecnologías permiten liberar capacidad de procesamiento en la corteza prefrontal, facilitando así el pensamiento crítico y la síntesis conceptual.

El uso responsable de estas herramientas en el ámbito del aprendizaje académico representa una ventaja significativa para los estudiantes en general, y de manera particular para aquellos con neurodivergencia, lo cual debe ser considerado.

Validez de Constructo vs. Varianza Irrelevante al Constructo

Un problema central en la evaluación universitaria tradicional que podemos hallar, es la confusión entre la maestría de un contenido y la velocidad de ejecución motora o lectora. En la teoría de la medición, la varianza irrelevante al constructo, ocurre cuando la prueba mide variables ajenas al objetivo real de aprendizaje.

- *Ejemplo:* Evaluar la capacidad de análisis filosófico mediante un examen escrito a mano de 45 minutos penaliza al estudiante con disgrafía motora o lentitud de procesamiento, midiendo su velocidad grafo-motora y no su razonamiento filosófico.

Se observa que la evaluación neuroinclusiva asegura la validez de constructo mediante la diversificación de los formatos, tales como portafolios de desempeño, defensas orales estruc-

turadas y proyectos aplicados. Esto permite la implementación de adaptaciones de acceso, como la extensión del tiempo y el uso de procesadores de texto, sin comprometer los criterios de rigor académico.

Capacitación Docente y Clima Socioafectivo Neuroinclusivo

El clima socioafectivo del aula influye en la neurobiología del aprendizaje. Las actitudes y expectativas del profesorado influyen en la respuesta neuroendocrina del alumnado, ya sea de manera positiva o negativa.

El "Efecto Golem" y la Respuesta Amigdalina ante la Amenaza

Es fundamental comprender que el denominado "Efecto Golem" se refiere al fenómeno en el cual las expectativas reducidas o los sesgos implícitos que un docente puede tener hacia un estudiante, al considerarlo "incompetente", "perezoso" o "limitado" debido a su perfil neuro-divergente, se manifiestan en microconductas de rechazo e impaciencia.

Desde una perspectiva cerebral, la percepción de ser juzgado o estigmatizado activa la red de saliencia y la amígdala, lo que lleva a interpretar el entorno del aula como una amenaza social inminente. Esta activación extiende la liberación de cortisol, lo que inhibe la neurogénesis en el hipocampo y obstaculiza el funcionamiento del córtex prefrontal dorso-lateral.

La percepción de no pertenecer al aula o de no ser apto para estar en ella puede afectar de manera negativa el desempeño de una persona a lo largo de su trayectoria. En un estado de amenaza percibida, la capacidad de aprendizaje profundo se encuentra biológicamente inhabilitada.

En este contexto, el papel del docente es fundamental para establecer una relación adecuada en el proceso de aprendizaje del estudiante.

Seguridad Psicológica y Co-diseño Curricular

Para contrarrestar la respuesta ante una amenaza, es fundamental establecer un entorno de seguridad psicológica, el cual se puede definir como la convicción compartida de que el aula

constituye un espacio seguro para asumir riesgos intelectuales, cometer errores e intentar enfoques alternativos para la resolución de problemas.

En el co-diseño curricular, se incluye a los estudiantes neurodivergentes en la planificación de las dinámicas de clase y en las modalidades de entrega. En este contexto, se establece que la participación activa restablece el sentido de control y autoeficacia, al tiempo que activa el sistema dopaminérgico relacionado con la búsqueda y optimiza la receptividad cognitiva.

Caso Práctico 2: Co-diseño Curricular y Seguridad Psicológica en una Asignatura de Programación Avanzada

Contexto: En una facultad de informática, la asignatura de "Algoritmos Complejos" registraba una tasa de abandono del 40%. Los estudiantes con perfiles de TDAH y ansiedad social reportaban pánico a las evaluaciones individuales de código en vivo sobre pizarra, un formato tradicional que derivaba en bloqueo ejecutivo inmediato.

Análisis Socio-Afectivo e Intervención: La evaluación de la dinámica del aula indicó que la evaluación en tiempo real en la pizarra provocaba una respuesta de amenaza social significativa en la amígdala, lo que comprometía la capacidad de la memoria de trabajo necesaria para resolver problemas de lógica algorítmica. Se ha observado que, en respuesta a esta situación, el equipo docente ha llevado a cabo un proceso de co-diseño curricular junto a los estudiantes, diversificando los métodos de evaluación. En este contexto, se ha reemplazado la prueba tradicional en pizarra por la entrega de proyectos en repositorios remotos, implementando una revisión de código asincrónica en formato de evaluación por pares de manera anónima. Además, se ha mantenido la opción de un examen oral técnico estructurado.

Resultado: Con esta información, se observa que la tasa de abandono en la asignatura se redujo al 12%. El rendimiento técnico en la calidad del código presentado por los estudiantes neurodivergentes experimentó un incremento del 45%, lo que confirma que la eliminación de la amenaza social artificial facilitó la manifestación completa de sus habilidades en razonamiento lógico.

Modelo de Intervención Aplicada en el Terreno: El Protocolo AIR (Accesibilidad, Inclusión y Rigor) en la Educación Superior

Para implementar la neurociencia de la inclusión en la práctica universitaria diaria, es necesario trascender los discursos teóricos abstractos y desarrollar herramientas metodológicas operativas. En este contexto, se expone un caso de aplicación práctica de un programa de reacondicionamiento pedagógico y curricular denominado Protocolo AIR (Accesibilidad, Inclusión y Rigor), el cual ha sido diseñado para asignaturas que presentan una alta exigencia conceptual y una elevada tasa de reprobación en entornos universitarios.

Diagnóstico del Problema en el Terreno.

Es posible observar, en el contexto de la Cátedra de Fisiología Humana y Neurobiología de una facultad de Ciencias de la Salud, que se ha identificado un patrón crítico durante tres semestres consecutivos, en los cuales un 38% del alumnado abandonaba o reprobaba la asignatura en el primer parcial. En este contexto, las evaluaciones diagnósticas revelaron que los estudiantes neurodivergentes, que incluyen aquellos con diagnósticos confirmados de Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), dislexia del desarrollo y trastorno del procesamiento sensorial, así como aquellos sin diagnóstico pero que presentan severas dificultades en la autorregulación, representaban el 70% de las bajas.

El análisis directo en el aula reveló tres cuellos de botella estructurales:

1. Sobrecarga en la Entrada Sensorial y Atencional: Clases magistrales de 180 minutos continuos con proyección de diapositivas saturadas de texto denso, impartidas en anfiteatros con reverberación acústica defectuosa e iluminación fluorescente parpadeante.
2. Monopolio Representacional: El material de estudio se limitaba a manuales en formato PDF no estructurados y lecturas planas sin jerarquía visual.
3. Inflexibilidad Evaluativa: Exámenes presenciales de opción múltiple con penalización por respuesta incorrecta y una restricción estricta de 45 segundos por pregunta.

Implementación del Protocolo AIR: Soluciones Prácticas Paso a Paso

Con el objetivo de transformar esta asignatura sin disminuir el nivel de exigencia científica, el equipo docente ha implementado un plan de reestructuración que consta de tres fases operativas directas:

Fase 1: Auditoría y Mapeo de Puntos de Fricción Cognitiva

- Se implementó una matriz de trazabilidad atencional durante las clases magistrales. A través de la observación directa y la aplicación de encuestas sobre la carga cognitiva percibida, utilizando la herramienta NASA-TLX, se determinó que la atención sostenida del alumnado disminuía significativamente después de 22 minutos de exposición continua.
- Solución Aplicada**:** Se reestructuró la clase de 3 horas bajo la regla 20-5-20**:** 20 minutos de instrucción directa focalizada, 5 minutos de pausa activa con micro-ejercicios de procesamiento individual o en pareja, y 20 minutos de aplicación práctica. Con esta simple modificación se previno la saturación de la memoria de trabajo y redujo los picos de fatiga ejecutiva.

Fase 2: Rediseño Bimodal del Material Didáctico (Alineación UDL)

Desde este punto, se observa la eliminación del monomorfismo en el texto plano. Todo el contenido teórico de la cátedra ha sido sistematizado con el propósito de proporcionar una representación en tres modalidades:

- Vía Audiovisual Sintética: La creación de “micro-píldoras” explicativas de 6 minutos en vídeo, con subtitulación precisa y esquemas animados para visualizar procesos dinámicos (como el potencial de acción neuronal).
- Vía Texto Accesible: Los apuntes principales fueron elaborados de acuerdo con las normas de accesibilidad cognitiva. Se utilizó una tipografía sans-serif de alto contraste, se estableció una jerarquización clara mediante encabezados estructurados, se aplicaron

negritas de manera estratégica para facilitar la fijación foveal y se incluyeron resúmenes ejecutivos en forma de mapas conceptuales al inicio de cada tema.

- **Vía Analítica/Interactiva**: Integración de modelos tridimensionales digitales manipulables para que los estudiantes pudieran exploraran las estructuras anatómicas a su propio ritmo.

Fase 3: Reestructuración de la Evaluación y Supresión de Varianza Irrelevante

Para poder garantizar que la evaluación midiera el conocimiento real de la fisiología y no la velocidad de procesamiento ni la resistencia al estrés, se nos rediseñó un el sistema de exámenes:

- **Ampliación del Margen Temporal**: Se incrementó el tiempo de evaluación en un 30% para la totalidad de la cohorte. Esta medida simple eliminó las tan temidas "respuesta de pánico" amigdalino generada por la presión del reloj, permitiendo que la corteza prefrontal mantuviera el control de la búsqueda de información en la memoria a largo plazo.
- **Banco de Pruebas Formativas Desglosadas**: Se habilitó un entorno virtual con cuestionarios de autoevaluación ilimitados y retroalimentación explicativa inmediata. Esto permitió a los estudiantes con TDAH y discalculia realizar prácticas de ensayo y error sin penalización académica, fortaleciendo la señal de Negatividad Relacionada con el Error (ERN) en el Córtex Cingulado Anterior de forma segura.
- **Diversificación de la Entrega Final**: Se ofreció la posibilidad de demostrar la maestría de la materia a través de dos modalidades optativas de igual rigor académico: la resolución de un examen de casos clínicos complejos o la defensa oral de un proyecto de investigación aplicado.

Se ha observado que, tras la implementación continua del Protocolo AIR durante dos semestres, los indicadores de rendimiento de la asignatura han experimentado una transformación significativa:

Tabla 14. *Resultados Medibles en el Terreno*

Indicador de Rendimiento	Antes del Protocolo AIR	Después del Protocolo AIR	Impacto Neurocognitivo Observado
Tasa de Reprobación / Abandono	38%	11%	Reducción del bloqueo por sobrecarga afectiva y sensorial.
Calificación Promedio en Parciales	6.2 / 10	8.1 / 10	Optimización del acceso al léxico y mayor profundidad conceptual.
Reporte de Ansiedad ante Exámenes	82% del alumnado	24% del alumnado	Desactivación de la respuesta de amenaza amigdalina.
Participación de Estudiantes Neurodivergentes	15% en debates	78% en debates	Incremento de la seguridad psicológica y el valor de autoeficacia.

Nota. Elaboración propia.

Se puede afirmar que la innovación curricular y la creación de entornos de aprendizaje neuroinclusivos constituyen una transformación ética, pedagógica, legal y social que resulta indispensable. Con el cual es posible superar las barreras de la estandarización, fundamentar las prácticas en la neurociencia cognitiva y considerar la variabilidad como un activo esencial e inevitable. En este contexto, se observa que las instituciones educativas no solo cumplen con sus obligaciones internacionales en materia de derechos humanos, sino que, además, enriquecen el debate académico, fomentan el talento diverso y contribuyen a la construcción de una sociedad plenamente justa, democrática e innovadora.

REFERENCIAS

American Psychological Association. ((2020)). *Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.).* doi:https://doi.org/10.1037/0000165-000

Arnsten, A. (2009). Stress signalling pathways block prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(6), 410–422.

Aston, G., & Cohen, J. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: Adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience*, 403–450.

Azevedo et al. (2009). Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain anisometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology, 513*(5), 532–541.

Azevedo, R., & Gašević, D. (2019). Analyzing multimodal data to enhance research and practice in self-regulated learning. *Journal of Learning Analytics, 6*(3), 1–10.

Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology, 63*, 1–29. doi:https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422

Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. Bower, *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 47–89). Academic Press.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control.* W. H. Freeman and Company.

Bear, M. (2003). Bidirectional synaptic plasticity: From protein synthesis to synaptic competition. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. *Series B: Biological Sciences, 358*(1432), 649–655.

Bisquerra, R. (2016). *Educación emocional: Propuestas para educadores y familias.* Editorial Desclée de Brouwer.

Bjork, R., & Bjork, E. (2020). Desirable difficulties in theory and practice. *Journal of Applied research in Memory and Cognition*, 475-479.

Blakemore, S. (2012). Development of the social brain in adolescence. *Journal of the Royal Society of Medicine, 105*(3), 111–116.

Bliss, T., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of Physiology, 232*(2), 331–356.

Borges, J., & Castells, M. (2022). *Gobernanza de datos y ciudadanía digital en la educación superior.* Editorial Académica.

Bruer, J. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher, 26*(8), 4–16.

Buckner et al. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1124*(1), 1–38.

Cepeda et al. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin, 132*(3), 354–380.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reallocation of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24*(1), 87–114.

Crockett et al. (2008). Serotonin modulates behavioral reactions to unfairness. *Science, 320*(5884), 1739.

Damasio, A. (2018). *El error de Descartes: La emoción, la razón y el cerebro humano.* Ediciones Destino.

Dekker et al. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 135–168. doi:https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience, 11*(2), 114–126.

Doyle, N. (2020). Neurodiversidad en el trabajo: un modelo biopsicosocial y su impacto en los adultos que trabajan. *Br Med Bull*, 108–125.

Doyon et al. (2009). Contributions of the basal ganglia and cerebellum to motor sequence learning and consolidation. *Neuropsychologia, 47*(6), 1401–1412.

Eriksson et al. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine, 4*(11), 1313–1317.

Flavell, J. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist, 34*(10), 906–911.

Frankland, P., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(2), 119–130.

Fuster, J. (2015). *The prefrontal cortex (5th ed.).* Academic Press.

García et al. (2016). Executive Functions and the Improvement of Thinking Abilities: The Intervention in Reading Comprehension. *Front Psychol*. doi:10.3389/fpsyg.2016.00058

García, F. (2021). La transformación digital de la educación superior: De la enseñanza remota de emergencia a la construcción de un ecosistema digital integrado. *Revista de Educación a Distancia (RED), 21*(65), 1–28.

Garrison et al. (2000). Critical inquiry in a text-based environment: Computer conferencing in higher education. *The Internet and Higher Education, 2*(2-3), 87–105.

Geake, J. (2008). Neuromyths in education. *Educational Research, 50*(2), 123–133.

Goleman, D. (2006). *La inteligencia emocional en el aula y en la vida.* Editorial Kairós.

Hasselmo, M. (2006). The role of acetylcholine in learning and memory. *Current Opinion in Neurobiology, 16*(6), 710–715.

Hebb, D. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory.* John Wiley & Sons.

Howard et al. (2016). The neuroscience of education: A review of the role of neuroscience in education. *Educational Philosophy and Theory, 48*(12), 1213–1228.

Howard, P. (2014). Neuroscience and education: A review of educational interventions and approaches based on neuroscience. *Educational Research*, 119–133.

Immordino et al. (2012). Rest is not idleness: Implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspectives on Psychological Science*, 352–364.

Immordino, M. (2016). *Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience.* W. W. Norton & Company.

Kandel, E. (2001). The molecular biology of memory storage: A dialogue between genes and synapses. *Science, 294*(5544), 1030–1038.

Kirschner et al. (2018). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75–86.

Lisman, J., & Jensen, O. (2013). The theta-gamma neural code. *Neuron, 77*(6), 1002–1016.

Malenka, R., & Bear, M. (2004). LTP and LTD: An embarrassment of riches. *Neuron, 44*(1), 5–21.

Mayer, R. (2019). Thirty years of research on online learning. *Educational Psychology Review, 31*(2), 261–280.

McEwen, B. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews, 87*(3), 873–904.

Meltzer, L. (2018). *Executive function in education: From theory to practice (2nd ed.).* The Guilford Press.

Menon, V., & Uddin, L. (2010). Saliency, switching, attention and control: A network model of insula function. *Brain Structure and Function, 214*(5-6), 655–667.

Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*(2), 81–97.

Miyake et al. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 49–100.

Mora, F. (2017). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama (2.a ed.).* Alianza Editorial.

Newton, P., & Miah, M. (2020). Evidence-based higher education–Is the learning styles 'myth' important? *Frontiers in Education*, 5.

Organización de las Naciones Unidas. (2006). *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.* ONU.

Pareja, G. (2014). *El papel del ejercicio físico en la inducción de BDNF y sus vías de señalización en el sistema nervioso central. Aplicación neurobiológica en modelos sanos y terapéutica en la enfermedad de Alzheimer.* Universitat de València.

Pascual et al. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 377–401.

Pashler et al. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest, 9*(3), 105–119.

Pekrun, R. (2019). Control-value theory of achievement emotions. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink, *International handbook of emotions in education* (pp. 191-210). Routledge.

Pessiglione et al. (2006). Dopamine-dependent prediction errors underpin reward-seeking behaviour in humans. *Nature, 442*(7106), 1042–1045.

Phelps, E. (2006). Emotion and cognition: Insights from studies of the human amygdala. *Annual Review of Psychology*, 27–53.

Philosophy. (2026). *Carol Dweck: A Summary of Growth and Fixed Mindsets*. Retrieved from Philosophy: https://fs.blog/carol-dweck-mindset/

Pintrich, P. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In B. e. al., *Handbook of self-regulation* (pp. 451–502). Academic Press.

Posner, M., & Rothbart, M. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology, 58*(1), 1–23.

Purves et al. (2001). *Neuroscience. 2nd edition.* Sunderland (MA): Sinauer Associates.

Roediger, H., & Karpicke, J. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science, 17*(3), 249–255.

Ryan, R., & Deci, E. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness.* Guilford Publishing.

Schultz, W. (2016). Dopamine reward prediction error coding. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 23–32.

Seeley et al. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience*, 2349–2356.

Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2*(1), 3–10.

Sigman et al. (2014). Neuroscience and education: Prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience, 17*(4), 497–502.

Sousa, D. (2016). *How the brain learns (5th ed.).* Corwin Press.

Spalding et al. (2013). Dynamics of hippocampal neurogenesis in adult humans. *Cell, 153*(6), 1219–1227.

Squire, L. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory, 82*(6), 171–177.

Squire, L., & Dede, A. (2015). Conscious and unconscious memory systems. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 7*(3), a021667.

Sweller et al. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review, 31*(2), 261–292.

Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In J. Mestre, & B. Ross, *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (pp. 37–76). Academic Press.

Voss et al. (2013). Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 525–544.

Vygotsky, L. (1987). *Thinking and speech: The collected works of L. S. Vygotsky (Vol. 1).* Plenum Press.

World Web Consortium. (2023). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2.* W3C Recommendation.

Xie et al. (2013). Sleep drivesmetabolite clearance from the adult brain. *Science*, 373–377.

Zeidner, M. (2014). Anxiety in education. In R. Pekrun, & L. Lnnenbrink, *International handbook of emotions in education* (pp. 265-288). Routledge.

Zimmerman, B. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 64–70.

educación

BINARIO Editorial

ISBN: 978-9942-609-83-0