



Rosa María Esteban Moreno
Claudia de Barros Camargo
Rocío Quijano López
(Coords.)

Claves de la neuropedagogía



Claves de la neuropedagogía

Rosa María Esteban Moreno
Claudia de Barros Camargo
Rocío Quijano López
(Coords.)

Claves de la neuropedagogía

Octaedro 

Colección Horizontes - Universidad

Título: *Claves de la neuropedagogía*

Primera edición: julio de 2023

© Rosa María Esteban Moreno, Claudia de Barros Camargo,
Rocío Quijano López (coords.)

© De esta edición:
Ediciones OCTAEDRO, S.L.
C/ Bailén, 5 – 08010 Barcelona
Tel.: 93 246 40 02
octaedro@octaedro.com
www.octaedro.com

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

ISBN (papel): 978-84-19690-31-9

ISBN (PDF): 978-84-19690-32-6

Maquetación: Fotocomposición gama, sl

Diseño y producción: Octaedro Editorial

Sumario

Introducción: claves de la neuropedagogía	9
ROSA MARÍA ESTEBAN MORENO; CLAUDIA DE BARROS CAMARGO; ROCÍO QUIJANO LÓPEZ	
1. Neurociencia y educación. Desarrollo del cerebro y procesos madurativos relacionados con el aprendizaje . . .	11
LUCÍA PRENSA SEPÚLVEDA; JAVIER GILABERT JUAN; MIGUEL ÁNGEL GARCÍA CABEZAS	
2. La neuropedagogía para la mejora interdisciplinar de la práctica educativa	33
ROSA MARÍA ESTEBAN MORENO; MERCEDES BLANCHARD GIMÉNEZ; ZULLY CUÉLLAR LÓPEZ; LEANDRA FERNANDES PROCOPIO; SILVIA PIZARRO ELIZO	
3. Enfoques y retos actuales de la neuropedagogía y la neurolingüística	59
MARÍA AZUCENA PENAS IBÁÑEZ; ELENA GARAYZÁBAL HEINZE; IRENE HIDALGO DE LA GUÍA; OLGA IVANOVA; CARMEN VARO VARO	
4. Neuropedagogía y metodologías docentes inclusivas, tecnologías emergentes	87
CLAUDIA DE BARROS CAMARGO; MARÍA JOSÉ LEÓN GUERRERO; MARGARITA R. PINO JUSTE; ASCENSIÓN PALOMARES-RUIZ; ROCÍO QUIJANO LÓPEZ; MANUEL FERNÁNDEZ CRUZ; SLAVA LÓPEZ RODRÍGUEZ	

5. Neuropedagogía y tecnología: fundamentos, desafíos y soluciones para una disciplina integrada en la práctica docente	111
ADA FREITAS CORTINA; INMACULADA MARTÍNEZ ALCAÑIZ; ISABEL SOLANA DOMINGUEZ; MARCO RAMOS RAMIRO	
6. Inclusión socioeducativa del alumnado vulnerable: una perspectiva neurodidáctica.	139
ALINA DE LAS MERCEDES MARTÍNEZ SÁNCHEZ; CLAUDIA MESSINA ALBARENQUE; CARMEN DE ANDRÉS VILORIA; MARÍA ALMUDENA ÁLVAREZ IRARRETA	
7. Neuropedagogía, neuroeducación y neurodidáctica	163
ANTONIO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ; MIGUEL PÉREZ FERRA; ANALÍA ELIZABETH LEITE MÉNDEZ; JOSÉ IGNACIO RIVAS FLORES; JOSÉ ÁLVAREZ RODRÍGUEZ; EUFRASIO PÉREZ NAVÍO	
8. Neurodidáctica en el contexto de aula: abordaje desde la neurobiología de las emociones y el buen trato	185
JOSÉ MANUEL VEGA MALDONADO	
9. Praxis ciudadana por la calidad y equidad de los aprendizajes	189
RUTILIA CALDERÓN PADILLA	

Introducción: claves de la neuropedagogía

ROSA MARÍA ESTEBAN MORENO
CLAUDIA DE BARROS CAMARGO
ROCÍO QUIJANO LÓPEZ

La neuropedagogía es una disciplina emergente que se ocupa de la comprensión de los procesos cerebrales que subyacen al aprendizaje. Estudia las implicaciones de la neurociencia para la educación y la enseñanza. Esta disciplina investiga cómo la estructura y el funcionamiento del cerebro influyen en el aprendizaje, la memoria y el comportamiento. Analiza cómo los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades; asimismo, investiga sobre cómo los factores psicológicos y el entorno influyen en el proceso de aprendizaje. También se centra en el diseño de programas educativos basados en estrategias de enseñanza y aprendizaje que sean compatibles con los mecanismos subyacentes del cerebro humano.

En el primer capítulo se avanza lo que serán líneas de investigación, partiendo de la neurociencia y la educación, a través del desarrollo del cerebro y procesos madurativos relacionados con el aprendizaje. El capítulo 2 trata sobre la neuropedagogía para la mejora interdisciplinar de la práctica educativa. El capítulo 3 aporta los enfoques y retos actuales de la neuropedagogía y la neurolingüística. En el capítulo 4 se aborda la neuropedagogía y metodologías docentes inclusivas, tecnologías emergentes. El capítulo 5 versa sobre la neuropedagogía y tecnología: fundamentos, desafíos y soluciones hacia una disciplina integrada en la práctica docente. Continuamos estas claves con: la inclusión socioeducativa del alumnado vulnerable: una perspectiva neurodidáctica; la neuropedagogía, neuroeducación y neurodidáctica;

la neurodidáctica en el contexto de aula: abordaje desde la neurobiología de las emociones y, por último, el buen trato y la praxis ciudadana.

Esperamos que esta obra aporte los fundamentos para iniciar futuras líneas de investigación que determinen las claves de la neuropedagogía.

Neurociencia y educación. Desarrollo del cerebro y procesos madurativos relacionados con el aprendizaje¹

LUCÍA PRENSA SEPÚLVEDA
JAVIER GILABERT JUAN
MIGUEL ÁNGEL GARCÍA CABEZAS

1.1. Introducción

El sistema nervioso humano hace posible todos los actos que ejecutamos, lo que sentimos y lo que recordamos. Su complejidad es enorme y su estudio es inconmensurable en todos los aspectos que atañen a la investigación científica, desde los métodos a las hipótesis y preguntas por contestar. Aun así, los científicos han averiguado mucho acerca de las estructuras anatómicas y los mecanismos fisiológicos que subyacen a los procesos de percepción, atención, motivación, memoria y control motor, que en conjunto ayudan a comprender mejor la conducta humana y sus patologías.

El sistema nervioso se compone de una porción central, que comprende el encéfalo y la médula espinal, y una porción periférica que está integrada por agrupaciones neuronales llamadas

1. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos: SI3-PJI-2021-00417, Universidad Autónoma de Madrid-Comunidad Autónoma de Madrid. Programa de estímulo a la investigación de jóvenes doctores (PID2021-126258OA-I00 / AEI / FEDER10.13039 / 501100011033), del Ministerio de Ciencia e Innovación. MAG-C es contratado por el Programa Beatriz Galindo (BEAGAL 18/00098) y ha recibido una ayuda de la Comunidad de Madrid a través del Convenio Plurianual con la Universidad Autónoma de Madrid en su línea de actuación de estímulo a la investigación de jóvenes doctores, en el marco del V PRICIT (V Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica) (SI2/PBG/2020-00014).

ganglios y numerosos nervios. Los nervios comunican el sistema nervioso central con estructuras periféricas del cuerpo que pueden ser receptores sensitivos, que aportan información sobre lo que ocurre alrededor o en el propio cuerpo, o músculos de contracción voluntaria e involuntaria, que ejecutan las acciones de respuesta a lo que pasa.

Presentamos un panorama general de la estructura y funcionamiento del sistema nervioso humano desde el punto de vista de su desarrollo prenatal y posnatal. Nuestro objetivo es ayudar a comprender a un público no especializado las bases neurales del aprendizaje. Nos referiremos casi exclusivamente al sistema nervioso central; concretamente, al encéfalo, que se divide en tronco del encéfalo, cerebelo y cerebro. Abordaremos la anatomía y la fisiología de aquellas regiones del cerebro involucradas en el aprendizaje, así como su desarrollo madurativo en la especie humana.

1.2. Desarrollo prenatal y posnatal del sistema nervioso

El sistema nervioso central humano comienza a desarrollarse muy tempranamente al principio del embarazo. Entre la tercera y la sexta semana de edad gestacional se completa su forma básica mediante una variedad de procesos fisiológicos que se suceden con gran precisión a un ritmo vertiginoso. En este periodo de gran importancia pueden interferirse algunos de esos procesos fisiológicos y ocasionar la mayoría de las malformaciones congénitas, que en muchos casos producen abortos espontáneos o dan lugar a niños con serias limitaciones en sus capacidades cognitivas, sensorimotoras y de regulación de los órganos vitales.

Hacia la quinta semana del embarazo se desarrollan los esbozos de los hemisferios cerebrales, a partir de los que se forman la corteza cerebral y la sustancia blanca subcortical. La corteza cerebral es la región del cerebro que ocupa el más alto nivel jerárquico en el sistema nervioso: los circuitos sinápticos de las neuronas de la corteza cerebral median las funciones neurales más complejas, como la atención y memoria, y su modificación es clave

en el aprendizaje. La formación de los hemisferios cerebrales implica varios procesos fisiológicos, como la producción de abundantes neuronas (neurogénesis), la migración de estas neuronas hasta su lugar definitivo en la corteza cerebral, la navegación de los axones de estas neuronas hasta alcanzar sus dianas en otras regiones del cerebro y el desarrollo de las dendritas de estas neuronas. Estos procesos se extienden hasta el tercer trimestre de la gestación y algunos continúan en la vida posnatal. Los procesos fisiológicos de muerte celular programada, también llamada apoptosis, ocurren en muchas regiones de la corteza cerebral al final de la gestación y sirven para deshacerse de aquellas neuronas que se han producido en exceso y no son necesarias. También durante el tercer trimestre se forman las primeras sinapsis (comunicaciones entre neuronas), muchas de las cuales serán «podadas» en un proceso de refinamiento sináptico para deshacerse de aquellas que se han formado incorrectamente. El adecuado desarrollo de todos estos procesos fisiológicos, tanto celulares como moleculares (neurogénesis, migración, navegación axónica, diferenciación de dendritas, formación de sinapsis, apoptosis, poda sináptica), es fundamental para completar exitosamente el desarrollo ontogénico del niño.

Entre los cuatro y los nueve meses de gestación, el crecimiento de los hemisferios cerebrales es enorme (figura 1.1), pero el encéfalo de un recién nacido tiene solo el 25 % del volumen que tendrá cuando sea adulto. El crecimiento posnatal del encéfalo se debe a varios procesos fisiológicos que modifican el tamaño y la forma de las neuronas. Entre estos procesos destacan: el incremento del tamaño de los cuerpos de las neuronas, el desarrollo de las prolongaciones dendríticas y axónicas de dichas células y, sobre todo, la mielinización de los axones de muchas neuronas.

La mielinización se propaga velozmente durante los primeros meses de vida posnatal, pero no finaliza en las áreas sensitivas y motoras de la corteza cerebral hasta la primera década de vida. En las áreas corticales de mayor complejidad funcional (áreas asociativas), la mielinización se extiende hasta la edad adulta. La mielinización comienza en la semana 16 de gestación en los cordones posteriores de la médula espinal por los que asciende información sensitiva somática procedente del cuerpo hacia la corteza cerebral. Sobre la vigésima semana del embara-

zo se mielinizan los tractos motores del cerebelo y sobre la semana 36 se mieliniza parte del tracto piramidal que conecta la corteza cerebral con la médula espinal. En el momento del nacimiento ya hay axones mielinizados en las distintas porciones del tronco del encéfalo (bulbo raquídeo, puente y mesencéfalo), en la sustancia blanca cerebelosa y en el brazo posterior de la cápsula interna; la mielinización sigue avanzando hacia los ganglios basales, el tálamo y las áreas de corteza sensitiva y motora primarias.

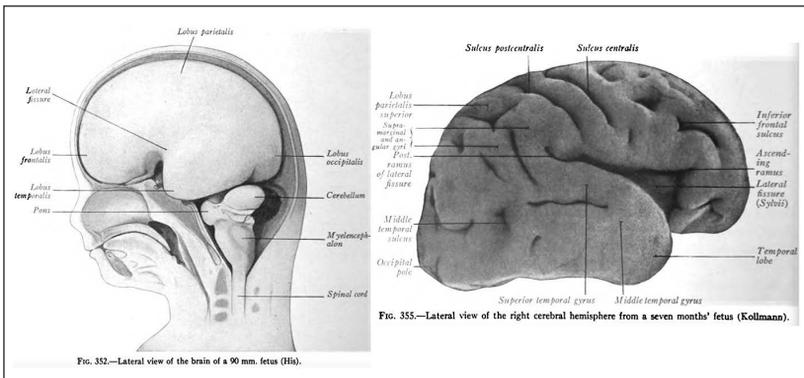


Figura 1.1. Crecimiento prenatal del cerebro humano. El dibujo de la izquierda representa una vista lateral izquierda de la cabeza de un feto de unas ocho semanas de edad gestacional. La fotografía de la derecha muestra una visión lateral del hemisferio derecho de un feto de siete meses. Imágenes tomadas de Prentiss y Arey (1917).

En 1920 Flechsig fue el primer autor en relacionar el grado de mielinización del sistema nervioso central con su capacidad funcional. En sus estudios demostró que los axones que llevan información sensitiva a la corteza cerebral se mielinizan antes que los que parten de la corteza cerebral llevando órdenes motoras; los últimos en mielinizarse son los axones que conectan áreas asociativas de la corteza cerebral (figura 1.2).

Es interesante indicar que el patrón espacial y temporal de mielinización descrito en estudios de cerebros humanos obtenidos *post mortem* como los que hizo Flechsig, también se identifica modernamente con técnicas de imagen *in vivo*, como la resonancia nuclear magnética (Van der Knaap y Valk, 1990, 1995). Sin embargo, el patrón de mielinización identificado mediante

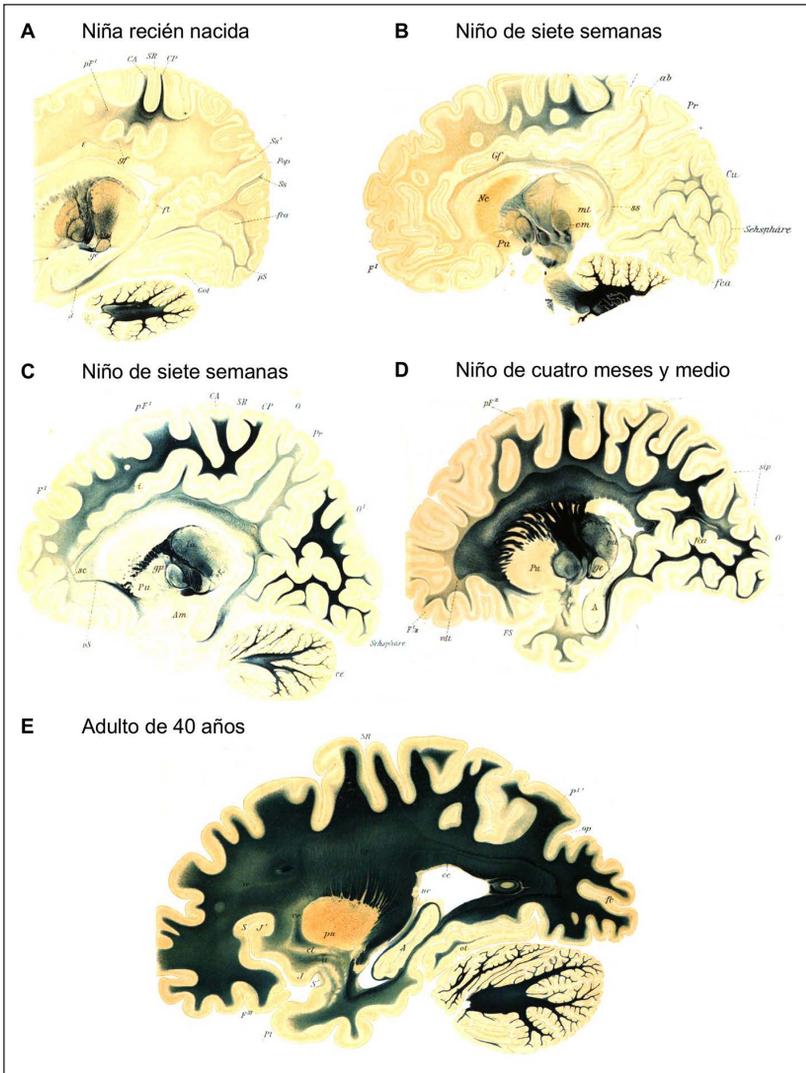


Figura 1.2. Avance posnatal de la mielinización. Las imágenes de los paneles A-E corresponden a dibujo realizados por Paul Flechsig en *Anatomie des menschlichen Gehirns und Rückenmarks auf myelogenetischer Grundlage* (1920), a partir de secciones histológicas sagitales de cerebro humano en las que la mielina se ha coloreado de negro mediante tinción de Weigert. Al nacer (A) se identifican unas pocas zonas coloreadas de negro que van aumentando progresivamente a lo largo de las primeras semanas de vida posnatal (B-D). En el cerebro adulto (E) hay una gran cantidad de mielina.

resonancia magnética se retrasa algunas semanas con respecto al de los estudios *post mortem* debido a que la mínima concentración de mielina requerida para cambiar la intensidad de la señal en la resonancia magnética es mayor que la necesaria para ser detectada con tinciones histológicas. Durante el primer mes de vida extrauterina, la mielinización avanza muy rápidamente, alcanzando en el tercer y cuarto meses los territorios del lóbulo frontal de la corteza cerebral y en el quinto mes los del lóbulo temporal. Los haces de fibras que conectan áreas corticales frontales, parietales y temporales de un mismo hemisferio comienzan a mielinizarse al final del primer año.

1.3. Expansión de la corteza cerebral en el encéfalo humano

La formación de la parte de la corteza cerebral cuyas neuronas se disponen en seis capas corticales, llamada isocorteza, es un proceso relativamente tardío en la evolución y constituye el principal factor que aumenta la masa encefálica de los primates y homínidos. En estos animales, la isocorteza alcanza un tamaño desproporcionado con respecto al peso corporal, lo que les confiere una mayor capacidad de memoria, predicción y planificación que a otros mamíferos. En la especie humana, el enorme desarrollo y expansión de la isocorteza posibilita nuevas propiedades funcionales, como el lenguaje o la expresión emocional a través del arte. La principal característica morfológica de la corteza cerebral es que sus neuronas se disponen en varias capas paralelas a la superficie del cerebro. Algunas partes de la corteza tienen dos o tres capas, como el hipocampo o la corteza olfativa, y se las denomina allocorteza. Otras partes tienen seis capas, y se las denomina colectivamente isocorteza. Entre la allocorteza y la isocorteza hay partes de la corteza cerebral que tiene cuatro o cinco capas, y se denominan mesocortezas. Se puede describir la corteza cerebral como una estructura continua en la que la complejidad de su arquitectura laminar varía gradualmente desde la allocorteza hasta la isocorteza, pasando por la mesocorteza (figuras 1.3 y 1.4).

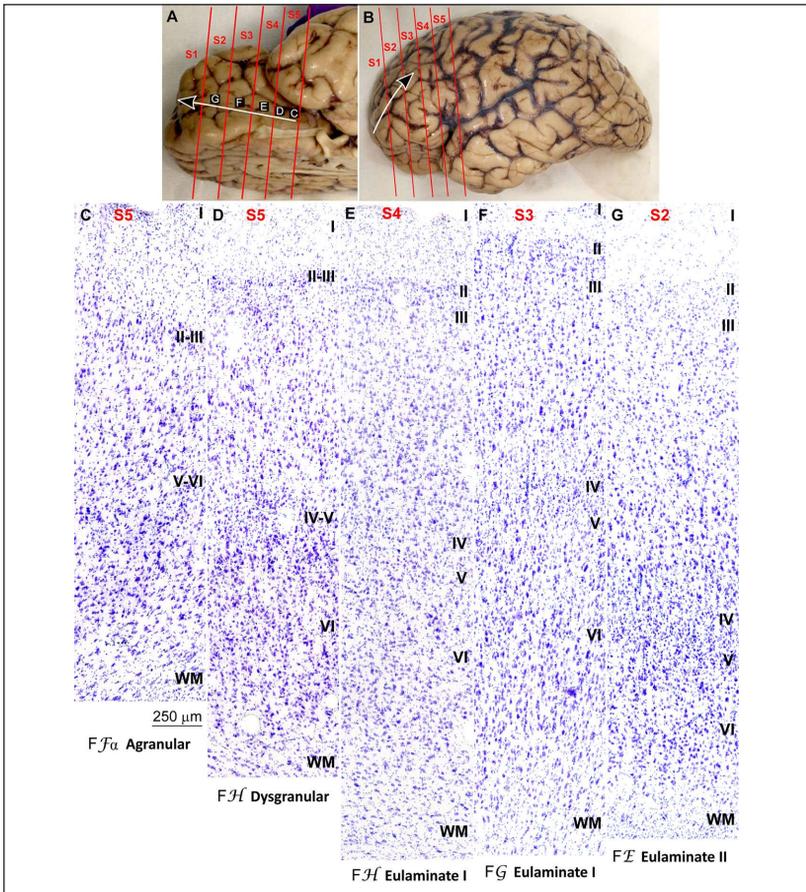


Figura 1.3. Gradiente de complejización laminar de la corteza cerebral humana. A, fotografía de un cerebro humano adulto mostrando la corteza orbitaria. B, fotografía de un cerebro humano adulto mostrando la corteza prefrontal dorsolateral. Las flechas en A y B muestran la dirección en la que se incrementa la complejidad del gradiente laminar. C, D, E, F y G, micrografías de secciones histológicas de corteza cerebral humana teñidas con tinción de Nissl que demuestra la arquitectura laminar. Las letras con que se marcan las micrografías se corresponden con las que aparecen en A y B, e indican los lugares del cerebro en los que se tomaron las micrografías. Debajo de cada micrografía se muestra el nombre del área cortical fotografiada y su tipo cortical que indica la complejidad laminar. Agranular y disgranular son tipos corticales correspondientes a la mesocorteza; eulaminate I y II son tipos corticales correspondientes a la isocorteza. Los números romanos indican las capas corticales. WM indica la sustancia blanca. La barra de calibración debajo de C es válida para C, D, E, F y G. Esta figura se ha obtenido de García-Cabezas y cols. (2020), bajo una licencia *Creative Commons CC-BY licence* (CC-BY 4.0).

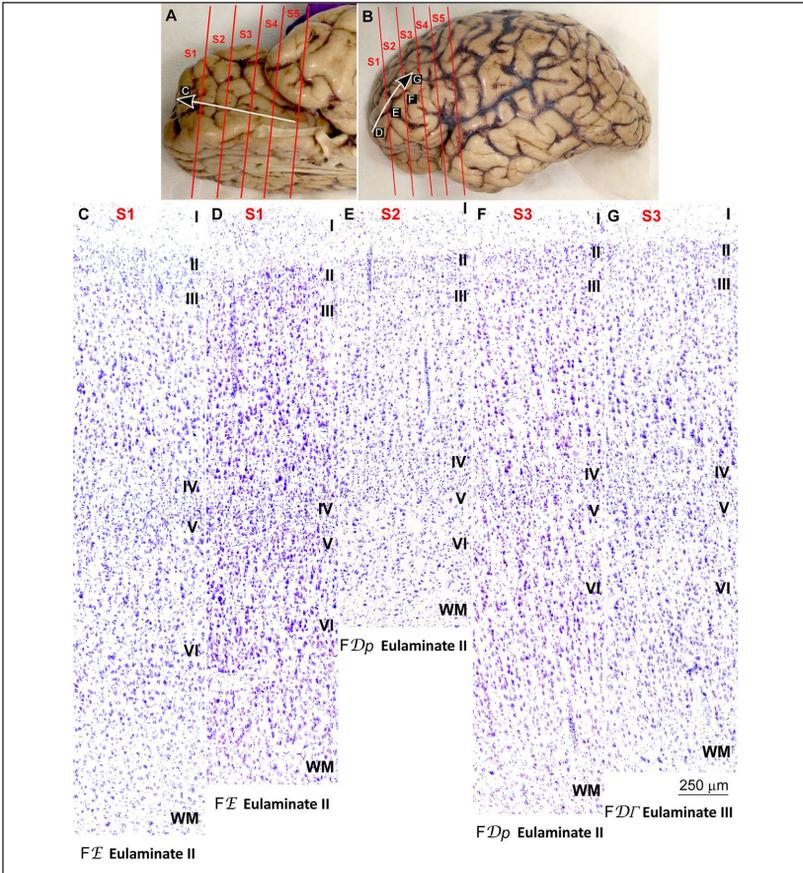


Figura 1.4. Gradiente de complejización laminar de la corteza cerebral humana. A, fotografía de un cerebro humano adulto mostrando la corteza orbitaria. B, fotografía de un cerebro humano adulto mostrando la corteza prefrontal dorsolateral. Las flechas en A y B muestran la dirección en la que se incrementa la complejidad del gradiente laminar. C, D, E, F y G, micrografías de secciones histológicas de corteza cerebral humana teñidas con tinción de Nissl que demuestra la arquitectura laminar. Las letras con que se marcan las micrografías se corresponden con las que aparecen en A y B e indican los lugares del cerebro en los que se tomaron las micrografías. Debajo de cada micrografía se indica el nombre del área cortical fotografiada y su tipo cortical que indica la complejidad laminar. Eulaminado II y III son tipos corticales correspondientes a la isocorteza. Los números romanos indican las capas corticales. WM indica la sustancia blanca. La barra de calibración debajo de G es válida para C, D, E, F y G. Esta figura se ha obtenido de García-Cabezas y cols. (2020), bajo una licencia *Creative Commons CC-BY licence* (CC-BY 4.0).

La corteza cerebral de los mamíferos más sencillos, como los marsupiales, está compuesta por aloccorteza y mesocorteza. En los roedores ya aparecen algunas áreas de isocorteza. Finalmente, en los primates se produce una gran expansión tanto cuantitativa como cualitativa del gradiente de complejidad laminar de la corteza cerebral que da lugar a un gran número de áreas de isocorteza. Estas áreas isocorticales de los primates incrementan su complejidad laminar gradualmente hasta alcanzar la máxima complejidad laminar de las áreas visual, somestésica y auditiva primarias (García-Cabezas *et al.*, 2022).

La expansión de la corteza cerebral humana, gracias a la aparición de un gran número de áreas isocorticales, permite añadir más estaciones de procesamiento neural a la información sensitiva que entra por las áreas visual, somestésica y auditiva primarias. De ahí que la información sensitiva sea transmitida a otras áreas asociativas de menor complejidad laminar que procesan información de una única modalidad sensitiva. La siguiente estación de procesamiento sensitivo comprende áreas que integran información de varias modalidades; estas áreas son isocorticales, pero de menor complejidad que las que procesan información de una única modalidad. Finalmente, la última estación de procesamiento sensitivo son las áreas mesocorticales. En estas últimas, gracias a sus fuertes conexiones sinápticas con el hipocampo –clave para la memoria– y la amígdala –clave para las emociones–, se producen los refuerzos de los circuitos sinápticos necesarios para el aprendizaje (Barbas, 2015).

1.4. Periodos críticos del desarrollo

Como se ha explicado en las secciones precedentes, el desarrollo del cerebro y su maduración es un proceso que tiene lugar secuencialmente durante años. Algunos de los procesos fisiológicos más relevantes para el desarrollo y la maduración del cerebro ocurren durante periodos en los que la capacidad de los circuitos neurales de ser modificados –es decir, su plasticidad– es máxima. Estos periodos se denominan períodos críticos; durante ellos se modifica la estructura de los circuitos neurales para facilitar el correcto funcionamiento de las diferentes regiones del cerebro. Los cambios estructurales de los circuitos neurales duran-

te los periodos críticos son posibles gracias a la plasticidad cerebral. Llamamos plasticidad cerebral al conjunto de mecanismos que hacen posible la remodelación de las células cerebrales y, por lo tanto, de los circuitos conformados por ellas. Los cambios en la estructura y función cerebral acaecidos durante los periodos críticos serán responsables del aprendizaje o la adquisición de capacidades y habilidades como, por ejemplo, el lenguaje. Las modificaciones de los circuitos perdurarán más o menos invariables en la edad adulta.

Los periodos críticos suceden en diferentes momentos del desarrollo del ser humano dependiendo de la capacidad que se esté aprendiendo; es decir, el periodo crítico para el aprendizaje del lenguaje ocurre en momentos distintos al periodo crítico para la adquisición de la visión o de habilidades motoras como la coordinación. Esto se debe a que cada capacidad depende de regiones diferentes del cerebro que maduran en momentos y a ritmos diversos que son específicos para cada región. Durante los periodos críticos, la capacidad de aprendizaje es máxima para la actividad relacionada con esa parte del cerebro. Una vez que el periodo crítico termina, la capacidad de aprendizaje se reduce considerablemente o incluso desaparece; por lo tanto, si no podemos adquirir algunas habilidades o capacidades durante un momento determinado de nuestro desarrollo, no las adquiriremos nunca. Esto quiere decir que los periodos críticos son ventanas de plasticidad cerebral en las que nuestra capacidad de aprendizaje es máxima, pero solo se abren en un momento determinado del desarrollo posnatal para, en condiciones normales, mantenerse cerradas el resto de la vida.

En el ser humano, los periodos críticos relacionados con capacidades sensitivas básicas (visión, audición, tacto...) tienen lugar durante los primeros meses o años de vida; los relacionados con habilidades motoras o el lenguaje ocurren durante los primeros años de vida; finalmente, los periodos críticos relacionados con las conductas sociales y habilidades cognitivas superiores suceden durante la infancia y la adolescencia (figura 1.5).

Los periodos críticos del desarrollo son regulados por diferentes factores tanto internos como externos. Por un lado, están los factores naturales del desarrollo de los que se ha hablado en la primera parte de este capítulo. Se trata de procesos madurativos que tienen lugar secuencialmente en nuestro cerebro y que mo-