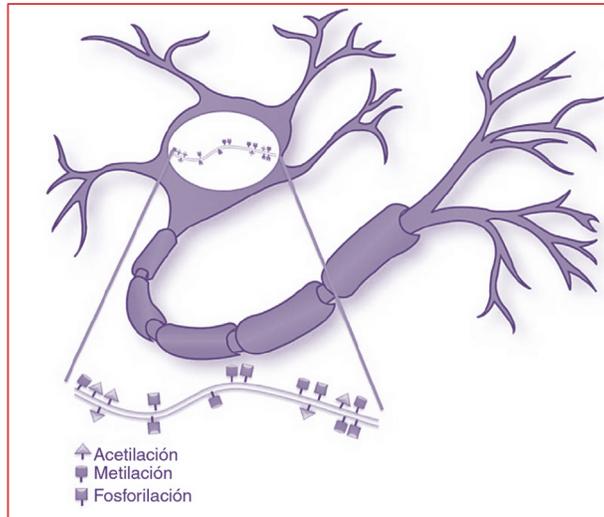


NEUROCIENCIAS, APRENDIZAJES Y BIENESTAR



MAURICIO HIDALGO O.

2 EDICIÓN DIGITAL

**COLECCIÓN
CIENCIA-VIVA
III**

NEUROCIENCIAS, APRENDIZAJES Y BIENESTAR

NEUROCIENCIAS, APRENDIZAJES Y BIENESTAR

2 EDICIÓN DIGITAL

MAURICIO HIDALGO O.

COLECCIÓN
Ciencia - Viva

III

NEUROCIENCIAS, APRENDIZAJES Y BIENESTAR

2 Edición Digital

Mauricio Hidalgo O.
Contacto: comosoplalavelas@icloud.com
<http://serprose-ltda.wixsite.com/edicosoplalavelas>

Marzo, 2021. 187 pág., 16 x 24 cm.
Ediciones COMO SOPLA LAS VELAS.
Colección CIENCIA - VIVA
Impreso en Chile.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento informático, la transmisión de cualquier otra forma o por cualquier otro medio electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y escrito del titular de los derechos de la obra.

...el tiempo es tan breve para muchos
que hay que entregarles
la gota más sustanciosa de la sabiduría,
y que ésta pueda germinar
para bienestar general.

EDMUNDO RODRIGUEZ

Acerca del autor:

Estudió biología en la Pontificia Universidad Católica de Chile y posteriormente continuó sus estudios con un postgrado en la Universidad de Chile.

Biólogo por formación, escritor por distracción y “librepensador” por vocación.

Estudió en escuela y liceo público en los años donde estudiar en dichos establecimientos era una posibilidad real para generar metamorfosis, creación y discusión. Donde niñas y niños soñaban con un mundo lleno de posibilidades.

Su paso por la Pontificia Universidad Católica de Chile y, posteriormente, por la Universidad de Chile le per-

mitió conocer dos realidades que se extrapolan a toda nuestra desigual sociedad.

Disfruta del Jazz, del buen vino tinto y de las largas tertulias donde, con sus contados amigos, busca arreglar la educación, la salud, y el mundo en general. Todo para construir realidades basadas en el bienestar subjetivo de las personas.

Otras obras del autor

- Ayurveda en la era post-genómica.
- Epigenética: (Re)pensar el Aprendizaje y la educación.

*Este libro está dedicado a
todas las niñas y a todos los niños
que están iniciando la exploración del universo,
ese universo que está al alcance de sus manos.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	13
PRÓLOGO	
Un poco de todo	19
CAPÍTULO 1	
Desde el comienzo	33
CAPÍTULO 2	
Hipótesis: Redundancia sináptica	57
CAPÍTULO 3	
Cada memoria en su área y muchas áreas para la memoria	63
CAPÍTULO 4	
Educación prenatal	99
CAPÍTULO 6	
Una buena alimentación antes de iniciar la jornada	109
CAPÍTULO 7	
Bienestar en la primera infancia	119
CAPÍTULO 8	
Lo motor y lo cognitivo	133
CAPÍTULO 9	
Creatividad	145

CAPÍTULO 10	
A modo de conclusión	159
ANEXO I	
Resiliencia:	
Una construcción multidimensional	167
ANEXO II	
Jornada Internacional aprendizaje, educación y neurociencias	175
ANEXO III	
Conceptos clave	179

AGRADECIMIENTOS

“La gratitud no es solo la más grande de las virtudes,
sino la madre de todas las demás.”

CICERÓN

Octavio Paz, al recibir el premio Nobel de Literatura en 1990, advirtió:

“Comienzo con una palabra que todos los hombres, desde que el hombre es hombre, han proferido: gracias. Es una palabra que tiene equivalentes en todas las lenguas. Y en todas es rica la gama de significados. En las lenguas romances va de lo espiritual a lo físico, de la gracia que concede Dios a los hombres para salvarlos del error y la muerte a la gracia corporal de la muchacha que baila o a la del felino que salta en la maleza. Gracia es perdón, indulto, favor, beneficio, nombre, inspiración, felicidad en el estilo de hablar o de pintar, además que revela las buenas maneras y, en fin, acto que expresa bondad de alma. La gracia es gratuita, es un don; aquel que lo recibe, el agraciado, si no es un mal nacido, lo agradece: da las gracias”.

El agradecimiento, en este sentido, posee una profunda dimensión simbólica, su sentido se mueve en el campo de lo simbólico donde podemos entenderlo, reproducirlo y, en el mejor de los casos, llenarlo de significado. Agradecer, ser agradecidos, es tomar en cuenta el agradecimiento de otra persona. Todas estas son situaciones en las que se revela con nitidez nuestra cualidad empática, esa fortaleza de nuestra especie que también está relacionada con la cooperación y la vida en lo colectivo.

Agradecer es vincularnos desde la emoción con los otros. Como lo señaló Rizzolatti¹:

“Somos criaturas sociales. Nuestra supervivencia depende de entender las acciones, intenciones y emociones de los demás. Las neuronas espejo nos permiten entender la mente de los demás, no solo a través de un razonamiento conceptual sino mediante la simulación directa. Sintiendo, no pensando”.

Cuando “sentimos” gratitud, en el cerebro se activan aquellas áreas responsables de los sentimientos de recompensa, de la cognición moral, de los juicios de valor subjetivos, de la equidad, de la toma de decisiones económicas y de la auto-referencia. En general, la corteza prefrontal (parte anterior de los lóbulos frontales del cerebro) que está involucrada en la planificación de comportamientos cognitivamente complejos, en la expresión de la personalidad, en los procesos de toma de decisiones y en la adecuación del comportamiento social.²

Todo indica que las personas que son más agradecidas tienen un mayor nivel de bienestar subjetivo. Serían más felices, con menos depresión, menos estrés, más satisfechas con sus vidas y sus relaciones sociales. Ellas también tienen mayores niveles de control de sus circunstancias, crecimiento personal, propósito en la vida, y aceptación de uno mismo. Y por si no fuera poco, duermen mejor y esto parece ser debido a que tienen menos pensamientos negativos justo antes de dormirse.

¹ GIACOMO RIZZAOLATTI es un neurobiólogo italiano descubridor de las neuronas espejos.

² FOX, G. R., KAPLAN, J., DAMASIO, H and DAMASIO, A. (2015). Neural correlates of gratitude. *Frontiers in Psychology*.

Por todo lo anterior, te agradezco querida lectora, querido lector, por darme la oportunidad de llenar tus tiempos. Agradezco los comentarios, las críticas y las posibilidades de mejorar en la acción y la reacción. Agradezco la posibilidad que me han dado para expresar mis visiones, con mis aciertos y con mis errores.

Agradezco, además, a todas las personas que han pasado y han estado en mi vivir. Solo con ellas he podido ser lo que soy. Además, agradezco a todos los que vendrán y permitirán el cambio. Un cambio, ojalá, hacia una sociedad donde la empatía sea nuestro vivir en el día a día. Gracias a todos.

PRÓLOGO

UN POCO DE TODO

“Cuando alguien busca, suele ocurrir que sus ojos solo
ven aquello que anda buscando,
y ya no logra encontrar nada ni se vuelve receptivo a nada
porque solo piensa en lo que busca,
porque tiene un objetivo y se halla poseído por él.
Buscar significa tener un objetivo,
pero encontrar significa ser libre” ...

HERMANN HESSE – SIDDHARTHA

La semilla

Hace algún tiempo participé como expositor en la XI Jornada Internacional Aprendizaje, Educación y Neurociencias, a la que fui invitado para hablar sobre epigenética y aprendizaje. La invitación a participar, a mi parecer, nació por la inquietud de mostrar un nuevo modelo que nos permitiese explicar, por algún tiempo, el aprendizaje como una propiedad biológica afectada por estímulos biopsicosociales, con fuertes implicancias evolutivas, apoyado por un nuevo paradigma, la epigenética. La invitación a participar se justificaba, además, por el interés de dar a conocer el libro que recientemente había publicado: **“EPIGENÉTICA (Re)pensar el Aprendizaje y la Educación”**.³

No puedo negar que participar en la jornada fue una experiencia enriquecedora y, lo más sabroso, llena de aprendizajes. Aprendemos día a día, una propiedad inherente de todos los

³ HIDALGO, M. (2018). Epigenética: (Re)pensar el aprendizaje y la educación. Editorial como sopla las velas. Santiago, Chile.

seres vivos. ¿Por qué negarnos a ese regalo que nos ha dado *natura*?

Debo reconocer que aprendí cosas realmente interesantes. Espero que esto no lo sorprenda. Muchas veces pasamos frente a algo sin percatarnos o fijarnos en ello. Es posible que no seamos libres y andemos buscando, pero sin encontrar - ¡eso ya no nos parece tan extraño! Los hechos aparecen solo cuando alguien nos pregunta si nos hemos fijado en sus detalles. Es ahí donde nuestros sentidos se activan y nos preguntamos: ¿Por qué tendría que haberme fijado en ello? ¿Tendrá algo especial? Y, abracadabra, ante nuestros ojos se develan respuestas para muchas interrogantes, entre ellas algunas que nos ha quitado el sueño en más de una oportunidad. Eso es precisamente lo que ocurrió y tiene que ver con genética, epigenética, sinaptogénesis, poda neuronal, estímulos, memorias y aprendizajes. ¡Que cosas!

Muchas preguntas, pocas respuestas

Es importante el hacer(nos) preguntas, es sano cuestionarnos y muchas veces en la propia pregunta, cuando está bien formulada, está la respuesta. Por ello, más que buscar obstinadamente respuestas, que es lo que solemos hacer, debemos ser capaces de hacer(nos) buenas preguntas... nuestras preguntas reflejan nuestra forma de pensar... pensamientos crean pensamientos. Y en esta búsqueda de preguntas, que tarde o temprano traerán respuestas, me he inte-

rrogado mil veces y seguiré haciéndolo otras mil veces, tratando de encontrar las respuestas que busca en ellas...

- ¿Qué es y dónde reside la memoria?
- ¿Por qué podemos recordar determinadas situaciones de manera detallada y, simplemente, otras las olvidamos?
- ¿Por qué ante una misma situación, cada persona suele recordar algo diferente?
- ¿Cómo las emociones impactan nuestra memoria y nuestras memorias impactan en nuestras emociones?
- ¿Cómo los entornos biopsicosociales afectan la maduración de nuestro cerebro?
- ¿Cómo las condiciones educacionales y de salud de los padres afectan el desarrollo de sus hijos?
- ¿Por qué generar un elevadísimo número de conexiones interneuronales, con un enorme costo energético, si después muchas serán eliminadas?
- ¿Qué ventaja evolutiva conllevaría crear y después podar?

Si bien habitualmente buscamos aquello en que nos parecemos, también es válido preguntarnos sobre aquello que nos hace diferentes... Conociendo nuestras diferencias podremos también conocer nuestras similitudes:

- ¿Qué tan diferentes son en realidad nuestros cerebros?
- ¿Cómo las diferencias existentes en nuestros cerebros afectarían las capacidades emocionales y cognitivas?

Lo anterior tiene repercusiones obvias en el contexto educativo. Al respecto, es lógico que en una misma sala de clases convivan estudiantes que manejen diversas y diferentes formas de representación, o de hacer público sus conceptos: mediante palabras, imágenes, música, matemáticas, danzas, etc. Por ello, cuando el sistema educacional selecciona y reduce el currículum, reduciendo también las formas de representación, afecta negativamente a aquellos estudiantes que no son fuertes en esa forma de representación, dejándolos en condiciones de desigualdad frente a sus compañeros de clase, para los que esas aptitudes podrían resultar “innatas”.

Plasticidad cerebral

Antes de iniciar cualquier viaje debemos adquirir nuestro boleto, en este caso, tener una idea general de lo que entendemos por plasticidad del cerebro, neuroplasticidad o re-mapeo cortical, dado que es la manifestación de un proceso más de fondo, el proceso de aprender.

La neuroplasticidad es un término que se refiere a la capacidad que tienen el cerebro para cambiar estructuralmente (sea en lo macro, sea en lo micro), que permite la elaboración de respuestas coherentes con los estímulos que recibimos desde el exterior, nuestro ambioma. Hace referencia a la capacidad para aprender y mejorar nuestras habilidades motoras y cognitivas,

como cuando aprendemos a resolver problemas matemáticos, ejecutar un movimiento determinado o cuando recordamos cualquier detalle o evento.

La plasticidad cerebral también incluye cambios en la estructura, distribución y número de sinapsis. En definitiva, es el mecanismo que permite el almacenamiento de la información, la formación de memorias y respuestas predictivas anticipatorias.

Si bien en los adultos la plasticidad cerebral es menor que la observada en niños, niñas y adolescentes, los cambios plásticos continúan ocurriendo a lo largo de toda la vida. Diría, nunca es tarde para aprender.

Otra cosa que nos debería llamar la atención es el hecho que la maduración de nuestro cerebro es un proceso biológico extremadamente lento debido a su gran complejidad, lo que hace del ser humano extremadamente vulnerable en sus primeros años de vida. Además, en la especie humana la maduración del cerebro es realmente intensa desde el momento de su formación hasta aproximadamente el tercer año de vida. Podemos señalar que su desarrollo, en definitiva, es multifacético, comprendiendo todas las dimensiones humanas.

En términos más específicos, podemos señalar que la estructuración y la organización de

las diferentes áreas del cerebro, durante el período posnatal, ocurre en paralelo de modo no compartimentalizado y en "oleadas" que se producen a diferentes edades, y que caracterizan las "*ventanas temporales*" propias de cada etapa del neurodesarrollo.

Las "oleadas" establecen curvas de desarrollo con extensiones y máximos que se expresan distintamente según la edad de niñas, niños o adolescentes. Es importante señalar que estas etapas son sensibles a los estímulos y condiciones del medio intrauterino, así como las condiciones biopsicosociales que se vivirán después del nacimiento.

En definitiva, la plasticidad cerebral es la capacidad del cerebro para remodelar las conexiones entre neuronas, células glía y entre ambas, de acuerdo a un programa inicialmente genético, pero que queda gobernado fundamentalmente por las relaciones bidireccionales que se establecen entre estímulos, estructuras y memorias (emociones). Y es aquí donde la epigenética aparece como una la solución de continuidad, que permitiría explicar la plasticidad cerebral como una propiedad dinámica, que cambia en virtud de las relaciones biopsicosociales. Así, el cerebro cambia por que es capaz de cambiar por sus propios cambios.

Limitaciones y posibilidades

Podemos afirmar que las neurociencias, así como cualquier actividad científica, pueden lo que sus métodos pueden, son limitadas. A pesar de contar con una enorme cantidad de investigadores que estudian el cerebro, pasando por los factores transcripcionales, los neurotransmisores, la funcionalidad cerebral en términos del consumo de oxígeno o de glucosa, y llegando hasta la actividad eléctrica en dimensiones que van desde los canales iónicos hasta las neuronas, las redes y el órgano como un todo, aún no contamos con el método o instrumento que pueda dar cuenta de lo que sucede en los cerebros de los estudiantes y del profesor, en el escenario real de una sala de clases.

Como investigadores, lo que hacemos es inferir y, la más de las veces, especular sobre lo que pueda estar o no pasando en una determinada región del cerebro, mientras que como docentes/profesores observamos a nuestros alumnos y alumnas atender, divagar, soñar e incluso dormir. Aún estamos ciegos, las limitaciones son obvias.

Por lo anterior, y no creo equivocarme, la investigación en neurociencias ocupa en la sala de clases un lugar más teórico que práctico. Esta afirmación la fundamento en una obviedad (al menos para mí): el profesor en la sala de clases

debe interactuar con personas, cada niño y niña, un mundo complejo de memorias, emociones, temores, aspiraciones y sueños, con cada persona como un todo. Allí no solo están la amígdala, el sistema límbico, la corteza prefrontal, el hipocampo, el tálamo y todo el conectoma cerebral, sino la persona completa. Eso sí multiplicado por el número de niñas y niños de la sala de clases. Por ello, creo que el problema de la neuroeducación es más bien un reto que un hecho real, por ahora inabarcable para las limitadas metodológicas utilizadas por las neurociencias contemporáneas. Es más, aunque pudiera resultar deseable para algunos, es claro que no existe una didáctica para el lóbulo frontal y otra para el temporal. Además, el “descubrimiento” de la importancia de la emoción en el aprendizaje es apenas otra obviedad, señalada en muchos momentos a lo largo de la historia de la educación, y en ello las neurociencias no ha aportado mayores herramientas.

La vieja duda de cuál es el ambiente más propicio para el aprendizaje sigue estando abierta: ¿conviene la austeridad solemne de una sala de clases escueta y de un profesor igualmente escueto y preciso en la construcción de sus explicaciones o vale la pena intentar competir con la saturación sensorial y emocional de los medios de entretenimiento para competir por el “corazón” de los alumnos? ¿Silencio o bullicio? ¿Disciplina o agitación? Depende, todo depende. Depende de qué profesor, qué alumnos, qué

contexto. El asunto es en qué medida esas preguntas, que son necesarias responder cada día en cada encuentro escolar, puedan estar de verdad fundamentadas en las neurociencias, al menos en la actual.

Bienestar

El bienestar puede concebirse, desde la ética, como uno de los fines a los que tiende la acción del hombre y la política, por ello se puede hablar de bienestar individual y bienestar colectivo. Siguiendo esta perspectiva, el bienestar se diferenciaría de la felicidad porque no es un momento álgido de emociones agradables, sino un estado prolongado de estar bien en las condiciones específicas de vida.

Profundizando, el bienestar ha sido conceptualizado desde dos perspectivas diferentes. La primera está en relación con la tradición hedónica e incluye el estudio de la satisfacción con la vida, del bienestar subjetivo y de las emociones positivas. Desde esta línea, una persona feliz es aquella que ha experimentado con mayor frecuencia más emociones positivas que negativas. La segunda perspectiva considera que el bienestar es eudaemónico. En esta orientación, el bienestar se alcanza cuando se logran complejas metas vitales con un alto grado de significado personal.

Ahora bien, a pesar de que muchos estudios han considerado el bienestar desde un abordaje unilateral, hedónico o eudaemónico, la investigación reciente reconoce que ambas perspectivas son distintas y en cierto modo complementarias. En otras palabras, el bienestar implica no solo sentirse bien (hedónico) sino también funcionar bien (eudaemónico).

De lo anterior, bienestar no solo es sentirse en determinados momentos bien (feliz), sino además ser capaces de interactuar con el entorno de una forma que sea percibida por nosotros como adecuada, en el contexto en el cual se vive. Sin embargo, soy de la idea que el bienestar no cae del cielo, es el resultado de un mecanismo homeostático de larga data. Se remonta a nuestra estadía en el vientre materno, a nuestra primera infancia y a nuestra adolescencia. En este contexto, la familia y la sociedad se constituyen como los principales sistemas de cuidado, crianza y formación integral de niños y niñas mediante la construcción entornos seguros, mediante la entrega de diversas herramientas que aseguren a niños y niñas relaciones biopsicosociales adecuadas a todo nivel.

Parece obvio, lo que se vive y como se vive, en nuestros primeros años, definiría nuestra percepción de nuestra vida futura. Del bienestar subjetivo, eso que nos hace sentirnos felices de cuando en cuando.

Para finalizar...

Espero buen lector, buena lectora, que este pequeño libro, con sus errores y con sus aciertos, contribuya a dar un paso más hacia la solución de algunos de los problemas que aquejan de nuestra sociedad, que deben estar resueltos antes de iniciar la construcción de una sociedad más justa y equitativa. De una sociedad llena de sentimientos de pertenencia, donde niñas y niños inicien su camino con sentido de bienestar, tanto de forma individual como también en lo colectivo y social.

Ahora podemos iniciar ese viaje, donde aprendices y maestros se confunden en una relación de complicidad y respeto. Donde todos nos bañemos con nuevos conocimientos, nuevas verdades operacionales, que permitirán aprender por lo ya aprendido, aprender en entornos que propicien nuestra sensación de bienestar...

Mauricio Hidalgo O.
Santiago, junio 2019

CAPÍTULO 1

DESDE EL COMIENZO

Creemos profundamente que el cerebro humano no es el último borrador de la evolución, los procesos cognitivos han sido modulados según las necesidades ambientales y aquellos cambios que resultan ser importantes para las poblaciones se convertirán en parte del repertorio y las estructuras del cerebro. Este no es un diseño humano, sino un mecanismo de especie para sobrevivir.⁴

A la cuarta semana después de la fecundación del ovocito II y en muchos casos antes que la mujer se entere que está embarazada, el sistema nervioso del embrión ya ha comenzado a formarse. Durante esta etapa, y durante todo el embarazo, múltiples estímulos estarán afectando su desarrollo, siendo en parte responsables de los resultados finales. Es así como el ambiente biopsicosocial en los que se desenvuelve la madre, el estrés al que está sometida, los alimentos que ingiere y las drogas que consume, tendrán impacto directo sobre el desarrollo cerebral y por ello de las potencialidades genéticas y epigenéticas de la niña o del niño en formación.

El cerebro

En términos generales, la arquitectura básica del cerebro se desarrolla antes de que la niña o el niño nazcan; la mayoría de las neuronas que llegará a tener en su vida se producen a me-

⁴ DZIB-GOODIN, A., and YELIZAROV, D. (2018). Evolution of movement process as a key for human cognition. Cuadernos de Neuropsicología Panamerican Journal of Neuropsychology. Volumen 12. Número 1. Ene-abr.

diados del embarazo y al momento de nacer ya se han organizado, formando la corteza y otras estructuras importantes del cerebro. Sin embargo, el desarrollo cerebral dista mucho de estar completo, ya que después del nacimiento los estímulos y experiencias del niño o niña desempeñarán un papel cada vez más significativo en el remodelado y afinamiento de los principales circuitos y redes cerebrales. Así, durante el desarrollo posnatal, la plasticidad anatómica y funcional de los circuitos neuronales permite que la corteza cerebral y las regiones profundas del cerebro (ej., la formación hipocámpal) se moldeen de acuerdo a los diferentes estímulos provenientes desde el ambiente.

Todo lo anterior repercute en la existencia de ventanas de aprendizaje (o periodos sensibles), que son necesarias para establecer una representación neuronal óptima y coherente con sus relaciones biopsicosociales, es decir con su entorno espacio y temporal. Es así como varias⁵ capacidades sensoriales, motoras, lingüísticas y psicológicas solo pueden adquirirse durante estos períodos, ya que la plasticidad es muy limitada fuera de ellos, en particular en el adulto, cuando muchos de los circuitos y sinapsis ya se han consolidado.⁶

⁵ Es importante destacar que varias, no significa todas.

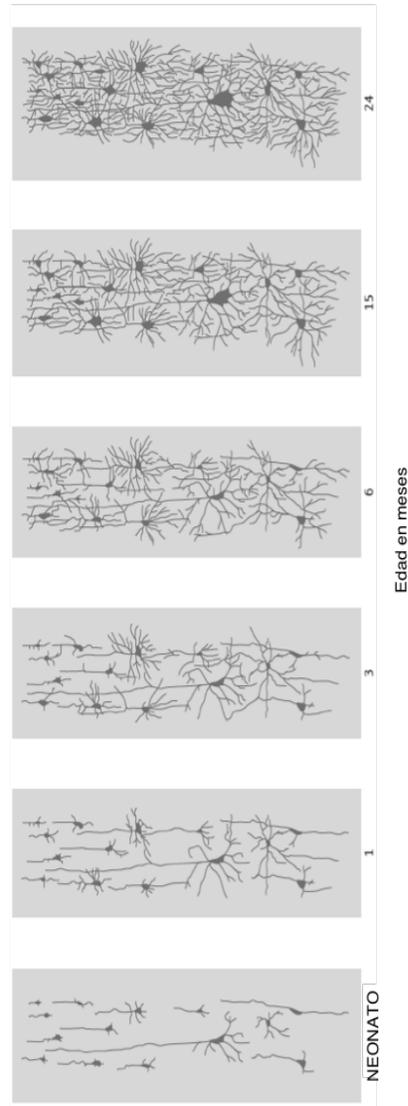
⁶ HENSCH, T.K. "Critical period regulation," *Annual Review of Neuroscience*, vol. 27, pp. 549-579, 2004.

Un ejemplo ya clásico es la existencia del período crítico en la consolidación de las redes relacionadas con la visión consciente. Durante este período, la privación monocular, el cierre prolongado de un ojo, produce una pérdida de respuesta cortical del ojo privado y una ganancia en la entrada del ojo abierto. Esta sensibilidad a la privación monocular está restringida al período crítico, que comienza después del nacimiento. En los seres humanos, las entradas desequilibradas durante este período crítico resultan en un trastorno neurológico denominado ambliopía.⁷ De hecho, la desincronización durante los períodos críticos sería responsable de muchas patologías del sistema nervioso central, posiblemente incluso de ciertas enfermedades psiquiátricas. En concreto, el desarrollo de las diferentes regiones cerebrales, después del nacimiento, es dinámico y variable, con cambios que involucran aspectos estructurales, metabólicos, que se manifiestan con cambios en la actividad eléctrica.

⁷ La ambliopía es la disminución uni o bilateral de la agudeza visual, sin una causa orgánica detectable y que se produce durante el período crítico del desarrollo de la visión, por alteración de éste.

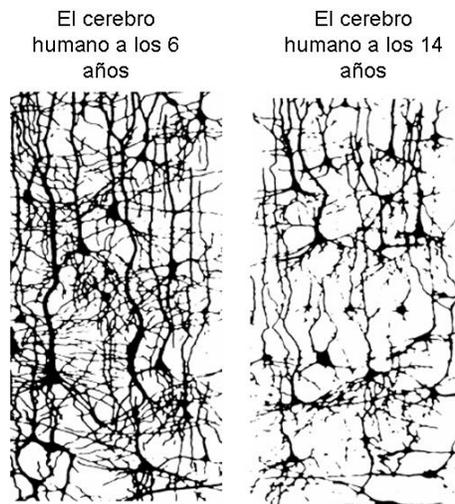
Sinaptogénesis y poda neuronal, un proceso dinámico, que evoluciona en virtud de las experiencias.

Durante la fase de formación de redes sinápticas (sinaptogénesis) el aumento más intenso se da alrededor del nacimiento con máximos de densidad a diferentes edades según las diferentes zonas del cerebro. Por ejemplo, en la zona del córtex visual hay un rápido aumento entre los 3 a 4 meses de vida posnatales y la máxima densidad hacia el año de vida (algo parecido ocurre con el córtex auditivo). Similarmente, en las zonas corticales prefrontales el inicio es a la misma edad, con máximo entre el primer y segundo año de vida.⁸



⁸ HUTTENLOCHER, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, 28(6), 517-527.

En la fase de eliminación de sinapsis (poda) existe una pérdida selectiva de sinapsis que se produce tras los periodos de gran intensidad sinaptogénica. Al igual que los máximos de formación de sinapsis, el tiempo de reducción varía de unas regiones a otras. Por ejemplo, la densidad sináptica de la corteza visual disminuye a niveles propios del adulto, entre los 2 y los 4 años de edad. La poda observada en la corteza prefrontal ocurre fundamentalmente en la adolescencia (alrededor de los 14 años).



En términos generales podemos afirmar que entre los 3 a 4 años de edad la densidad sináptica cerebral es máxima. Posteriormente, disminuye, llegando en la adolescencia a ser un 60% del máximo inicial. Así, el cerebro humano crea inicialmente más conexiones que las que serían estrictamente necesarias.

Es interesante destacar que la sinaptogénesis prenatal, al parecer, no está determinada exclusivamente por el patrimonio genético del feto, sino que también por los innumerables estímulos que recibe desde el exterior a través de su madre. En este sentido, como ya se mencionó, el estilo de vida de la madre y los entornos biopsicosociales a los que se enfrenta día a día impactan en el desarrollo sináptico del feto, modificando al feto con marcas epigenéticas que se podrían detectar y asociar a determinados ambientes y estímulos. En este punto, no podemos descartar que exista una tercera condicionante y ésta sea de naturaleza epigenética intergeneracional o incluso transgeneracional.

Posteriormente, en la etapa posnatal, la sinaptogénesis es afectada fundamentalmente por los diferentes estímulos (lactancia materna, estímulos auditivos, visuales y táctiles, entre otros) y contextos biopsicosociales a los que se enfrenta la niña o el niño durante su primera infancia, su niñez y su adolescencia. Es decir, enfrentado a un proceso bidireccional, dinámico, que evoluciona, entre aprendizajes, memoria, emociones y estímulos.

La sustancia blanca

Los estudios realizados postmortem, respecto de la mielinización de la sustancia blanca en el cerebro humano, señalan que la mielinización comienza prenatalmente y está presente en

muchas regiones al momento del nacimiento, especialmente en las vías sensoriales y motoras primarias, incluidas las radiaciones ópticas y la cápsula interna. Después del nacimiento, la mielinización sigue un patrón general, ocurriendo en las regiones sensoriales antes que en las motoras.

Por otro lado, la mielinización del hipocampo humano comienza a las 20 semanas de edad gestacional, y a la edad de 2 años muchas regiones han alcanzado niveles de mielinización similares a los de un adulto, aunque algunas áreas continúan mielinizándose durante toda la infancia hasta la edad adulta.

Es de destacar que en el neocórtex humano los patrones de mielinización maduros se logran solo en la edad adulta, siendo una maduración mucho más prolongada que lo observado en primates no humanos.

Cabe señalar que el número de oligodendrocitos (células encargadas de la mielinización de los axones del sistema nervioso central), aumenta de manera rápida y lineal después del nacimiento, desde aproximadamente 7 mil millones al momento del nacimiento a unos 28 mil millones a los 3 años de vida, a una tasa de 600 millones por mes.

Células del sistema nervioso

El tejido nervioso, al igual que todos los tejidos que constituyen nuestro cuerpo, está constituido por células, sustancias intercelulares y líquido extracelular. Para el caso del cerebro, las células que lo integran son:

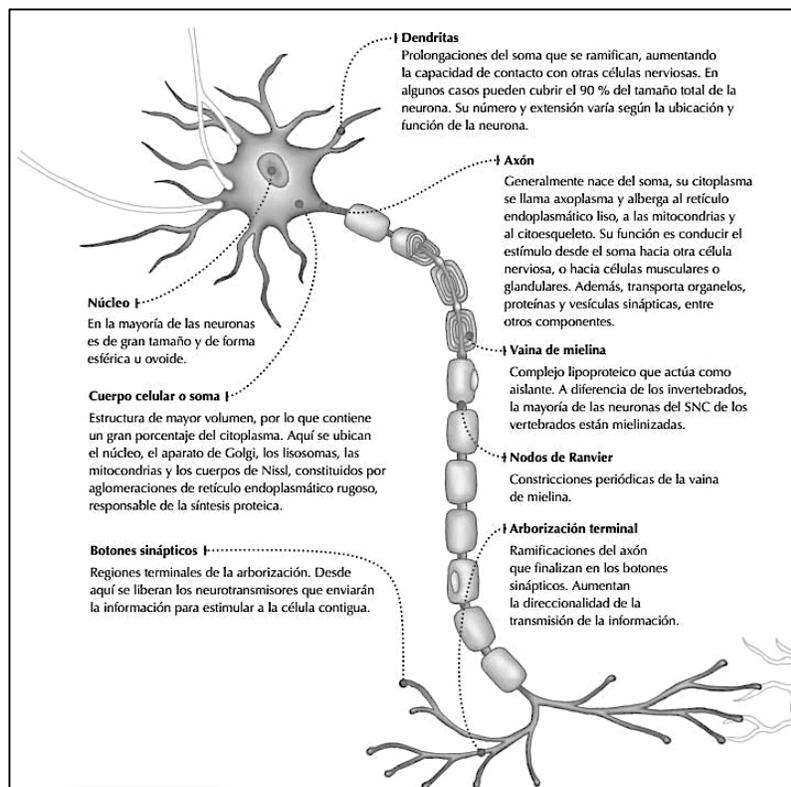
- neuronas
- neuroglías (glía).

Neuronas

El cerebro forma parte del sistema nervioso central, encontrándose ubicado en el interior del cráneo. Es una masa de tejido gris-rosáceo que, en la especie humana, masa en promedio 1,3 kg y está constituido por, aproximadamente, unas 86.000 millones (en un cerebro adulto) de neuronas, que son las responsables del control de, prácticamente, todas las funciones vitales de supervivencia (movimiento, sueño, hambre, sed, etc.) y, en especial, de la mente (pensamiento-lenguaje, inteligencia, memoria, etc.) y de las emociones y sentimientos (amor, odio, miedo, ira, alegría, tristeza, etc.), a través de la recepción e interpretación de innumerables señales – sensaciones percibidas por los sentidos, al aplicar atención sobre estímulos– del propio organismo y también del exterior.

Cada neurona se compone de un cuerpo celular o soma, una o más prolongaciones cortas

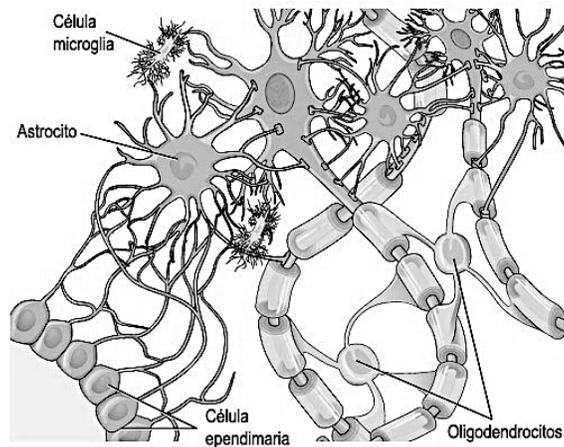
llamadas dendritas y una prolongación larga llamada axón (ver figura página siguiente). De acuerdo a la presencia de vaina de mielina, el axón puede ser mielínico o amielínico. Estas células son las encargadas de recibir los estímulos del medio, transformarlos en impulsos nerviosos y transmitirlos a los centros nerviosos, sitios en los que se integran permitiendo la elaboración de respuestas coherentes.



Células glía

Glía es el grupo de células más abundante del sistema nervioso. Sin embargo, durante mucho tiempo se le consideró solo como un elemento de soporte neuronal, que no cumplía ninguna función significativa. Sin embargo, en la actualidad sabemos que la glía participa en la formación, operación y modulación de los circuitos sinápticos.

La glía está presente desde los invertebrados más simples hasta los humanos. La proporción glía - neurona se incrementa con el tamaño del cerebro. En términos evolutivos podemos afirmar que la glía se diversificó y se especializó a tal grado que resulta esencial para el funcionamiento neuronal.



Células glía del SNC.

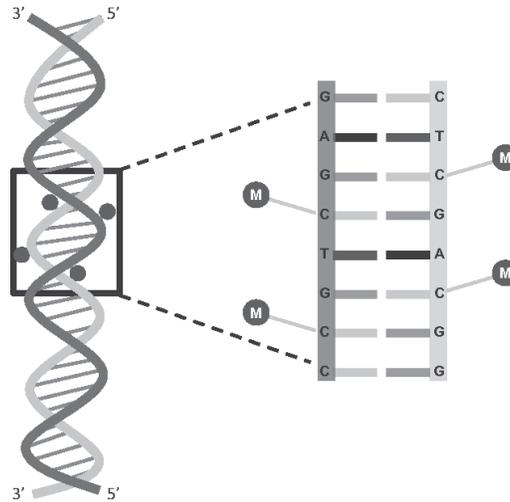
Un aspecto interesante a destacar es el hecho que si bien durante mucho tiempo se pensó que los contactos sinápticos se daban solo entre neuronas, hoy tenemos evidencia anatómico-funcional que indica que existen contactos sinápticos neurona-glia.

De lo Neuro y de la Epigenética

Las neurociencias y la epigenética han confluído en diversas ocasiones y hoy parece que la convivencia será para mucho tiempo. Sabemos desde hace ya algún tiempo que la expresión génica es necesaria para la formación de recuerdos y, desde hace unos 30 años, conocemos la importancia que tiene en la formación de recuerdos las modificaciones de la estructura de la cromatina. Esta convivencia ha germinado permitiendo el nacimiento de la neuroepigenética. Hoy nos resulta del todo habitual la recurrente mención de los mecanismos epigenéticos en discusiones sobre temas neurocientíficos.

Los mecanismos de regulación epigenética se han vinculado con el establecimiento, mantenimiento y acceso a la memoria. Entre ellos podemos mencionar las diferentes modificaciones postraduccionales de las histonas (ej., acetilación y metilación) y la metilación del ADN. Otros mecanismos menos estudiados, pero quizá no menos importantes son la fosforilación y otras modificaciones covalentes de las histonas, la incorporación de variantes de histonas, la remodelación

lación de nucleosomas y los cambios en la estructura tridimensional de la cromatina. Es así como se han observado modificaciones epigenéticas dinámicas durante el desarrollo, la maduración y en etapas de aprendizaje.



Se puede definir epigenética como los cambios heredables en la función de los genes que no entrañan una modificación en la secuencia nucleotídica del ADN y que puede ser reversible.⁹ (M: grupo metilo unido covalentemente a una citosina).

⁹ HOLLIDAY R. Epigenetics comes of age in the twenty first century. *Journal of Genetics* 2002; 81: 1-4.

La herencia epigenética agrega otra dimensión a la imagen moderna de la evolución. El genoma cambia lentamente, a través de los procesos de mutación aleatoria y selección natural. Se requieren muchas generaciones para que un rasgo genético se vuelva común en una población.

El epigenoma, por otro lado, puede cambiar rápidamente en respuesta a las señales del entorno. Y los cambios epigenéticos pueden ocurrir en muchos individuos a la vez. A través de la herencia epigenética, algunas de las experiencias de los padres pueden pasar a las generaciones futuras. Al mismo tiempo, el epigenoma permanece flexible a medida que las condiciones ambientales continúan cambiando.

La herencia epigenética puede permitir que un organismo ajuste continuamente su expresión génica para que se ajuste a su entorno, sin que esto implique necesariamente un cambio en la secuencia del ADN.

Los cambios en el grado de metilación del ADN han sido implicados en procesos clave del aprendizaje y en la formación de memoria, así como también en el deterioro cognitivo asociado a la vejez. Se ha observado que el aumento en la edad se relaciona con la disminución del grosor de la corteza cerebral en el humano. Y si bien los mecanismos biológicos que median este efecto son hasta ahora desconocidos, se ha constatado que el metiloma del ADN, como parte del epigenoma, contribuiría significativamente a los cambios fenotípicos relacionados con la edad. En un reciente estudio se logró identificar un

patrón epigenético que está asociado con el grosor cortical y la memoria. Resulta extraordinariamente interesante el hecho que la ubicación de los sitios de metilación apunta a la participación de genes específicos del sistema inmune.¹⁰

Sorpresas ... y todo más complejo

El cerebro es un mosaico genómico debido a mutaciones somáticas que surgen a lo largo del desarrollo y en este escenario los elementos genéticos móviles, incluidos los retrotransposones, son una importante fuente de mosaicismo somático en algunas áreas del cerebro.

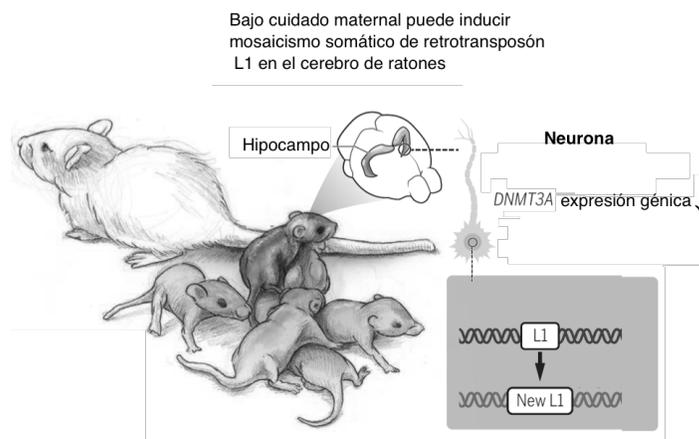
Una sorprendente observación indicaría que la retrotransposición podría representar una forma de plasticidad dependiente de la experiencia (al menos en su forma directa). Un reciente estudio ha evidenciado que las variaciones naturales del cuidado materno afectan la movilización LI en el hipocampo de ratones.¹¹ Es decir, el aumento de la atención materna bloquea la acumulación de LI. Igualmente, la atención materna también altera la metilación del ADN en los sitios de unión de YY1,¹² sitios implicados en la activación de LI y, además, afecta la

¹⁰ FREYTAG, V., ET AL. A peripheral epigenetic signature of immune system genes is linked to neocortical thickness and memory. *Nature Communications* volumen 8, Article number:15193 (2017).

¹¹ LINE1 (también LI) son elementos genéticos móviles de algunos organismos y pertenecen al grupo de elementos nucleares intercalados largos (LINEs).

¹² YY1 es una proteína reguladora de la expresión génica.

expresión de la enzima metiltransferasa DNMT3a. Estas observaciones señalarían que la experiencia de la vida temprana impulsaría la variación somática del genoma neuronal, a través de la transposición de elementos L1. Es decir, el cerebro exhibiría plasticidad en respuesta a la estimulación ambiental, particularmente durante las primeras semanas de vida. Parte de esta plasticidad puede atribuirse a la modificación epigenética a través de cambios en la metilación del ADN o cambios en estructura de la cromatina.



A lo anterior, se deben agregar las secuencias dinámicas en el ADN neuronal, lo que sugiere un papel importante para la movilización de L1 o la inducción de otras variantes estructurales en la plasticidad cerebral, todo impulsado

por la experiencia y esto sería de gran importancia en regiones como el hipocampo.¹³

Algo más sobre neuronas, conexiones y potencialidades.

No cabe duda que nuestro cerebro posee una reserva de magnitud considerable, es decir, que el número de neuronas y posibilidades sinápticas con que contamos es muy superior a la que necesitaríamos para una función normal. Es decir, la capacidad instalada en nuestro cerebro está muy por encima del que utilizaremos en la vida habitual. Un ejemplo fácil de comprender es cuando comparamos las habilidades de una persona que se ha perfeccionado en alguna habilidad física con otra persona común, parecerá que el primero tiene un cerebro diferente. Sin embargo, cuando se estudian los caracteres estructurales de ambos cerebros no se encontrará ninguna diferencia en la composición anatómica; la diferencia está en el establecimiento de nuevas relaciones funcionales, de una ampliación en el uso de esa capacidad de reserva. Este es un ejemplo claro de la plasticidad del cerebro y es el fundamento del proceso del aprendizaje y de la rehabilitación de funciones perdidas o dañadas, por ejemplo, debido a lesiones.

¹³ BEDROSIAN, T. A., QUAYLE, C., NOVARESI, N., & GAGE, F. H. (2018). Early life experience drives structural variation of neural genomes in mice. *Science*, 359(6382), 1395–1399.

Lo anterior podría permitir afirmar que es posible que, si bien todos utilizamos el 100% de nuestras capacidades cerebrales, ese 100% no sería igual para todas las personas.

¿Y las emociones?

Los cambios estructurales a lo largo del desarrollo cerebral, como la emergencia transitoria de las inter-neuronas inhibitorias, los cambios regionales en la mielinización y la poda sináptica, han resaltado los mecanismos celulares para los períodos de hiperplasticidad en todo el desarrollo. Como se destaca en muchas publicaciones (libros e investigaciones originales), las hormonas también parecen tener una importante participación como mecanismos facilitadores de plasticidad cerebral.

Otra característica psicológica importante del desarrollo, que también puede tener importantes efectos en la plasticidad del desarrollo, corresponde a las emociones. Una de las muchas funciones de la emoción es actuar como un filtro para la “avalancha” de estímulos que impactan continuamente nuestro sistema nervioso.

Las estructuras subcorticales, como la amígdala, que desempeñan un papel central en la respuesta afectiva, también sirven para etiquetar los estímulos que son sobresalientes para la persona y, al activar redes extensas en el cerebro, actúan para dirigir la atención, amplificar el

procesamiento sensorial y mejorar la formación de la memoria.

Es importante, además, señalar que las características ambientales que provocan la emoción, cambian a lo largo del desarrollo del niño y la niña. En el mundo social, por ejemplo, los sistemas afectivos de los recién nacidos y de los niños y niñas están sintonizados fundamentalmente con la presencia y la interacción con el cuidador principal (habitualmente la madre), mientras en la adolescencia, la reactividad afectiva está más estrechamente unida a la presencia y la interacción con los compañeros.

La emoción cambia en el transcurso de la vida. Diríamos que las emociones crean nuevas emociones. Los objetivos de la cambiante emoción, pueden corresponder a otro medio por el cual la maduración biológica incorpora experiencias ambientalmente específicas en el desarrollo del cerebro, en un contexto de cambio y adaptación; es decir, evolución.

Los cuidados maternos tempranos

La atención posnatal temprana en mamíferos es crítica para la supervivencia y para el desarrollo neurológico futuro. Específicamente, la atención materna temprana puede programar epigenéticamente el comportamiento de los hijos durante toda su vida. Los modelos de roedores, donde se manipulan tanto el cuidado ma-

terno y así como el estrés materno, han permitido examinar los mecanismos moleculares y celulares que subyacen a los cambios de comportamiento a largo plazo observados en la descendencia. En el paradigma de la atención materna aumentada,¹⁴ la separación diaria de las ratas de sus crías por periodos de 15 minutos desde el día 2 posnatal hasta el día 8 posnatal desencadena el aumento del cuidado materno, así como un mayor acicalamiento de la camada.

Recientes estudios han permitido descubrir que se requieren varios ciclos de un constante alejamiento y acercamiento de las crías con sus madres, durante la primera semana de vida, para lograr la respuesta de atención materna aumentada (AMA). Esto sugiere que la AMA inicia cambios durante este período crítico de desarrollo neurológico en la descendencia. Las sesiones diarias y repetidas de atención materna mejorada, provocadas por el paradigma de la AMA permite descendientes con niveles de corticosterona plasmática reducida en respuesta a estrés de restricción aguda, con menor comportamiento relacionado con la ansiedad, resistencia a comportamientos depresivos y mejor desempeño en tareas cognitivas cuando adultos.

¹⁴ Los estudios utilizan el paradigma de separación entre la atención maternal y la exposición de las madres a periodos diarios de separación materna. La separación materna se desarrolla como un modelo de abandono de ratas, pero los ratones y algunas cepas de ratas compensan la separación, al aumentar su cuidado al reunirse con la camada.

Al final del día...

Con el conocimiento que actualmente poseemos, podemos afirmar que no cabe duda que los primeros años de vida de la niña o del niño son el período de mayor plasticidad cerebral, y las actividades llevadas a cabo en esta fase apoyan la integración entre las diferentes fuentes sensoriales, facilitando la aparición de respuestas coherentes a diferentes situaciones, que forman la base para la adquisición de habilidades mentales y sociales. Por lo anterior, los niños o niñas que viven en entornos de privación (vulnerabilidad biopsicosocial) son más susceptibles a condiciones ambientales adversas, como ambientes contaminados, desnutrición crónica y falta de estimulación, lo que conlleva un mayor riesgo de trastornos neurológicos y del comportamiento, como discapacidades en los procesos de aprendizaje y diferentes déficits cognitivos que pueden manifestarse en el futuro. En conclusión, mientras más factores negativos haya en la vida de las niñas y niños durante la primera infancia, más probable es que haya repercusiones negativas en su desarrollo de largo impacto.

Es maravillosa y, a la vez, sorprendente la metamorfosis cerebral ocurrida desde el nacimiento hasta aproximadamente el tercer año de vida. Es de destacar el aumento de tamaño del sistema nervioso: el cerebro del recién nacido masa unos 330 g, se duplica a los 8 meses (700 g) y se triplica a los 2 años (1000 g). Desde ese mo-

mento y hasta la edad adulta solo ganará unos 400 g. Esto debería hacernos meditar respecto de los estímulos y condiciones en los que se desarrollan las niñas y los niños en sus primeros años de vida.

CAPÍTULO 2

HIPÓTESIS:
REDUNDANCIA SINÁPTICA

“La mayor parte de la gente prefiere proteger su sistema de creencias fijándolo. Pero, un barco anclado, no se mueve”.

MARIO BUNGE

El nacimiento de un ser humano conlleva múltiples retos que deben haber sido resueltos antes de su nacimiento. Nacer es cruzar una frontera, pasar de un ambiente en general amistoso a otro, en general, desconocido y potencialmente peligroso. Ese cruce requiere soluciones de continuidad donde los padres cumplen un papel fundamental, entregando al recién nacido diferentes marcas informacionales (genéticas y epigenéticas), tanto antes del nacimiento como poco después del mismo, que permitan afrontar ese ambiente desconocido de la mejor manera posible. Diríamos, el recién nacido lleva consigo un repertorio de informaciones y memorias inter y transgeneracionales que le asegurarán, en principio, la generación de respuestas predictivas y coherentes con los estímulos potencialmente existentes.

¿Éxito biológico con redundancia?

El ambiente al que se enfrenta el nuevo integrante de la humanidad no es estático, cambia constantemente y no siempre dichos cambios pueden ser predecibles. Es en este contexto de relaciones dinámicas donde es fundamental que niños y niñas presenten la mayor flexibilidad posible para asegurar su éxito biológico. Y al pa-

recer, una de las soluciones que se ha transmitido en diferentes especies es la de memorias inter y transgeneracionales, así como también una capacidad estructural que permita la generación de la mayor variedad de soluciones posibles ante entornos y estímulos desconocidos e imprevisibles, las cuales serían posteriormente seleccionadas por los contextos en los que toca vivir. Es decir, ¿más de lo necesario o simplemente de lo necesario más?

Un ejemplo a considerar lo representa el sistema inmune.¹⁵ En éste la plasticidad y la redundancia parecen ser la clave. Una de las características del sistema inmune es la elaboración, aparentemente al azar, de una formidable variedad de células de defensa (linfocitos T y B), que no necesariamente reconocerán lo extraño, al potencial patógeno que nos pudiese agredir. El sistema inmune genera linfocitos sin un blanco conocido (eso parece); sin embargo, la enorme variedad de linfocitos elaborados permitirá, por azar, reconocer lo extraño, aquello que no es nuestro y por lo tanto tratarse de un potencial agresor. En este escenario pueden generarse linfocitos que reconocen lo propio y que deben eliminarse para evitar un efecto paradójal, las defensas transformarse en los agresores.

¹⁵ BURÓN HERNÁNDEZ, J. S., Y SUÁREZ FORMIGO, G. M. Mecanismos epigenéticos en la plasticidad y flexibilidad de los linfocitos T CD4. *Revista Cubana de Hematol, Inmunol y Hemoterapia*. 2018;34(1):42-50.

Constantemente se están eliminando linfocitos que podrían atacar lo propio y generar enfermedades autoinmunes. Es decir, elaborar mucho, para después seleccionar lo que es útil en el contexto de las interacciones.

Una hipótesis

Similarmente a como ocurre con nuestro sistema inmune, el cerebro también debe enfrentarse a lo desconocido.

En un mundo plagado de estímulos, algunos amistosos y otros peligrosos, la sinaptogénesis permitiría la construcción de una multiplicidad de comunicaciones potencialmente útiles (desconocemos en gran medida los estímulos a los que nos enfrentaremos), que nos posibilitaría responder de la mejor manera a los diferentes contextos ambientales a los que nos enfrentaríamos día a día. En este escenario, los diferentes estímulos reforzarían aquellas interacciones neuronales que permitan generar las mejores respuestas, coherentes y predictivas, eliminando las innecesarias y potencialmente dañinas. Sin embargo, no solo se trataría de la noción comúnmente aceptada de "uso o pérdida" del refuerzo sináptico, dado que esto bien podría ser solo a una parte de la historia, usar una conexión neuronal no le aseguraría su conservación, podría igualmente eliminarse. Falta una parte de la historia, y esa tendría que ver con la información con la que nacemos o recibimos epigenéti-

camente durante nuestros primeros meses de vida (ej., durante la lactancia materna). Y aquí hay mucho que decir...

En conclusión, la solución evolutiva sería permitir el generar posibilidades estructurales diversas de acuerdo a un programa mediado genéticamente, pero donde la herencia epigenética podría marcar ciertas redes neuronales como potencialmente más adecuadas, en virtud de las experiencias de nuestros ancestros. Así, las interacciones neuronales que realmente permitirían responder coherentemente a los estímulos que se reciben durante la última etapa de embarazo y los primeros meses de vida extrauterina, serían las que se potenciarían y se conservarían durante la vida del niño o de la niña. Todo dentro de un contexto de aprendizaje dinámico, cuando estamos aprendiendo a reconocer y diferenciar lo amistoso de lo peligroso.

CAPÍTULO 3
CADA MEMORIA EN SU ÁREA
Y
MUCHAS ÁREAS PARA LA MEMORIA

“Mi vida”. Cuando pienso estas palabras veo frente a mí un rayo de luz. En una aproximación mayor, el rayo de luz tiene la forma de un cometa, con cabeza y cola. La extremidad más intensa, la cabeza, es la infancia y los años de crecimiento. El núcleo, su parte más densa, es la más temprana infancia en la que los rasgos más importantes de nuestras vidas se definen. Intento recordar, intento deslizarme hacia allí. Pero es difícil moverse en esas densas regiones, es peligroso; siento como si me acercase a la muerte.

Los recuerdos
VISIÓN DE LA MEMORIA
TOMAS TRANSTRÖMER

Está fuera de toda duda que gracias a la memoria somos lo que somos, sabemos quiénes somos y nuestra vida adquiere el sentido de la continuidad. De hecho, sin memoria no podríamos desempeñar prácticamente ninguna actividad cotidiana. La memoria, además, se relaciona íntimamente con el aprendizaje. De hecho, en el sentido más amplio, la memoria es el almacenamiento de una representación interna del conocimiento. Y el conocimiento se adquiere mediante el aprendizaje. Así, memoria y aprendizaje se relacionan bidireccionalmente, donde la causa es el efecto y el efecto es la causa. Es decir, el aprendizaje nos permite adquirir conocimientos, pero la memoria le da sentido a dicho conocimiento. En otras palabras, la memoria y el aprendizaje son dos procesos estrechamente ligados, dado que sin memoria no hay aprendizaje.

En términos generales, lo que aprendemos es retenido en nuestro cerebro y constituye lo

que denominamos memoria. Es la consecuencia usual del aprendizaje y difícilmente nos podremos referir a alguno de estos términos de manera independiente.

Para aclarar, o complicar más, la memoria es la capacidad de evocar respuestas aprendidas previamente. Así, podemos afirmar que la memoria puede ser ampliamente definida como la forma en que sucesos pasados afectan a funciones futuras. Representa la forma en que el cerebro es afectado por la experiencia y subsiguientemente altera sus respuestas. Dicho de otra forma, el cerebro experimenta el mundo y codifica esta interacción en una forma que altera futuras formas de respuesta. Este proceso afecta tanto a la información como a la misma naturaleza del proceso que codifica tal información.

Memoria, aprendizaje y adaptación

En términos adaptativos, la memoria y el aprendizaje son procesos vitales para los animales, dado que nos desenvolvemos en ambientes altamente cambiantes, por esto es que debemos cambiar constantemente, lo que requiere necesariamente de una plasticidad conductual. Esta plasticidad es una propiedad de los sistemas biológicos, ser humano incluido. Nos permite adaptarnos a los cambios del medio en que vivimos día a día. Esto se traduce en diferentes cambios interiores de naturaleza homeostática que afectan nuestra fisiología como un todo. En este sen-

tido, el sistema nervioso posee una notable plasticidad y, como ya se ha comentado, es evidente desde las primeras etapas del desarrollo, sobre todo en los mamíferos y especialmente en nosotros los seres humanos.

A nivel neuronal, los cambios plásticos pueden ser visualizados como un incremento del árbol dendrítico y una variación en el número de las espinas dendríticas, lo que mejora los contactos sinápticos y, en consecuencia, la comunicación entre las neuronas.

Desde hace tiempo se sabe que el aprendizaje y la memoria son eventos que favorecen la plasticidad, y entre más plástico es el sistema nervioso, mayor es la capacidad de aprendizaje de los organismos. El aprendizaje, en este contexto, puede considerarse como una modificación estructural y funcional del sistema nervioso que da como resultado un cambio interno que suele manifestarse de forma relativamente permanente con cambios en la conducta. La información aprendida es retenida o almacenada en los circuitos neuronales que forman la red neuronal del cerebro (un conectoma) y constituye, estructuralmente, lo que denominamos memoria.

Algo conectado o todo muy conectado

En 1983 se propuso la *modularidad* del cerebro.¹⁶ Se proponía que el cerebro funcionaba como una estructura conformada por unidades autónomas, cada una encargada de una función relativamente compleja y relativamente aislada de las otras unidades. Las interacciones, entre las unidades, sería limitada y se producirían a través de un número relativamente pequeño de canales de interacción. Posteriormente, en 1989, se propone un nuevo enfoque: la organización *gradienta*.¹⁷ Esta nueva forma de entender el funcionamiento del cerebro propone que éste está interconectado con paralelismo masivo y está constituido por unidades menores encargadas de funciones sencillas, pero más numerosas y estrechamente interconectadas, que interactúan de manera continua a través de múltiples canales. Diríamos que el cerebro está constituido por una serie de redes neurales formales, donde cada red neural es un conjunto de un gran número de elementos simples interconectados. Con la “experiencia”, las redes adquieren propiedades que no se encontraban al inicio, considerándose éstas como propiedades emergentes, que a su vez modificarán las respuestas futuras, generando así nuevas propiedades emergentes.

¹⁶ FODOR J. A. (1983). Teorías del lenguaje. En: M Piatelli (Ed). Teorías del aprendizaje. Barcelona: Crítica.

¹⁷ GOLDBERG E. (1989). Gradiant approach to neocortical functional organization. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11(4): 489-517.

Para complementar lo anterior, podemos afirmar que la identificación de ejemplares únicos como miembros de categorías genéricas, es una capacidad cognitiva fundamental sin la cual no habríamos sido capaces de “movernos” por el mundo. Y aunque la podamos dar por supuesta o innata, cuando aparecen determinadas alteraciones cerebrales ésta puede quedar gravemente deteriorada, incluso cuando no están afectados los sentidos básicos (visión, audición, tacto), me refiero a la agnosia.¹⁸

En las agnosias, la capacidad de percibir objetos nunca se destruye por completo. Una persona con agnosia de objeto visual es incapaz de reconocer visualmente un objeto común, pero lo reconocerá inmediatamente al tacto. Otra persona con estereognosia de objeto puro sería incapaz de reconocer el objeto al tacto, pero lo reconocerá visualmente. Por otro lado, la agnosia auditiva asociativa impide reconocer un perro por su ladrido, pero se lo podrá reconocer visualmente o por el tacto. La agnosia es un déficit de la interpretación de la información sensorial más que un déficit de la recepción, por lo cual se puede concluir que la representación mental de un objeto es *modular*, dado que sus diferentes componentes sensoriales están representadas en diferentes partes de la corteza. Y es, a la vez, *gradienta* puesto que las regiones de estas representaciones parciales son continuas so-

¹⁸ Incapacidad para reconocer e identificar las informaciones que llegan a través de los sentidos, especialmente la vista.

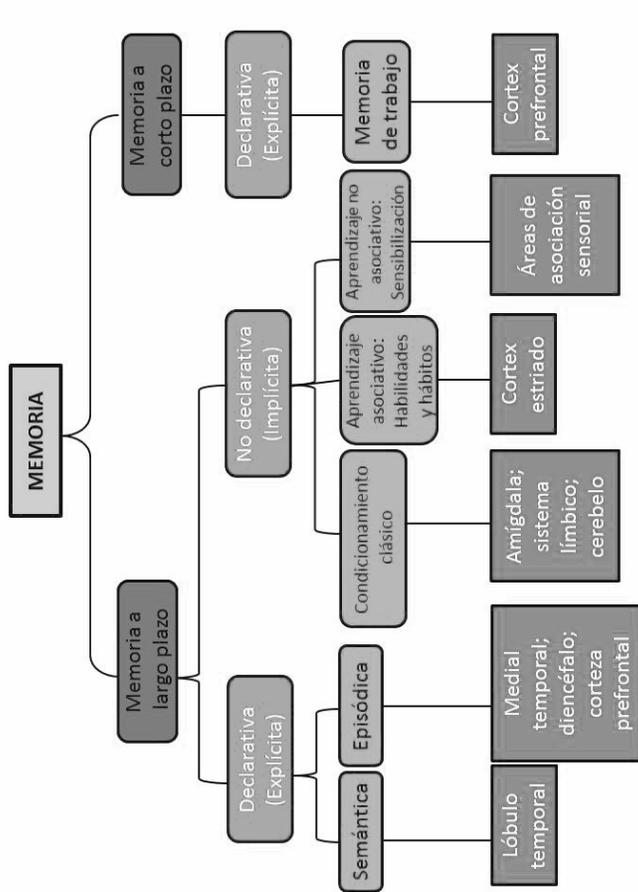
bre las áreas de las correspondientes modalidades sensoriales.

En este punto resulta de gran interés tener presente que los dos tipos de organización cerebral (*modular* y *gradienta*) pueden coexistir. La característica *modular* es más aplicable a estructuras evolutivamente más antiguas, como sería el caso del tálamo. Éste se ve a menudo como el precursor de la corteza cerebral, debido a su cercanía anatómica, pero difiere de ella radicalmente en su estructura. El tálamo consiste en distintos núcleos, interconectados, con un número limitado de caminos para su comunicación. Por el contrario, el principio interactivo (*gradienta*) se aplicaría mejor a las estructuras más recientes, como la neocorteza. Ésta es una estructura sin “fronteras” internas, con ricos caminos que se interconectan y cambian de acuerdo a las experiencias. En este contexto podemos señalar que existen varios tipos de almacenamiento de memoria, y ciertas regiones del cerebro son más importantes para algunos tipos de almacenamiento que para otros.

Tipos de memoria

Cuando uno intenta clasificar un sistema, lo primero que uno debe hacer es seleccionar un criterio de clasificación. Para el caso de la memoria podemos clasificarla utilizando el criterio del *tiempo durante la cual ésta es efectiva*, es decir, diríamos memorias a corto plazo y otras a

largo plazo. Otro criterio de clasificación utilizado tiene que ver con *la naturaleza de lo que se recuerda*, en este caso diríamos que existen una memoria declarativa y otra no declarativa (de procedimiento).



Memoria a corto plazo

La memoria a corto plazo es el tipo de memoria que nos permite retener información por poco tiempo (segundos a minutos), es decir, es un tipo de memoria temporal, de capacidad limitada, requiere repetición continua y nos permite realizar actividades cognitivas básicas e inmediatas. Esta memoria empieza a desarrollarse al año de vida.

Diferentes estudios con mamíferos no humanos han constatado la existencia de un tipo de memoria a corto plazo (10 segundos) que involucra neuronas de la corteza prefrontal. Este tipo de memoria abarca las que se conocen como memoria inmediata, primaria, operacional, y activa o de trabajo. Este tipo de memoria nos permite tener el sentido continuo del presente. La capacidad para este tipo de registro es muy grande, involucra a todas las modalidades (visual, verbal, táctil, entre otros). En términos evolutivos podríamos señalar este tipo de memoria constituiría un eslabón entre los sistemas de memoria sensorial, con una duración de unos segundos, y la memoria a largo plazo.

Memoria de trabajo

La memoria de trabajo es un concepto más amplio, está estrechamente ligada a la memoria a corto plazo, pero con una diferencia, mientras que la memoria a corto plazo se refiere

a un almacén temporal de información sensorial, la memoria de trabajo comprende ese almacén además de los procesos de control y manipulación de la información. Permite retener información durante breves periodos de tiempo mientras leemos o pensamos. Para que la información pueda almacenarse en la memoria a largo plazo tiene que estar algún tiempo en esta memoria de trabajo.

La memoria de trabajo, como la entendemos actualmente, se compone de a lo menos tres elementos:

- ⇒ el ejecutivo central,
- ⇒ el bucle fonológico (que retiene información verbal-acústica) y
- ⇒ una agencia visio-espacial (para información visual y espacial).

En términos generales podemos señalar que esta memoria es limitada (tiende a saturarse). Recientes trabajos señalan que la corteza prefrontal cumpliría un papel crítico en esta memoria y estaría basado esencialmente en interacciones con áreas de la corteza postrolándica.

La memoria de trabajo madura a través de los años, lo que explicaría el hecho que los niños pequeños solo pueden realizar aprendizajes simples. Diríamos que su capacidad no está al máximo. Sin embargo, ya a los 10 a 12 años de

edad se posee mayor capacidad para la captación de más información por períodos más prolongados y a los 20 años, ya somos capaces de captar más información en menores tiempos. Podríamos afirmar que existe un aumento gradual de la potencia de trabajo cerebral. Esto tiene gran relevancia en el proceso educativo, pues a medida que el nivel asciende, las tareas tienden a implicar varios elementos simultáneos, cuyo aprendizaje requiere de la maduración de la corteza prefrontal que, como se mencionó, es de maduración tardía. Así pues, el niño o la niña, que en su infancia pudiera ser considerado o considerada con poca capacidad de aprendizaje, cuando alcance la madurez frontal puede mostrar capacidades de aprendizaje superiores, diríamos de excelencia, alguien extremadamente “inteligente”.

- Lóbulo frontal, hogar de la corteza prefrontal.

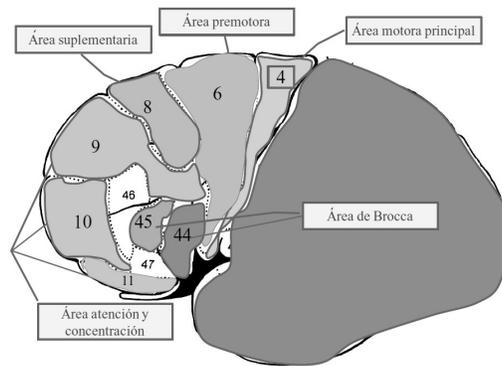
A diferencia de otros mamíferos, los primates tienen un lóbulo frontal muy desarrollado, especialmente su extremo más rostral, la corteza prefrontal. Una lesión de esta estructura produce un deterioro de la tarea de respuesta retardada en macacos, que se agrava a medida que se amplía el periodo de demora. Lesiones similares en pacientes humanos han sido estudiadas desde hace siglos, hasta que el accidente sufrido por Phineas Gage en 1848¹⁹ empieza a señalar a la corteza prefrontal como un ele-

¹⁹ GARCÍA-MOLINA, A. (2012). Phineas Gage y el enigma del córtex prefrontal. *Neurología*, 27(6):370–375.

mento relevante de la memoria de trabajo para la resolución de problemas y la planificación de la conducta. Las personas con lesiones en la corteza prefrontal rinden mejor en tareas de memoria simple que aquellas personas con lesiones en el lóbulo temporal medial, sin embargo, no aprenden de su experiencia reciente (memoria de trabajo) de la misma forma que lo hace una persona normal. Por el contrario, personas con lesiones en corteza frontal lateral no presentan deterioros generalizados de memoria. Sin embargo, se han observado déficits de memoria de reconocimiento en pacientes con lesiones en corteza orbitofrontal y en animales donde esta región se ha lesionado muestras deterioros similares a los observados tras lesiones del lóbulo temporal medial.

Los lóbulos frontales están ubicados en la parte anterior del encéfalo, por delante de la cisura de Rolando. La figura siguiente muestra el área 6 o área pre-motora, donde se planifica toda la actividad de la musculatura voluntaria, mientras que el área 4 o motora principal es un paquete de neuronas que interconectan la corteza cerebral con las moto-neuronas de la médula espinal, las cuales son las que activan los músculos.

Se ha identificado dentro de los lóbulos frontales un tipo de corteza que se denomina corteza prefrontal. En los humanos esta corteza comprende las áreas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 44 y 45 de Brodmann. Puede ser definida también como el área que recibe las proyecciones de núcleo talámico dorsal. En general representa el 29% de la corteza total en los humanos.



Lóbulo frontal y las principales áreas de Brodmann.

La corteza prefrontal recibe información de todas las modalidades sensoriales y es probablemente el único lugar del cerebro donde tal fenómeno ocurre, Se conecta con áreas corticales pre-motoras y con regiones límbicas. La complejidad de las funciones de esta corteza también se manifiesta a nivel celular, ya que las neuronas piramidales en esta corteza tienen 23 veces más espinas dendríticas que las neuronas piramidales de cortezas sensoriales.

Memoria a largo plazo

Este tipo de memoria retiene información durante un tiempo variable: desde minutos hasta tiempos ilimitados (en ocasiones por toda la vida). Se subdivide en memoria no declarativa, implícita o procedimental y en memoria declarativa o explícita.

- Memoria implícita

Graf y Schacter²⁰ emplearon por primera vez el término memoria implícita para referirse a un tipo de memoria que aparece preservada en pacientes amnésicos. Otras denominaciones para esta memoria son “memoria procedimental” y “memoria sin conciencia”. El término implícito hace referencia a aquello de lo cual no somos conscientes, por lo que podemos tener memoria de aprendizaje del cual no somos conscientes. En los experimentos de Pavlov, se condicionaba a un perro a salivar como consecuencia de un estímulo sonoro, en vez del estímulo natural que es el alimento. Cuando el animal aprende el condicionamiento, este queda almacenado.

Otro tipo de aprendizaje implícito es el de algunos movimientos o destrezas motoras que, para el caso, se almacena en los ganglios basales y el tipo de memoria se denomina procedimental. Los ganglios basales ya están maduros a los tres meses del nacimiento. Todo el almacenamiento de destrezas como el gatear, el golpear y en general lo que se consideran las habilidades motrices básicas, se almacenan en los ganglios basales.

En la edad adulta también se realizan aprendizajes implícitos, donde no tenemos conciencia de lo que hacemos y, de nuevo, el sitio de almacenamiento de estos movimientos son los ganglios basales.

²⁰ GRAF, P., Y SCHACTER. D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 501-518.

- Memoria explícita

La memoria explícita, por su parte, son los recuerdos deliberados y conscientes que tenemos sobre nuestro conocimiento del mundo o sobre nuestras experiencias personales. Es el almacenamiento cerebral de hechos (memoria semántica) y eventos autobiográficos (memoria episódica). Se expresa conscientemente y es fácil de declarar verbalmente o por escrito, lo que le ha valido también, en humanos, el nombre de memoria declarativa. A diferencia de la implícita, este tipo de memoria puede adquirirse en uno o pocos ensayos y tiene como particularidad destacada el poder expresarse en situaciones y modos diferentes a los del aprendizaje original, es decir, es una memoria de expresión flexible y cambiante.

La primera estructura involucrada en los procesos de este tipo de memoria es el hipocampo, sobre todo cuando nos referimos a la capacidad de almacenar conocimientos novedosos (consolidar nueva información). Esta estructura se relaciona con la evocación consciente de memoria explícita (episódica), capacidad que se ve muy comprometida en los casos de amnesia tipo hipocampo.

H. M fue un paciente, que después de una cirugía, perdió la capacidad de aprender cualquier cosa, de almacenar cualquier tipo de información nueva. El problema amnésico anterógrado que resultó es descrito de forma angustiosa en palabras del propio H, M:

"En este momento me pregunto si he hecho algo inapropiado... Es que en cada momento todo me parece claro, pero qué pasó antes... Eso es lo que me preocupa... es como si... es como si me desperta-

ra de un sueño. No recuerdo... Cada evento es separado de los demás... Las alegrías o tristezas que hubiera tenido, simplemente no las recuerdo...

En la enfermedad de Parkinson sucede otra cosa. Se pierde la posibilidad de aprender nuevas destrezas, pero se conserva la memoria de hechos, fechas o episodios. En la enfermedad de Parkinson se deterioran los ganglios basales y se conserva el hipocampo, fenómenos que explican los hallazgos.

Fases del procesamiento de la información

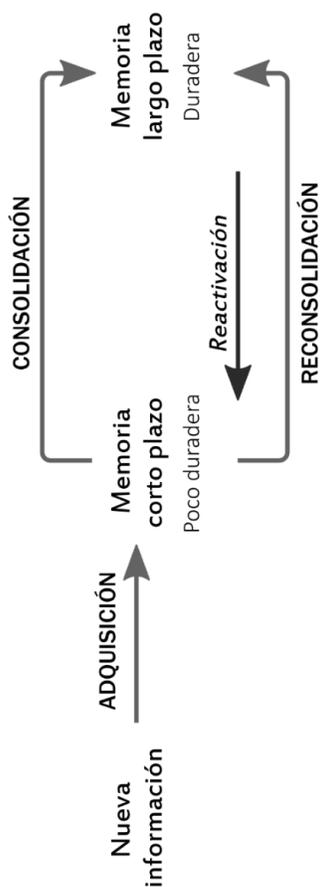
Podemos reconocer diferentes fases en el procesamiento de la información, a saber:

- ⇒ Adquisición,
- ⇒ Consolidación,
- ⇒ Reactivación,
- ⇒ Reconsolidación,
- ⇒ Extinción,
- ⇒ Recuerdo y
- ⇒ Olvido.

La adquisición, codificación o registro, consiste en la recepción, procesamiento y combinación con la información almacenada con la que guarda relación. Finalmente, el recuerdo de la información recibida. Esto el paso inicial para la formación de la memoria a corto plazo, almacenamiento transitorio (segundos a horas) de los estímulos que acaban de ser percibidos.

La consolidación es el proceso de conversión de una memoria lábil (memoria a corto plazo) en una memoria duradera (días a años), la memoria a largo plazo. Ésta es una memoria estable que ofrece resistencia a los agentes que interfieren con la memoria a corto plazo. Sin embargo, es posible provocar su amnesia si ésta es reactivada antes del tratamiento amnésico. La reactivación es un proceso en el que la memoria a largo plazo recupera su estado lábil por reexposición a estímulos implicados en el proceso anterior de adquisición. Por consiguiente, se necesita de un nuevo proceso de consolidación, denominado reconsolidación para que la memoria persista. Así, la reconsolidación constituye un mecanismo que permite fortalecer una memoria anteriormente consolidada o actualizarla si durante la reactivación se introduce nueva información.

Por otro lado, la extinción consiste en la formación de una nueva memoria que desplaza a otras anteriores. El olvido, en cambio es la imposibilidad de evocar un recuerdo.



La codificación de nueva información recibe el nombre de adquisición y constituye el paso inicial en la formación de la memoria. La memoria a corto plazo, resultado de modificaciones posttraduccionales, presenta una naturaleza lábil que es fortalecida mediante un proceso de consolidación que implica la síntesis de nuevas moléculas. A pesar de su persistencia, la memoria a largo plazo puede recuperar su estado lábil mediante la evocación del recuerdo por re-exposición al estímulo inicial (reactivación), por lo que necesita de un nuevo proceso de consolidación para recuperar su estabilidad (reconsolidación).

Memoria y emociones

Las emociones están íntimamente vinculadas con la memoria, considerándose a la componente emocional como un factor clave en la consolidación de los recuerdos. Actualmente existe un gran cúmulo de datos en favor de que los eventos emocionalmente significativos se retienen de modo diferente que los eventos neu-

tros, es decir aquellos que no causan en nosotros alguna emoción. En términos generales, es posible afirmar que los eventos con una gran carga emocional se recuerdan mejor que los sucesos más triviales (aquellos que no desencadenan emociones). Existe evidencia que señala, en muchos casos, que la memoria de sucesos asociados a diferentes emociones se adquiere con mayor facilidad y se mantiene a lo largo del tiempo, mostrando ser más resistente a la extinción.

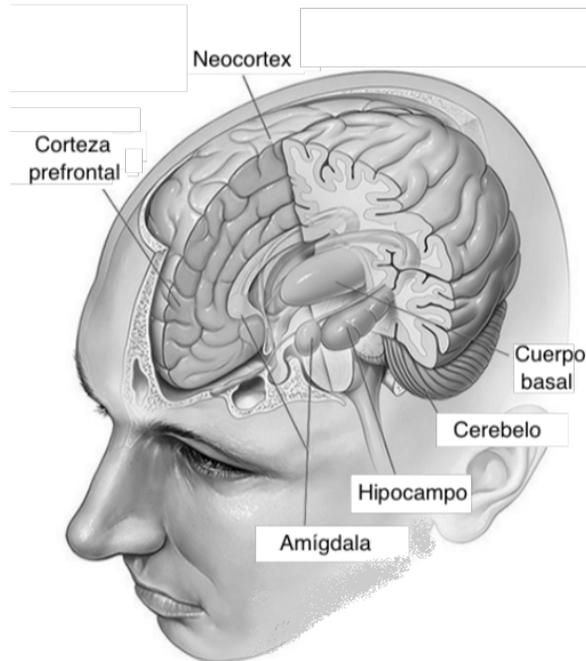
Las investigaciones que se centran en el recuerdo de eventos traumáticos, muestran que las personas recuerdan en forma detallada, precisa y persistente dichos eventos. Se ha documentado que, al observar imágenes activantes de emociones, el recuerdo de las imágenes, sean placenteras o desagradables, dura retenida mucho más tiempo que las imágenes neutras. Así, la codificación de las imágenes con carga emocional se correlaciona con un incremento de la actividad de la amígdala. Los resultados publicados señalan una alta correlación entre la activación en la amígdala y del lóbulo temporal.

Las emociones con las que procesamos los eventos, funcionarían entonces, como un sistema de filtro, seleccionando los hechos que, por su significado emocional, serían guardados en nuestra memoria de forma más duradera. Y esto claramente tendría un fundamento evolutivo. Sería ventajosa la existencia de un mecanismo que facilitara el recuerdo de una experiencia ad-

versa, aún con pocas presentaciones de los estímulos. En algunos aprendizajes de este tipo, como la aversión gustativa o el condicionamiento de miedo, puede ser suficiente un solo ensayo de asociación entre los estímulos para producir un aprendizaje sólido y resistente a la extinción. La existencia de un sistema que facilitara la formación de recuerdos clave que señalen eventos peligrosos, que ponen en riesgo el bienestar del animal, permitiría una clara ventaja evolutiva en lo que respecta a la supervivencia de la especie.

¿Dónde estás memoria mía?

Como ya ha quedado medianamente claro, las memorias no se almacenan en una sola parte del cerebro. Dependiendo del tipo de memoria ésta se almacena en diferentes regiones del cerebro, pero interconectadas. Para la memoria explícita, que son eventos que nos sucedieron (episodios), así como datos generales e información (semánticos), hay tres áreas importantes del cerebro: el hipocampo, la neocorteza y la amígdala. La memoria implícita, como la memoria motora, depende de los ganglios basales y el cerebelo. Por otro lado, la memoria de trabajo a corto plazo se basa principalmente en la corteza prefrontal.



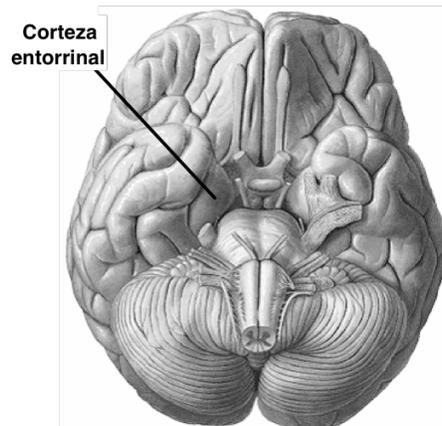
Las partes del cerebro involucradas en la memoria.

Estudios realizados con humanos y con animales de experimentación sugieren que el conocimiento almacenado como memoria explícita primero se adquiere a través del procesamiento en una o más de las tres áreas de asociación multimodal de la corteza (prefrontal, límbica y parieto-occipitotemporal). Estas áreas reciben información de las cortezas sensitivas primarias: visual (lóbulo occipital), auditiva (lóbulo temporal) y somato-sensorial (lóbulo parietal) y crean para nosotros una experiencia completa de nuestro medio.

Las áreas asociativas multimodales resultan decisivas para nuestra capacidad de comunicarnos mediante el lenguaje, para usar la razón con el fin de extrapolar los acontecimientos del futuro partiendo de las experiencias presentes, para trazar complejos planes de gran alcance, y para imaginar y crear cosas que nunca habían existido. Es decir, estas áreas corticales son responsables de tres funciones superiores: lenguaje, apreciación espacial y planificación del comportamiento. Por lo tanto, en el procesamiento de la información para el almacenamiento de la memoria explícita, la corteza entorrinal²¹ tiene una doble función. Primero, es la principal fuente de aferencias hacia el hipocampo y de esta manera proporciona aferencia vital a través de la cual la información polimodal, de las áreas de asociación, alcanzan al hipocampo. Segundo, la corte-

²¹ La corteza entorrinal es una región del cerebro situado en el temporal ventromedial, concretamente localizada en la circunvolución parahipocámpica de forma caudal a la corteza olfatoria del *uncus* y en contacto directo con el hipocampo. Incluye las áreas de Brodmann 28 y 34, y limita con la corteza perirrinal y el surco lateral. Tiene múltiples conexiones con diferentes áreas del cerebro. Conecta con las vías olfativas y visuales y con diferentes estructuras de los lóbulos temporal, parietal y frontal (incluyendo la corteza orbitofrontal). Sin embargo, la estructura con quien mayor nivel de conexión posee es el hipocampo, sirviendo como centro de relevo que distribuye la información que entra o sale de él y ejerciendo de puente entre ésta y otras áreas del cerebro. La vinculación entre hipocampo y corteza entorrinal se lleva a cabo a través de la vía perforante. Además, es considerada un área de asociación que termina de integrar y enviar la información al hipocampo, así como también una parte relevante del **sistema límbico**, recibiendo aferencias por parte de la amígdala y contribuyendo a dotar a la información sensorial de componentes emocionales en la memoria.

za entorrinal es también la principal vía de salida del hipocampo, pues la información que llega al hipocampo desde las cortezas de asociación polimodal y la que va desde el hipocampo a las cortezas de asociación convergen en la corteza entorrinal. Es por tanto comprensible que las alteraciones de la memoria por lesiones de la corteza entorrinal son en particular graves, y que esta alteración afecte no simplemente a una sino a todas las modalidades sensitivas. De hecho, las alteraciones anatomopatológicas tempranas de la enfermedad de Alzheimer, la principal enfermedad degenerativa que afecta el almacenamiento en la memoria explícita, se producen en la corteza entorrinal.



Memoria visual

Ver y comprender lo que se ve podría requerir cerca de un tercio de la corteza cerebral. Más importante aún es la complejidad de los circuitos neuronales subyacentes, esto porque prácticamente todo el cerebro tiene zonas que participan en el sistema visual. Hay que considerar que tenemos que ser capaces de identificar profundidad, textura, color, contraste, intensidad, posición espacial, movimientos, reconocimiento, percepción de lo que se ve, etc., diríamos que en realidad necesitamos mucha capacidad cerebral para ver.

El ojo humano tiene una pequeña región de gran agudeza en el centro de la visión, la fovea, que admite el procesamiento perceptivo de objetos de grano fino. Hacemos frecuentes movimientos oculares sacádicos para orientar esta región a objetos de interés en el mundo.

Los movimientos sacádicos introducen dos problemas para el sistema visual. El primero es de control. ¿Cómo se seleccionan los objetos relevantes para el objetivo como objetivos de los movimientos oculares sobre otros objetos en una escena? El segundo es uno de continuidad. Cada movimiento sacádico genera una breve perturbación perceptiva a medida que los ojos giran, y la información visual presentada en la retina se desplaza espacialmente.

¿Cómo establece el sistema de movimientos oculares la correspondencia entre los objetos visibles antes y después del movimiento sacádico para generar la experiencia de percepción perceptiva?, ¿continuidad?

Reciente investigaciones indican que existen dos formas de memorias de trabajo: la memoria de trabajo visual (MTV) y la memoria de trabajo espacial (MTE), con el sistema combinado denominado memoria de trabajo espacio-visual (MTEV). La MTV es un sistema de capacidad limitada para la representación activa de la apariencia visual de objetos relevantes y la MTE es un sistema de capacidad limitada para la representación activa de las ubicaciones de objetos.

La mayoría de los niños, en sus primeros años de estudio, son capaces de leer. Sin embargo, presentan dificultades en los movimientos sacádicos,²² fijación y comprensión de la lectura. Así nos lo confirma un estudio realizado en 2008, que señala que las dificultades visuales influyen en el 73% de los alumnos y alumnas con problemas de aprendizaje y también que la visión está relacionada de una u otra manera con el 80% del funcionamiento del cerebro.²³ Por lo tanto, la falta de comprensión lectora o acceso a

²²Los movimientos sacádicos son los movimientos rápidos que sirven para llevar la información visual en la fovea de los ojos.

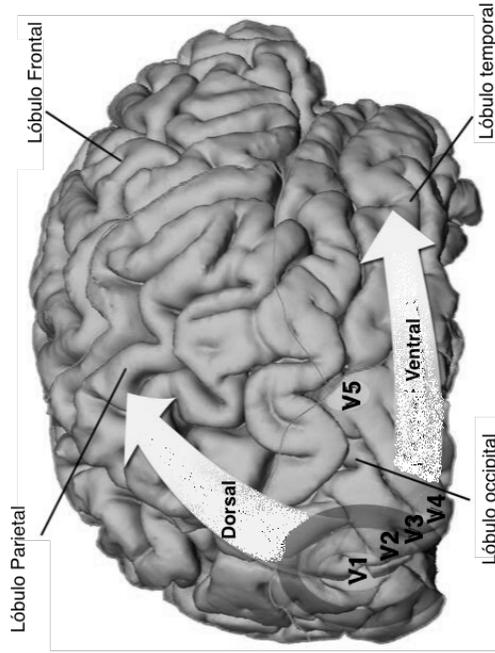
²³ VERGARA P. (2008). Tanta inteligencia, tan poco rendimiento. ¿Podría ser la visión la clave para desbloquear su aprendizaje? Madrid: Gráficas Ceyde.

los procesos superiores que nos encontramos en muchos niños y niñas se produce por deficiencias visuales, sintácticas o semánticas, especialmente cuando se trata de niñas o niños procedente de ambientes vulnerables o de familias con un nivel educacional bajo. Así lo muestra un estudio publicado en 1997,²⁴ en el que se indica que los niños y niñas que tienen una correcta fase inicial en el proceso lector propiciada por un entorno familiar adecuado tienen una mejor velocidad y comprensión lectora.

A esto debemos agregar que el sistema visual de los primates (incluido el del ser humano) consiste en dos componentes distintos. El sistema *qué*: se extiende a lo largo del gradiente occipitotemporal y procesa información sobre la identidad del sujeto. El sistema *dónde*: se extiende a lo largo del gradiente occipitoparietal y procesa información sobre la localización del objeto. Presumiblemente el conocimiento espacial-visual está distribuido. Las memorias para *qué* se forman dentro del sistema occipitotemporal, y las memorias para *dónde*, dentro del sistema occipitoparietal.²⁵

²⁴ CUNNINGHAM, A. E. Y STANOVICH, K. E. (1997). Early reading acquisition and its relation to reading experience and ability 10 years later. *Developmental Psychology*, 33, 934-945.

²⁵ POSSIN, K. L. (2010). Visual Spatial Cognition in Neurodegenerative Disease. *Neurocase*. Dec; 16(6): 466-487.



A medida que la información visual viaja desde la corteza visual primaria (V1) a las áreas de procesamiento secundario y terciario (V2-V5), se procesan aspectos cada vez más complejos de la experiencia visual y las células se ajustan a campos receptivos más grandes. La información del color y la forma se procesa por una vía ventral a través de V2, V4 y la corteza temporal inferior. La información de la ubicación y el movimiento se procesa por una vía dorsal a través de la dorsal V2 y V3, V5 y la corteza parietal posterior.

Por todo eso es fundamental conocer el desarrollo de la memoria visual de las niñas y niños, vinculándola a la compleja actividad del aprendizaje de la lectura y de la comprensión lectora, ya que estas dos capacidades son la base instrumental y van a incidir en las demás áreas de conocimiento.

A lo anterior, debemos reconocer que los niños y niñas desde muy pequeños imitan el acto de leer de los padres y madres. Una imitación que vincula afectos y emociones. Por ello, no es de sorprender que los niños y niñas, de familias que leen, también sea más probable que leerán y comprenderán lo que leen. Esta transformación, que le sucede al niño y niña lectora, cuando procesa y ejecuta con éxito la lectura a sus ritmos, permite que comprendan el lenguaje escrito, acercándolos a la comprensión de éste, a través de su exploración libre pero guiada, del fascinante mundo de las letras. Un mundo creador de mundos.

Epigenética

Diferentes estudios continúan señalando que las proteínas y el ADN que forman la cromatina son sustrato de las vías de señalización neuronal involucradas en la plasticidad del sistema nervioso central (SNC) y la formación de la memoria. Las modificaciones en el ADN y las proteínas asociadas pueden ser transitorios, subyacentes a la regulación dinámica de los es-

tados de actividad génica, o pueden ser a largo plazo y responsables de alteraciones duraderas en los estados de actividad génica.

Es claro, la combinación de componentes dinámicos y estables hace que la cromatina sea un sustrato ideal para la integración de la señal y el almacenamiento de información celular en el SNC. De hecho, los estudios se están publicando a un ritmo cada vez mayor, que demuestran que los mecanismos epigenéticos en el SNC son cambios generados y catalizados por la experiencia.

En lo que respecta al campo del aprendizaje y la memoria, existen dos mecanismos epigenéticos moleculares básicos que se estudian actualmente: modificaciones covalentes de las histonas y la metilación covalente de citosinas en el ADN. El papel de la metilación del ADN en el aprendizaje y la memoria in vivo se ha caracterizado mejor en el contexto de la memoria del miedo. El condicionamiento del miedo conduce a un aumento en la expresión *de novo* de DNMT en el hipocampo acompañado con aumentos en la metilación del ADN en el promotor de la proteína de la supresión de la memoria fosfatasa I y una disminución de la metilación en el promotor de la reelina.^{26,27}

²⁶ La reelina es una molécula de secreción que está presente en el SNC de todos los vertebrados y su expresión sigue un patrón altamente conservado. En el SNC, la reelina ejerce una importante función en la migración neuronal durante el desarrollo embrionario

Ahora bien, independientemente del mecanismo exacto involucrado en el SNC maduro, los resultados continúan destacando la capacidad de la metilación y desmetilación del ADN para regular la plasticidad y la memoria sinápticas. En 2003, un hallazgo seminal informó que la despolarización neuronal in vitro hipometila la región reguladora de la transcripción de BDNF y conduce a un aumento en el ARNm de BDNF.²⁸

El tratamiento de los cortes de hipocampo con inhibidores no específicos de DNMT, zebularina y 5-aza-2-deoxicitidina (5-aza) produce una disminución de la metilación en los promotores de la reelina y BDNF, dos genes que están correlacionados positivamente con la formación de memoria.

Curiosamente, nuevos estudios están descubriendo un papel para las modificaciones epigenéticas del ARN en el aprendizaje y la memoria, y un estudio indica un papel para la modificación de la ARN N⁶-metiladenosina en la memoria del miedo.²⁹

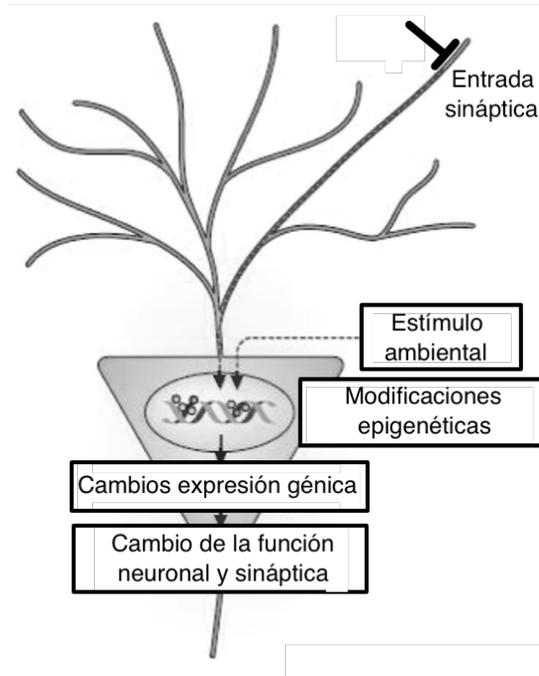
del cerebro, siendo fundamental para el desarrollo organizado de circuitos neuronales.

²⁷ MILLER CA, SWEATT JD. (2007). Covalent modification of DNA regulates memory formation. *Neuron* 53(6):857–869.

²⁸ MARTINOWICH K, ET AL. (2003) DNA methylation-related chromatin remodeling in activity-dependent BDNF gene regulation. *Science* 302 (5646): 890–893.

²⁹ WIDAGDO J, ET AL. (2016). Experience-dependent accumulation of N6-methyladenosine in the prefrontal cortex is associated with memory processes in mice. *J Neurosci* 36(25):6771–6777.

Aunque se necesita más investigación para determinar la naturaleza específica del vínculo entre la modificación del comportamiento y la metilación del ADN, estos datos sugieren que la metilación del ADN es crucial para coordinar el silenciamiento y la activación de genes involucrados en la formación de la memoria.



Mecanismos epigenéticos involucrados en la memoria

Un artículo publicado en la revista Science el año 2013 proporcionó las primeras claves para entender los cambios observados en las personas durante su desarrollo.³⁰ Se descubrió que la cor-

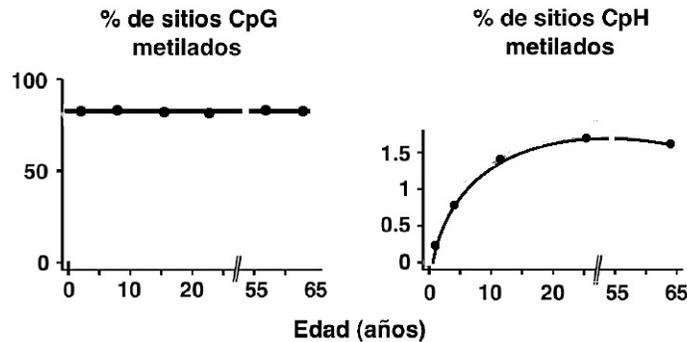
³⁰ R. LISTER, ET AL., (2013). Dynamic epigenomic reconfiguration during mammalian brain development. Science 341, 1237905.

teza frontal de las personas experimenta un importante cambio epigenético desde el nacimiento hasta el final de la adolescencia.

Los resultados del estudio muestran que la metilación del ADN es clave en la formación de los espacios de comunicación entre neuronas (sinapsis). Los patrones de metilación del ADN hacen que se expresen genes específicos en determinados tipos de células. Es así como, los diferentes tipos de neuronas, como las piramidales y las productoras del neurotransmisor GABA, tienen sub-patrones de metilación del ADN que no encontramos en otras células. Lo sorprendente es que la metilación del ADN en las neuronas, no solo se observa en secuencias CpG, sino que además, se produce en la citosina perteneciente a la secuencia CpH, donde H puede corresponder a adenina o timina. Un aspecto relevante del descubrimiento, es el hecho que el aumento de la cantidad de marcas epigenéticas en sitios CpH se correlaciona con un aumento en la formación de nuevas sinapsis (sinaptogénesis), lo que ocurre durante los primeros años de vida de la persona.

Podríamos decir que existen marcas epigenéticas de diferentes colores, lo que permitiría cambiar el significado de la marca epigenética, una posibilidad que abre nuevas interrogantes. A esto último debemos agregar el descubrimiento que en los organismos eucariontes, metazoos en particular, aparece otra marca epigenética

que se creía exclusiva de las bacterias, la metilación de adenina.



Metilación del ADN en neuronas humanas.³¹

Otro estudio publicado en Nature Neuroscience demostró que a diferencia de la metilación tipo CpG, la metilación en secuencias CpH se establece *de novo* durante la maduración neuronal y requiere de la enzima ADN metiltransferasa 3A (DNMT3A).³² Todo esto sugiere que una proporción considerable del genoma neuronal está bajo la regulación de metilación de citosina y proporciona una nueva base para la comprensión del papel de esta modificación epigenética clave en el desarrollo del sistema nervioso.

No hay duda que el sistema nervioso central posee una enorme flexibilidad morfofuncio-

³¹ Tomado de HIDALGO, M. (2018). Epigenética: (Re)pensar el aprendizaje y la educación. Editorial como sopla las velas. Santiago, Chile.

³² JUNJIE U GUO ET AL. (2014). Distribution, recognition and regulation of non-CpG methylation in the adult mammalian brain. Nature Neuroscience 17, 215–222.

nal que le permite realizar procesos de remodelación estructural aún después de haber alcanzado su desarrollo y maduración. Además del enorme número de genes que participan en el desarrollo de la memoria, mecanismos epigenéticos también han sido involucrados en procesos de modificación neuronal normal y patológica y, por ende, en los mecanismos de desarrollo de la memoria.³³

Ya no hay dudas... ¿cierto?

En general, no cabe duda que el cerebro está interconectado con paralelismo masivo y está constituido por unidades menores encargadas de funciones sencillas, pero más numerosas, estrechamente interconectadas que interaccionan continuamente a través de múltiples canales. En un símil, el cerebro debe conformar una serie de redes neurales formales. Una red neural es un conjunto de un gran número de elementos simples interconectados. Con la “experiencia”, las redes adquieren un rico conjunto de propiedades que no estaban al inicio, considerándose como propiedades emergentes.

Finalmente, para un profesor es importante saber que la memoria usada para aprender las tablas de multiplicar, los hechos históricos o las habilidades deportivas, entre otras, no se ubican en las mismas regiones del cerebro y que ade-

³³ ROSALES-REYNOSO. M.A., ET AL. (2016). Mecanismos epigenéticos en el desarrollo de la memoria y su implicación en algunas enfermedades neurológicas. *Neurología*. 31(9):628—638.

más depende del desarrollo de cada una de las áreas cerebrales y de emociones intergeneracionales o que se han constituidos muy temprano en la vida de niñas y niños. Cada cosa a su tiempo y cada tiempo con su memoria.

*Cuando recordar no pueda,
¿dónde mi recuerdo irá?
Una cosa es el recuerdo y
otra cosa es recordar.*

ANTONIO MACHADO

CAPÍTULO 4

EDUCACIÓN PRENATAL

Desde un punto de vista epistemológico y científico,
cada vez está más contrastada
no solo la relevancia del periodo prenatal,
sino el beneficio de la incipiente
educación prenatal en la vida
del ser y de su sociedad.³⁴

La educación prenatal está basada en las neurociencias y la plasticidad del cerebro, y está dirigida a promover el mejor desarrollo del futuro niño o niña. Incluye la planificación de la reproducción, embarazo, parto y crianza saludable (en bienestar). Comprende el conjunto de conocimientos y acciones que han de transmitirse a los futuros padres con la finalidad de crear las condiciones óptimas desde la concepción, desarrollo durante el embarazo, nacimiento y su posterior crianza. Incluso el propio Darwin en el "Origen del hombre", ya aconsejaba a las mujeres jóvenes (futuras madres) que aprendieran lo que más pudiesen antes de formar una familia, con la expectativa de que esto ayudaría a dotar a sus futuros hijos e hijas de habilidades.

Las intervenciones que se realizan en la educación prenatal se fundamentan en los conocimientos generados por la confluencia de distintas disciplinas científicas que, desde un enfoque interdisciplinar, ofrecen nuevos modelos de atención a la primera infancia. Neuro-

³⁴ DE LA HERRÁN GASCÓN, A. Educación prenatal y Pedagogía prenatal. REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN / REVISTA IBERO-AMERICANA DE EDUCAÇÃO vol. 69, núm. 1 (15/09/15), pp. 9-38, ISSN: 1022-6508 / ISSN: 1681-5653

ciencias, plasticidad cerebral y la multiplicidad de factores epigenéticos, generados por los diversos factores biopsicosociales, son elementos esenciales en la intervención; nos proporcionan información para determinar qué podemos hacer para lograr un mejor desarrollo de los niños y las niñas. Así, la formación de padres es un elemento esencial de la educación prenatal. Esto permite conocer y comprender la importancia que tienen en el proceso de vinculación con sus hijas e hijos.

La educación prenatal debe ser considerada como una medida educativa preventiva y de mejora individual y social que permite dar respuesta a problemas sociales a los que la educación no puede ser ajena.

Nutrición y embarazo.

El cerebro en desarrollo es vulnerable a diversas condiciones ambientales adversas durante el embarazo temprano. Por ello, la nutrición materna es considerada como uno de los factores ambientales más influyentes durante el desarrollo del cerebro fetal. El desequilibrio de la dieta materna afecta las trayectorias del desarrollo del proceso neurológico e impide el normal desarrollo de la arquitectura cerebral, lo que genera a una mayor susceptibilidad a sufrir trastornos neurológicos en el futuro. Hoy es claro que los mecanismos epigenéticos son esenciales para el desarrollo de la reprogramación cerebral

y se ha determinado que explicarían los orígenes inducidos por el estrés ambiental fetal de diversas enfermedades en la etapa adulta.

La abrumadora evidencia obtenida a partir de estudios epidemiológicos en humanos y en los diversos estudios experimentales realizados en modelos animales con restricción de la nutrición materna, ha llevado a pensar que los efectos que tienen la nutrición materna en las alternancias de fenotipo en la descendencia estarían mediados por mecanismos epigenéticos.

Recientes estudios, que se centran en el desarrollo cerebral inmaduro, también han señalado que la desnutrición materna y la deficiencia de componentes específicos en la dieta, afectan el desarrollo cerebral fetal a través de la desregulación de determinados mecanismos epigenéticos. Es por ello, que lograr una mejor comprensión de los impactos moleculares que tiene el estrés nutricional materno en el desarrollo del cerebro fetal, podría permitir un diagnóstico temprano y un tratamiento más eficaz para tratar y anticipar determinadas enfermedades neurológicas.

Estrés y embarazo.

Diversos estudios han comenzado a dilucidar la influencia del estrés, la depresión y la ansiedad durante el embarazo en el desarrollo del cerebro infantil. Por ejemplo, los altos niveles de

cortisol materno durante el embarazo se asocian con mayores volúmenes de la amígdala en niñas de 7 años.³⁵

Por otro lado, la depresión materna durante el embarazo se asocia con una reducción del grosor cortical y a una microestructura alterada de la materia blanca en niños de 2 a 5 años. Igualmente, la depresión materna y el uso de inhibidores selectivos de la serotonina durante el embarazo se asocian con una reducción de la anisotropía fraccional en muchos tractos de materia blanca en los recién nacidos. Por lo que la ansiedad materna se asociaría a un crecimiento más lento del hipocampo entre el nacimiento y los 6 meses de edad.

A todo lo anterior, debemos sumar que la exposición prenatal al alcohol y a otras drogas de abuso, también tienen efectos importantes en el desarrollo de la estructura cerebral. Específicamente, la exposición prenatal a la cocaína se asocia con una conectividad funcional aberrante entre la amígdala y la corteza prefrontal medial, y entre el tálamo y la corteza frontal, mientras que la exposición prenatal a la marihuana se asocia con una conectividad funcional alterada la conectividad estriatal e insular.

³⁵BUSS, C. ET AL. (2012) Maternal cortisol over the course of pregnancy and subsequent child amygdala and hippocampus volumes and affective problems. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 109, E1312–E1319.

Si bien se necesitan más estudios longitudinales para determinar cómo estas influencias están relacionadas con el desarrollo y riesgos posteriores, debemos estar conscientes que los resultados preliminares ya nos deberían alentar a tomar decisiones que afecten el bienestar de la futura población infantil. Y esto es tarea de todos.

Mirando hacia atrás

Es sorprendente el hecho que una medicina como Ayurveda,^{36,37} mencione en sus tratados milenarios el cómo la salud de los padres puede afectar el futuro de sus hijos aún no nacidos.

“La salud reproductiva de los padres depende de la salud de los tejidos reproductores de cada uno de ellos (dhatu sukla en hombres y dhatu artava en la mujer). En las mujeres el tejido Artava es responsable de la creación de óvulos; en cambio, dhatu shukra es responsable de la formación del semen en los hombres. Por tanto, es importante que ambos padres mantengan una salud óptima mediante la eliminación de toxinas, inclusive eliminando el vicio de fumar y de tomar bebidas alcohólicas, y la nutrición adecuada para que los tejidos reproductivos sean capaces de producir una descendencia sana”.

³⁶ Ayurveda es una de las medicinas tradicionales más antiguas del mundo. Es una medicina predictiva, preventiva, personalizada y promotora, documentada desde el año 1500 a. C., con el objetivo de mantener la salud en personas sanas y aliviar los trastornos en las personas enfermas.

³⁷ HIDALGO, M. Ayurveda en una era post genómica (2018). Ediciones Como sopla las velas. Chile.

Ayurveda nos recuerda que la salud del embrión, feto, niño y adulto, de una u otra manera queda “programada” desde el momento de la concepción o inclusive desde antes. Esta visión ayurvédica puede interpretarse a la luz de la ciencia moderna como marcas epigenéticas producidas antes, durante y después de la concepción.³⁸ Los padres importan, es tiempo de considerar el impacto de la paternidad.³⁹

¿Entonces?

El desarrollo de las capacidades del ser humano no depende solo de su dotación genética o del ambiente, también está influenciado por la forma en la que se vive y se aprende. Durante el periodo de gestación y en los primeros años de vida el desarrollo del ser humano pasa por momentos cruciales. Existe un complejo abanico de sistemas que están actuando de manera permanente tanto sobre el feto, como sobre el niño o niña después de su nacimiento, a través de su ambiente más próximo (su ambioma), es decir los padres. Esta es una de las principales justificaciones de la educación prenatal.

³⁸ DAXINGER, L., AND WHITELAW, E. (2012) Understanding transgenerational epigenetic inheritance via the gametes in mammals. *Nature Reviews Genetics* 13, 153-162.

³⁹ BRAUN, J.M., MESSERLIAN, C. AND HAUSER, R. (2017). Fathers Matter: Why It's Time to Consider the Impact of Paternal Environmental Exposures on Children's Health. *Curr. Epidemiol. Rep.*

No hay duda, los efectos de los estímulos y las acciones en las primeras etapas de la vida son importantes porque es ahí cuando se establecen las bases del desarrollo posterior y en las que las interacciones entre factores biológicos, psicológicos y sociales tienen una enorme incidencia en este desarrollo, y esto nos obliga a estar conscientes desde el momento que decidimos ser padres.

CAPÍTULO 6

UNA BUENA ALIMENTACIÓN ANTES DE INICIAR LA JORNADA

“¿Quieres que yo vaya y llame una nodriza de entre las hebreas para que te críe este niño?”. “Ve”, le contestó la hija del Faraón. Fue, pues, la joven y llamó a la madre del niño. Y la hija de Faraón le dijo: “Toma este niño y críamelo que yo te pagaré.”

LA BIBLIA. ÉXODO 2: 7-9

La infancia del ser humano es la más prolongada de todos los mamíferos y esto tendría explicación en las enormes exigencias energéticas de nuestro cerebro en desarrollo. El cerebro es un órgano costoso en términos energéticos, pues consume aproximadamente la quinta parte de la energía que requiere el organismo humano a diario. Aunque este valor puede parecer pequeño, en el recién nacido la cifra puede elevarse hasta el 60% (tres quintas partes) de la energía requerida para poder vivir.

Voracidad energética

El cerebro humano alcanza su máximo consumo energético a los cuatro años de edad. A esa edad el cerebro “quema” el combustible a una tasa equivalente a aproximadamente el 65 por ciento del que usa el resto del cuerpo. Este ritmo de consumo, que equivale a más del 40 por ciento del gasto total de energía del cuerpo, disminuye hacia los cinco años de edad. Además, entre los 3 a 4 años es donde se llega al máximo de conexiones neuronales en el cerebro.

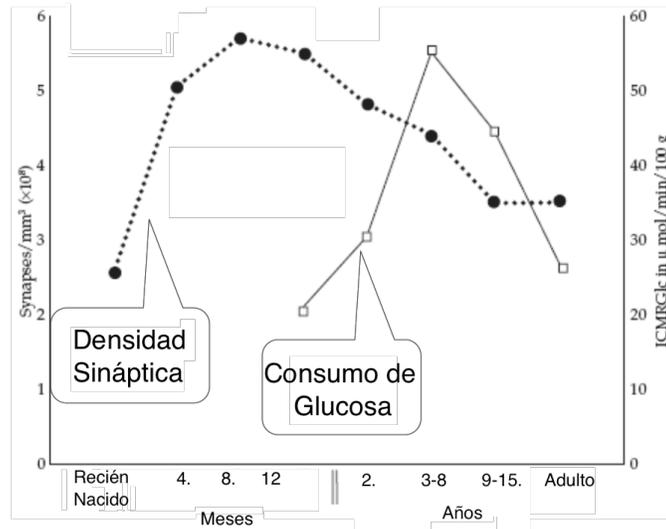
Un estudio realizado con tomografía por emisión de positrones (PET) en lactantes humanos⁴⁰ ha mostrado un fuerte aumento en el metabolismo cerebral en reposo general (captación de glucosa) después del primer año de vida, con un máximo de aproximadamente el 150 por ciento por encima de los niveles alcanzados en los adultos (para algunas áreas corticales), entre los 4 y 5 años de edad.

Está claro, al menos así lo veo, que es importante que durante el desarrollo embrionario, fetal y durante los primeros años de vida, la niña o el niño, reciban los alimentos más idóneos y no solo en lo que respecta a cantidad de calorías, sino también a la calidad de los mismos. Recordemos que los alimentos no solo aportan calorías, proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, sino también sustancias informacionales (ej., miARN) que modifican epigenéticamente el cerebro del niño o de la niña.

Existe abrumadora evidencia de que la lactancia materna proporciona beneficios sustanciales para la salud de las madres y los bebés, que se extienden mucho más allá del período de lactancia materna en sí. La leche materna es el alimento ideal para todo recién nacido, y se recomienda como único alimento hasta los seis meses de vida. De hecho, algunos estudios pro-

⁴⁰ CHUGANI H. T, PHELPS M. E, MAZZIOTTA J. C (1987). Positron emission tomography study of human brain functional development. *Ann Neurol* 22: 487-497.

ponen la oportunidad de valorar el impacto que tendría la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga la alimentación durante el embarazo y durante la lactancia en el desarrollo del hijo o hija, con la transmisión de estos suplementos a través de la placenta y posteriormente de la leche materna.

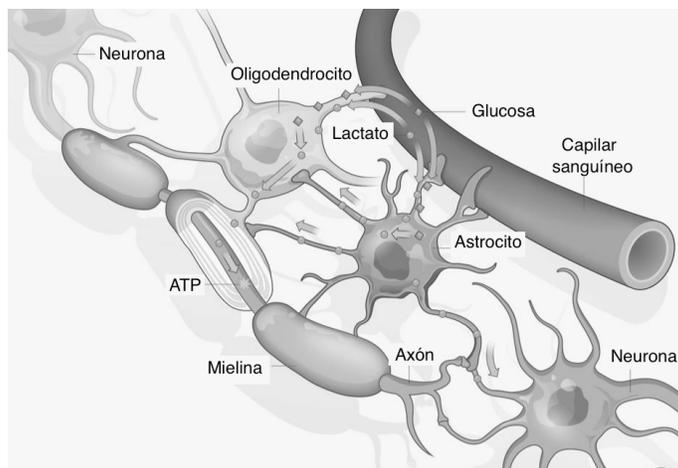


Evolución de la densidad sináptica y el consumo de glucosa por la corteza occipital.

Desde el punto de vista neurobiológico es importante señalar que el cerebro, al igual que el tejido muscular, también almacena glucógeno, pero no lo hace en las neuronas, sino que en los astrocitos. Sin embargo, la cantidad de glucógeno almacenado es muy pequeño, alcanzando solo al 1% del glucógeno almacenado

en el hígado, cantidad capaz de mantener el funcionamiento cerebral por tan solo por unos pocos minutos.

Cuando la actividad neuronal requiere más energía, el glucógeno almacenado en los astrocitos es degradado hasta lactato, que es transportado posteriormente a las neuronas, las que lo metabolizan a ácido pirúvico, el cual continuará por el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, la cadena transportadora de electrones y la fosforilación oxidativa, permitiendo la obtención de una importante cantidad de ATP, necesaria para abastecer los procesos metabólicos de la neurona.⁴¹



⁴¹ MATSUI T, OMURO H, LIU Y-F, SOYA M, SHIMA T, MCEWEN BS, SOYA H. (2017) Astrocytic glycogen-derived lactate fuels the brain during exhaustive exercise to maintain endurance capacity. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 13;114(24):6358-6363.

Lactancia materna

Pese a todo el cúmulo de pruebas en pro de los beneficios de la lactancia materna exclusiva, la prevalencia de la misma es baja o muy baja en prácticamente todo el mundo, inferior al 50% en niños de hasta 4 meses en muchísimos países, según estimaciones de la OMS. Esta situación, que se ha visto agravada a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, con la sustitución indiscriminada de la lactancia materna por fórmulas derivadas de leche de vaca. Esta situación es, en realidad, nueva en el devenir de la humanidad: *desde el principio de los tiempos y hasta hace menos de 150 años la inmensa mayoría de recién nacidos humanos habían sido alimentados con leche de la propia especie, sea de sus propias madres o de mujeres contratadas para tal fin.*

Leche humana

La leche humana es un líquido complejo que consiste en componentes bioactivos que incluyen proteínas, péptidos, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, oligosacáridos, microorganismos beneficiosos y células madre. Así, la leche es un producto de secreción muy complejo, que controla el genoma del recién nacido durante la lactancia, representando así un regulador maternal crítico en el desarrollo de la descendencia.

Se cree que los componentes encontrados en la leche son responsables de los mejores resultados de los lactantes amamantados, sobre aquellos que han sido alimentados con fórmulas artificiales. De hecho, los lactantes alimentados con leche materna tienen una menor prevalencia de infecciones que aquellos alimentados con fórmulas artificiales, y también se benefician de mejores resultados a largo plazo, como un mejor desarrollo cognitivo, menos obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares.

No amamantar puede aumentar: el riesgo de muerte por infecciones intestinales en niños o niñas prematuros y enfermos (enterocolitis necrotizante); infecciones de pecho (infecciones respiratorias inferiores); infecciones de oído (otitis media); diarrea y vómitos (gastroenteritis). Hay cada vez más pruebas de que la lactancia materna protege contra el riesgo de que un niño o la niña tenga sobrepeso u obesidad más adelante en su vida. Existe evidencia de una asociación entre no ser amamantado y el riesgo de síndrome de muerte súbita infantil (SIDS, por sus siglas en inglés). Además, la lactancia materna también beneficia a la madre de muchas maneras, incluida la reducción del riesgo de cáncer de mama y, potencialmente, disminuir el riesgo de cáncer de ovario.

Efecto epigenético de la leche materna

Existe suficiente evidencia que apoya la idea de que la leche funciona como un transmisor o relé entre el genoma materno y la regulación epigenética de los genes del receptor de la leche, que en condiciones fisiológicas es el recién nacido. Se cree que los procesos epigenéticos juegan un papel clave en la regulación de expresión génica de tejidos específicos, y por lo tanto alteraciones en estos procesos pueden inducir a largo plazo cambios en la expresión génica y en el metabolismo, los que persistirían a lo largo de toda la vida.

Es claro, nuestra percepción de la leche materna ha cambiado desde un "alimento simple" a un sistema de nutrición y comunicación madre-lactante altamente sofisticado que orquesta la programación temprana del recién nacido. Así, por ejemplo, los micro ARNs (miARNs) de la leche administrados por exosomas derivados de las células epiteliales de las glándulas mamarias desempeñan un papel clave en este proceso. La deficiencia de estos ARNs en las fórmulas infantiles y su absorción persistente después del período de lactancia mediante el consumo de leche de vaca, son dos aberraciones epigenéticas que pueden inducir efectos adversos a largo plazo en la salud humana.

En conclusión, hay buenas razones para afirmar que la maquinaria epigenética de la le-

che, durante la vida postnatal, es de vital importancia para la programación metabólica de por vida y, probablemente, con un fuerte impacto epigenético sobre el cerebro del lactante. Por ello, es concebible que la señalización epigenética de la leche humana sea beneficiosa para el desarrollo y la salud del recién nacido, para lo cual no existen alternativas artificiales.⁴²

⁴² HIDALGO, M. Lactancia materna para iniciar el camino. www.elquintopoder.cl/salud/lactancia-materna-para-iniciar-el-camino/

CAPÍTULO 7

BIENESTAR EN LA PRIMERA INFANCIA

Los primeros cuidados del género humano
han de ser recibidos en la misma cuna;
esta primera educación, administrada
con cuidado, aprovechará maravillosamente
en la edad que ha de seguir; si se descuida,
será un obstáculo.

COMENIUS (1662)⁴³

La primera infancia abarca desde el nacimiento hasta los ocho años de edad, y es la más significativa en la formación del niño o de la niña porque en ella se estructuran las bases del desarrollo humano y la personalidad, sobre las que se consolidarán y perfeccionarán las sucesivas etapas. Comprende el nacimiento, el primer año de vida, los años preescolares y la transición hasta la escolarización.

Esta amplia y valiosa etapa está marcada por un notable crecimiento físico y significativo desarrollo sensorial y perceptivo.

La primera infancia es, además, la etapa donde las estructuras neurofisiológicas y psicológicas están en pleno proceso de maduración, en este sentido la calidad y cantidad de influencias que reciban los niños y niñas de su entorno familiar, socioeconómico y cultural las moldearán de una forma casi definitiva. De ahí que la educación en esta etapa llega a ejercer una ac-

⁴³ Citado en PERALTA, V. (2010); El saber y hacer pedagógico del centenario de la Educación Parvularia, grafica LOM, Concha y Toro N°25, Chile.

ción determinante porque precisamente actúa sobre estructuras que están en plena fase de maduración y desarrollo.

Según Mönckeberg,⁴⁴ es durante el período de crecimiento rápido (parte de la primera infancia), al comienzo de la vida, cuando la genética y el medio ambiente interactúan, y en conjunto van modulando el desarrollo cerebral.

Si el micro medioambiente del niño es lo suficientemente generoso y amigable, va a ser posible lograr la máxima expresión individual de sus “potencialidades genéticas”, tanto físicas como intelectuales. Se entiende por medio ambiente generoso y amigable, aquel que es capaz de proporcionar no solo los nutrientes necesarios, en los tiempos que el desarrollo del programa genético los va requiriendo según el plan de construcción de la arquitectura cerebral, sino también el medio ambiente que va proporcionando los estímulos cognitivos, emocionales y no emocionales adecuados. El conjunto de ambos (genética y medio ambiente) va permitiendo la expresión armónica del potencial genético. Entendiéndose en este caso, por “potencial genético”, el desarrollo de las capacidades físicas y mentales, que se transmiten inscritas en el ADN, necesarias tanto para el desarrollo de la inteligencia, como el de la personalidad y el crecimiento físico del individuo y en definitiva, para la adecuación del proceso metabólico necesario para mantener el estado de salud a lo largo de la vida.

⁴⁴ MÖNCKEBERG, F. (2014). Prevención del daño: impacto económico y social. Rev. Chil. Nutr., 41 (2), 181-190.

Los aprendizajes y estimulación en los primeros meses y años de vida son fundamentales para el desarrollo del ser humano en su vida adulta. De esta forma, estimular al niño o niña en la infancia temprana influirá en su desarrollo posterior, ya que, como se ha señalado, las habilidades cognitivas, creativas, emocionales, de lenguaje o motoras en general comienzan a forjarse durante estos períodos.

Los imprevisibles impactos de los primeros estímulos

Puede no ser novedoso, ni sorprendente, el impacto que tienen los primeros estímulos en los desenlaces de la vida de niños y niñas, fundamentalmente por el hecho de haber sido postulados, o bien por ser conocidos empíricamente, desde hace muchos años. Sin embargo, en mi opinión, es realmente sorprendente (diría hasta novedoso) cuando comprendemos la forma en la que impactan los primeros estímulos. Es así como el tipo y calidad de los mismos puede repercutir en la niña o en el niño en sus primeros meses o años de vida, modificando epigenéticamente el cerebro. Este remodelado cerebral (en neuronas y en células glía), podría tener un enorme impacto en procesos tan relevantes como la sinaptogénesis y posterior poda, que ocurren en la niñez y en la adolescencia. Más aún, es extremadamente sorprendente el hecho que tales estímulos, incluso en la vida intrauterina, pudiesen tener impacto en un cambio genético del cere-

bro, al modificar el comportamiento de elementos genéticos móviles (genes saltarines) como es el caso de los retrotransposones. Esto último, generaría un mosaicismo genético cerebral con imprevisibles consecuencias, no solo en la vida del niño o la niña que se está desarrollando, sino que además en sus futuros hijos.

Los primeros estímulos

Entre los primeros estímulos podemos encontrar los estímulos hápticos. Al respecto, es sorprendente darnos cuenta el hecho que el roce de la piel produce sensaciones placenteras, las que pueden ocurrir durante las interacciones sociales, y pueden ser clave en la consolidación del apego (caricias que una madre da a su hija o hijo recién nacido). En el año 2013 se logró identificar una población de neuronas sensoriales relacionadas con estas sensaciones. Estas neuronas inervan exclusivamente la piel vellosa con grandes arborizaciones terminales y carecen de fibras de mielina e inervan exclusivamente la piel con vello. Estas neuronas se activan cuando se acaricia la piel, pero no ante una estimulación dañina, como puede ser una punzada o un pellizco. Es más, al aplicar estímulos nocivos se activan otras neuronas, que no responden a las caricias. Estos descubrimientos abren el camino para poder comprender la función de poblaciones especiales de neuronas sensitivas durante los comportamientos sociales.

No hay duda, las caricias se constituyen como una importante acción en la constitución del apego.

Tema aparte es la lactancia materna, un estímulo importantísimo en los comienzos de nuestras vidas. Sé que es un tema que aparentemente no debería aportarnos nada nuevo; sin embargo, todo cambia cuando comenzamos a reconocer lo que realmente es la leche materna. No es solo un alimento que proporciona nutrientes y entrega las primeras defensas (anticuerpos) al niño o niña. Como ya ha sido señalado la leche materna es una sustancia mucho más compleja funcionalmente, se puede comportar como un transmisor o relé entre el genoma materno y la regulación epigenética del receptor de la leche, que en condiciones fisiológicas es el recién nacido. El efecto epigenético de la leche tiene un papel fundamental en la regulación de la expresión génica de tejidos específicos, y por lo tanto alteraciones en estos procesos pueden inducir a largo plazo cambios tanto en la expresión génica como en el metabolismo, los que persistirían a lo largo de toda la vida. Al parecer, la lactancia materna tendría un gran impacto en la reconfiguración de las redes neuronales durante los primeros meses de vida. Eso es sorprendente, al menos para mí.

El apego

El apego es el primer vínculo afectivo que se establece el recién nacido con sus padres. Por ello, es en la familia, desde la consolidación del apego, es decir, del establecimiento de una relación vincular positiva, en el que no solamente se satisfacen necesidades biológicas y primarias (alimentación, sueño, salud, vestido y vivienda adecuadas), también las afectivas, el contacto asertivo y además la confirmación del bebe como un sujeto pleno de derechos y de realidades propias. El buen trato y el cuidado afectuoso en la crianza de niños y niñas constituyen el escenario por excelencia en la buena salud mental en adultos.

John Bowlby, teorizó en torno a los efectos inmediatos y a largo plazo del apego positivo, es decir, de una relación vincular cálida, íntima y continua entre la madre y su hijo o hija, en la que el encuentro se caracteriza por el afecto, la satisfacción y la alegría.⁴⁵

Una relación positiva se construye cuando el bebé siente que los adultos que lo cuidan son sensibles a sus necesidades y tratan de satisfacerlas con cariño. Por ejemplo, al aliviar su angustia producto del hambre, sueño u otras razones, estos adultos se van haciendo personas confiables y disponibles; al hacerle cariño y hablarle

⁴⁵ BOWLBY, J. (1979). *The making and breaking of affectional bonds*. London: Tavistock.

de manera amorosa, le hacen sentir a la guagua que es alguien querible e importante para los otros. Como se rescata del Principito:⁴⁶

¿Has dicho "domesticar"? ¿Qué significa "domesticar"?

-Tú no eres de aquí -afirmó el zorro- ¿Puedes decirme qué es lo que buscas?

-Busco a los hombres-respondió el principito- Dime, ¿qué significa "domesticar"?

-Los hombres-intentó explicar el zorro- poseen fusiles y cazan. Eso es bien molesto. Crían también gallinas; es su único interés. ¿Tú buscas gallinas, verdad?

-No- dijo el principito- Busco amigos. ¿Qué significa "domesticar"?

-Ah!..., es una cosa muy olvidada -respondió el zorro- Significa "crear lazos".

-¿Crear lazos? -preguntó el principito.

-Así es -confirmó el zorro- Tú para mí, no eres más que un jovencito semejante a cien mil muchachitos. Además, no te necesito. Tampoco tú a mí. No soy para ti más que un zorro parecido a cien mil zorros. En cambio, si me domesticas..., sentiremos necesidad uno del otro. Serás para mí único en el mundo. Seré para ti único en el mundo...

Es claro, promover un apego (lazos) seguro es importante porque se refleja en niños y niñas emocionalmente más seguros, estables y con un mejor desarrollo social, es decir, es un factor protector de la salud mental de las personas.

⁴⁶ DE SAINT-EXUPERY, A. (1943). El Principito. Éditions Gallimard.

Cuando el bienestar parece lejano

Dado el valor potencial de los diferentes estímulos ambientales para predecir tanto el contexto socioeconómico actual y futuro, tal vez no sea sorprendente que la calidad del medio ambiente en los primeros años de vida pueda tener un impacto sostenido en nuestra biología, lo que lleve a trayectorias de vida divergentes en lo que respecta al desarrollo de las personas. En particular, la calidad de las interacciones entre padres e hijos puede dar forma al cerebro en desarrollo con implicaciones a largo plazo para la función cerebral y de comportamiento.

La búsqueda de mecanismos subyacentes al impacto de los padres sobre los hijos ha progresado rápidamente en la última década a la luz de los avances en la biología molecular y de las técnicas de imagen cerebral, que apuntan hacia las vías que pueden ser comunes a muchas experiencias de la vida temprana (es decir, exposición a toxinas, contaminantes ambientales, la variación nutricional y estrés). En particular, es evidente que la calidad de las interacciones padres-hijos pueden inducir cambios epigenéticos en el cerebro en desarrollo que dan cuenta de la variación en la respuesta al estrés, la cognición, la sociabilidad, y el comportamiento reproductivo. En este contexto, como ya se ha señalado, la epigenética es un campo en evolución del estudio que no se centra en la secuencia de ADN dentro de nuestros genomas, sino más bien so-

bre la regulación de la “actividad” de los genes. Estos mecanismos epigenéticos pueden ayudarnos a entender mejor el impacto biológico de una amplia gama de experiencias ambientales, que incluyen la calidad de la atención de los padres. Por otra parte, está claro que los impactos de las experiencias de la vida temprana pueden influir en las siguientes generaciones. Es así como el contexto de desarrollo puede variar significativamente entre las personas. Aunque las fuentes de esta variación pueden implicar factores ecológicos amplios, como el clima, la densidad de población, y el estatus socioeconómico (ESE), desde la perspectiva de la persona en desarrollo, estos factores contextuales son experimentados indirectamente a través de la influencia del medio ambiente sobre las interacciones entre padres e hijos. La dependencia de la descendencia a estas interacciones puede extenderse más allá de la supervivencia. Los sistemas socioemocionales que rigen la autorregulación y la reactividad al estrés pueden desarrollarse a través de un proceso expectante a la experiencia, que depende de las formas de interacción social de la vida temprana. Este proceso de desarrollo se demuestra en los estudios sobre el impacto de la variación en o interrupción de la calidad de las interacciones entre padres e hijos en los seres humanos, primates y roedores.⁴⁷

⁴⁷ SROUFE L. A (2005). Attachment and development: A prospective, longitudinal study from birth to adulthood. *Attachment & Human Development*, December 7(4): 349 – 367.

La investigación sobre el impacto en el desarrollo por las conductas de los padres se ha centrado la vinculación y los trastornos de la relación padre-hijo a través de la ausencia de los padres (es decir, la crianza en instituciones gubernamentales), el abandono y el cuidado abusivo. Las variaciones en la relación de vínculo (examinado típicamente entre la madre y el bebé) se asocian con ya sea la resistencia a la angustia psicológica (por ejemplo, una fijación segura) o aumento de la incidencia de la psicopatología (por ejemplo, el apego desorganizado). El apego desorganizado es predictivo en el aumento de las tasas de trastorno de la personalidad, disociación, auto-daño, y el aumento de cortisol salivar durante la exposición a factores de estrés, lo que sugiere una reactividad aumentada de la respuesta del eje hipotálamo-pituitaria-adrenal (HPA) al estrés.

Se ha encontrado que las experiencias adversas en la infancia, que incluyen el abandono y el abuso infantil se correlacionan con un menor rendimiento cognitivo, trastornos de desarrollo social, y un aumento de trastornos de la personalidad. Estas alteraciones pueden ser impulsadas en parte por la desregulación del eje HPA, que caracteriza a los individuos que han experimentado negligencia y/o abuso.

El descuido grave experimentado por los lactantes institucionalizados da como resultado retrasos en el desarrollo, deterioro de la función

ejecutiva, aumento de comportamientos similares al autismo, y elevados niveles de cortisol salival.

A todo lo anterior se debe agregar que estudios recientes indican que el estado socioeconómico (ESE) puede influir en la estructura del cerebro en desarrollo.⁴⁸ En niños y niñas mayores y en adolescentes, los bajos ingresos familiares y baja la educación de padres y madres se han asociado con volúmenes reducidos en la materia gris cortical, el hipocampo y la amígdala, así como una superficie y grosor cortical reducida.^{49,50,51}

El impacto de ESE en la estructura del cerebro parece aumentar con la edad en la primera infancia. Sin embargo, solo muestra asociaciones marginales entre la educación de los padres y madres y los volúmenes del cerebro al nacer.⁵² Por ello, sin descartar posibles efectos sobre el cerebro durante el embarazo, los principales efectos se observan en la vida posnatal.

⁴⁸ FARAH, M. J. (2017) The neuroscience of socioeconomic status: correlates, causes, and consequences. *Neuron* 96, 56–71.

⁴⁹ LUBY, J. ET AL. (2013). The effects of poverty on childhood brain development: the mediating effect of caregiving and stressful life events. *JAMA Pediatr.* 167, 1135–1142.

⁵⁰ MACKAY, A. P. ET AL. (2015). Neuroanatomical correlates of the income-achievement gap. *Psychol. Sci.* 26, 925–933

⁵¹ NOBLE, K. G. ET AL. (2015). Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. *Nat. Neurosci.* 18, 773–778.

⁵² KNICKMEYER, R. C. ET AL. (2016). Impact of demographic and obstetric factors on infant brain volumes: a population neuroscience study. *Cereb. Cortex* 27, 5616–5625.

A modo de resumen

En términos generales, el bienestar se ha asociado a una perspectiva hedónica, construida sobre la experiencia de placer, que incluye los juicios sobre la satisfacción o insatisfacción con la vida. El de bienestar psicológico, por el contrario, corresponde a una perspectiva próxima a la tradición humanista, relacionada con procesos de autorrealización, desarrollo del potencial humano y funcionamiento psicológico pleno. Por otro lado, el de bienestar social surge desde una noción de sujeto que resalta las relaciones interpersonales e intergrupales dentro del contexto social y se refiere a la valoración que hace una persona de las circunstancias y el funcionamiento dentro del medio social del que forma parte.

El bienestar, en definitiva, está determinado por el entorno, donde el niño o niña se desenvuelve, donde las interacciones multi e interdimensionalmente dota de herramientas y oportunidades a las personas. Es claro que la calidad de las relaciones establecidas, desde el instante mismo de la concepción son definitivas en el resultado final. En el bienestar de los adultos.

CAPÍTULO 8

LO MOTOR Y LO COGNITIVO

“La enseñanza debe ser por la acción.
La educación es la vida;
la escuela es la sociedad”.

JOHN DEWEY

La motricidad y la cognición están conectadas funcionalmente y ambas evolucionaron paralela e independientemente. Se ha demostrado que caminar depende de las interacciones cognitiva-motoras que facilitan la solución de problemas, se relacionan con la encarnación, la creatividad y posiblemente pueden evitar la evitación cognitiva al cambiar la perspectiva hacia una situación ventajosa.

Desde las acciones más simples que comienzan a realizar los niños y niñas, como hacer botar una pelota, correr o andar en bicicleta, hasta los gestos técnicos más específicos que realizan los artistas y deportistas, todas son fruto de un proceso de adquisición de habilidades. Si bien los distintos niveles de dificultad y las distintas actividades que se realizan dan lugar a un amplio abanico de tareas, tanto cuantitativa como cualitativamente. Donde todas son el fruto del aprendizaje que la persona realiza para tener el poder sobre la motricidad de su propio cuerpo.

Este aprendizaje, de enorme valor evolutivo, es un interesante objeto de estudio para la psicología y tiene un enorme valor biológico,

dado que versa sobre el modo en que las personas toman control de sus propios movimientos para desenvolverse adecuadamente en su entorno dinámico y cambiante.

Dado que el comportamiento es el principal instrumento humano para lograr una adecuada adaptación al medio. Las acciones motrices son, pues, un elemento básico del anterior. Así, se puede considerar el *aprendizaje motor como el cambio en las capacidades de un sujeto para realizar una tarea motriz, que debe ser inferido a partir de una mejora relativamente permanente en el rendimiento, como resultado de la práctica o la experiencia.*⁵³

A diferencia de lo que creíamos, el cuerpo no es simplemente un aparato de comunicación bidireccional para el cerebro, sino que desempeña un papel crucial en los procesos cognitivos (cognición corporizada). O si se quiere, los sistemas sensoriales y motores que gobiernan el cuerpo están enraizados en los procesos cognitivos que nos permiten aprender.

El descubridor de las neuronas espejo Giacomo Rizzolatti, lo resume muy bien:

“El cerebro que actúa es un cerebro que comprende”.

⁵³ MAGILL, R.A. (1993). *Motor learning: Concepts and applications*. Madison, Wisconsin: Brown and Benchmark.

Las implicaciones educativas son enormes porque, además, el aprendizaje es un proceso social, que germina en un contexto de relaciones amistosas de identidad y de pertenencia.

Del movimiento a la cognición

La frase en latín “*Orandum est ut sit mens s̄ana in corpore s̄anō*” que se traduce como “oremos por una mente sana en un cuerpo sano” y se encuadra dentro del contexto de la filosofía griega sobre el cultivo de la mente, el cuerpo y el alma para alcanzar el equilibrio. Hoy las investigaciones parecen concordar con tal frase, sugiriendo que el ejercicio no solo constituye una estupenda estrategia para mantener una buena salud física, sino también una buena salud mental.

El ejercicio físico tiene un impacto positivo en el funcionamiento del hipocampo, en la liberación de importantes neurotransmisores y en el desarrollo de las funciones ejecutivas del cerebro, básicas para el rendimiento académico y desarrollo personal del niño o niña.

A modo de ejemplo, como lo indica Ma y colaboradores,⁵⁴ detener la clase durante unos minutos en la actividad académica diaria de ni-

⁵⁴ MA J. K., LE MARE L., GURD B. J. (2015): “Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9- to 11-year olds”. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism* 40, 238-244.

ños y niñas con edades entre 9 y 11 años, para realizar ciclos de movimientos rápidos (saltos, sentadillas o similares) durante 20 segundos, seguidos de descansos de 10 segundos, son suficientes para optimizar la atención necesaria que requiere la tarea posterior y mejorar el desempeño de la misma.

Durante los primeros años de vida los niños y niñas exploran y experimentan a través de sus sentidos; el juego se vuelve parte esencial de su desarrollo, equivale a la vida misma, ya que constituye una actividad placentera, cuyos estímulos repercuten en su comportamiento, su autoestima, el desarrollo del lenguaje, la búsqueda de soluciones a problemas cotidianos, el fortalecimiento de su cuerpo, el despertar de sus esquemas mentales.

Contando y jugando... con los dedos

Es cosa de hacer un poco de memoria y recordar nuestra infancia. ¿Quién no contó utilizando los dedos? Diríamos que esa actividad, mal vista por algunos adultos, es una actividad sensorial y motriz que forma parte de un proceso evolutivo que se realiza antes de que el cálculo se automatice y se convierta en un proceso puramente mental.

Sin embargo, al parecer constituye una acción precursora importante para el aprendiza-

je.⁵⁵ Las representaciones cerebrales de los números y la disposición de la mano obedecen a principios de organización muy similares. Parece que la calidad del manejo de los dedos, algo que podemos cultivar en la infancia, es importante para el desarrollo de la capacidad aritmética. Los estudios sugieren que los niños que en la etapa de educación infantil manejan mejor sus dedos se desenvolverán mejor después en matemáticas, y que el entrenamiento de los dedos en niños de 6 años mejora las competencias numéricas.

Relacionado con lo anterior, Vallée-Tourangeau y sus colaboradores⁵⁶ han comprobado que cuando se permite manipular objetos, en lugar de utilizar una tableta electrónica para realizar los cálculos, se facilita la resolución creativa de los problemas matemáticos. La utilización de fichas numéricas reduce la ansiedad, mejora la capacidad aritmética cuando se han de realizar cálculos mentales largos.

Por otra parte, en el contexto lingüístico se ha comprobado lo útil que resulta enseñar a los niños ejercicios en los que van trazando las letras con los dedos. Añadir los estímulos visuales y auditivos a la exploración háptica, a través de

⁵⁵ DEHAENE, S. (2016). *El cerebro matemático: Como nacen, viven y a veces mueren los números en nuestra mente*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno.

⁵⁶ VALLÉE-TOURANGEAU F. ET AL. (2016): "Insight with hands and things". *Acta Psychologica* 170, 195-205.

la práctica de los gestos de la escritura, acelera el aprendizaje de la lectura. Y desde la neurociencia parece haberse encontrado la justificación: existen rutas neurales diferentes asociadas al reconocimiento de objetos y a su orientación. Ante las letras estáticas se activa una región del sistema visual que acaba especializándose en el reconocimiento de las letras: la llamada “caja de letras del cerebro”. Pero cuando las letras están en movimiento, al escribirlas en cualquier lengua, se activa una región de la corteza premotora izquierda asociada a los gestos: el área de Exner.

Cuando jugar es parte del desarrollo natural

Poco después del fin del destete, prácticamente todos los mamíferos entran en un período que se caracteriza por altos niveles de juego social con características específicas y con ciertas similitudes en los mismos rangos de edad. A pesar de ser arriesgado y energéticamente costoso el juego social, durante el período juvenil, es un comportamiento motivado y altamente gratificante. También hay algunas pruebas de que el juego puede estar bajo control homeostático con breves períodos de privación que resultan en rebotes compensatorios. Sin embargo, este efecto compensatorio solo se manifiesta durante una ventana específica de desarrollo juvenil. El hecho de que el juego está conservado, motivado y, posiblemente, bajo el control homeostático, indica que es probable que

esté desempeñando alguna función útil, de valor evolutivo, para guiar la maduración del cerebro y el comportamiento. Es así como en los animales que son privados de oportunidades de jugar durante el período juvenil tienden a mostrar bajos niveles de comportamiento social en la edad adulta. Es más, las interacciones sociales en estos animales privados del juego tienden a ser torpes e inflexibles.

Aunque se ha demostrado que el juego induce una actividad coordinada entre varias regiones del cerebro en animales juveniles, la amígdala, el tálamo y la corteza prefrontal, el papel exacto que desempeña en el desarrollo de estos circuitos no está claro. Sin embargo, es interesante observar que hay pruebas relativamente recientes que sugieren que el juego puede inducir modificaciones en el desarrollo de las dendritas dentro de la corteza prefrontal medial que las hacen más maleables a una variedad de experiencias (tanto sociales como no sociales) con las que nos encontraremos posteriormente en la vida adulta.

Juego y aprendizaje

El juego no es un hecho aislado, es una actividad natural, libre y espontánea del niño o niña, ya que en el momento que se le presenta la oportunidad de hacerlo, él o ella sin dudar, se hacen participe, poniendo de manifiesto su conducta social, física y cognitiva con sus iguales.

Las investigaciones son consistentes al señalar que el ejercicio físico podría activar mecanismos epigenéticos de regulación para incrementar la disponibilidad del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) que es fundamental en la regulación del estado de ánimo y, en especial, para reducir el estrés, la ansiedad, la depresión. Esto permitiría estimular el aprendizaje y la memoria, producto de la plasticidad sináptica del hipocampo, estructura donde se expresa el BDNF en mayor proporción.

Además, el ejercicio activa los genes anti-envejecimiento y la función inmunitaria y, a nivel neuroquímico, incrementa la liberación de serotonina, noradrenalina y acetilcolina, entre otros neurotransmisores implicados en la regulación del estado de ánimo, los niveles de ansiedad, y en la calidad de los procesos de atención y memoria.

Cuando los cuerpos aprenden

Cuando alguien se especializa en alguna actividad física se activan más regiones sensoriales y motoras del cerebro cuando él o ella observa ejecuciones de movimientos que ellos mismos han practicado rutinariamente. Estos resultados se explicarían por la existencia de neuronas espejo, que nos permite vincular acciones ajenas con las propias y que podemos comprenderlas a través de una simulación motora.

Todo lo anterior tiene enormes implicaciones educativas. Por ejemplo, en una reciente investigación se comprobó que la comprensión de ciertas magnitudes físicas, se facilita con la activación de regiones sensoriales y motoras debido a la manipulación de objetos, y era menor cuando los estudiantes solo observaban la acción⁵⁷.

A pesar que todos estos estudios sugieren es que el aprendizaje es un proceso activo, el enfoque tradicional en el que los estudiantes pasan la mayor parte de su tiempo recibiendo información visual y auditiva, en una situación pasiva. Esto no es la mejor forma para optimizar su aprendizaje, ni es lo que está en consonancia con lo que sabemos sobre el funcionamiento del cerebro.

Educación actual...

Uno de los argumentos que demanda un cambio en la forma de plantear y ejercer la enseñanza es que la educación tradicional se ha enfocado en materias cognitivo-lingüísticas como las matemáticas y los idiomas, y ha relegado el deporte y las artes, en especial la danza, a un segundo plano. Este sistema educativo ha llevado a un profundo desapego del cuerpo y por lo tanto a una amnesia sensorio-motriz generalizada.

⁵⁷ KONTRA C. ET AL. (2015): "Physical experience enhances science learning". *Psychological Science* 26(6), 737-749.

Robert Levy, citado por Hanley,⁵⁸ sostiene que la inteligencia amodal ha sido hipercognizada, es decir, excesivamente teorizada y elaborada y, cuando esto ocurre, otros procesos cognitivos son hipocognizados o poco elaborados y relegados al ámbito de lo privado. Las materias hipocognizadas son fáciles de distinguir pues el común de la sociedad no posee el argot necesario para hablar de estas disciplinas con precisión. Por estos motivos, en el campo de la educación superior, caracterizado por el exceso cognitivo, resulta necesario dirigir la mirada hacia las habilidades somáticas y las emocionales, que favorecen la creatividad, la gestión emocional, la interacción social y la autoconciencia – integración cuerpo y mente–, en definitiva, incentivan el aprendizaje autónomo

⁵⁸ HANLEY, M. (2014). Dance and Embodied Intelligence. *Journal of Emerging Dance Scholarship*, 1-20.

CAPÍTULO 9

CREATIVIDAD

La creatividad solo podrá germinar
cuando la semilla y el suelo fértil sean
cómplices... cada uno una causa y cada
uno un efecto.

EL AUTOR

INTRODUCCIÓN

En nacimiento de un nuevo integrante a nuestra sociedad implica necesariamente un encuentro y un sin fin de descubrimientos, bañarse de un mundo de nuevas experiencias. El niño aparece ahí dispuesto a recibir todo lo que le dé ese nuevo mundo, una infinidad de estímulos que llenan sus sentidos y construyen experiencias. Ante sus ojos, está una realidad en una constante dualidad (destrucción y construcción), en toda su grandeza y complejidad. En esa dinámica realidad, que nace y muere con nuevas experiencias, subyacen las memorias que se han heredado de los ancestros, un mundo que define su linaje, herencias transmitidas por su familia, desde el lugar que ésta socialmente ha ocupado.

En aquella dinámica construcción de realidades, existe una enormidad de factores que se incorporan como referentes, guías que permiten modificar las realidades a modo de mapas en constante remodelamiento que guían el viaje del niño explorador. Sin embargo, debemos tener claro que es en la familia donde el niño encuentra sus primeros referentes, aunque casi siempre modificados o fortalecidos a través de la expe-

riencia, diríamos mediante un formato empírico. Y una vez nacido, la lactancia materna comienza a fortalecer las conexiones neuronales que, de acuerdo a las memorias y herencias inter/transgeneracionales, permitirán mejores respuestas adaptativas a los estímulos y retos que le depara ese mundo con el que está comenzando a dialogar.

Desde el mismo momento de la formación del cigoto, los estímulos recibidos *in útero* y los aportados por la lactancia materna, marcarán de una u otra forma la capacidad que el niño tendrá para afrontar con éxito los retos propios de la vida, retos que muchas veces requieren soluciones novedosas, pensamientos divergentes y creativos. Es aquí donde encontramos las bases de la futura creatividad, en nuestros propios orígenes, en nuestros primeros pasos.

CREATIVIDAD

Una de las principales dificultades al abordar el tema de la creatividad es justamente la propia creatividad, dada la infinidad de definiciones que encontramos en la literatura. Igualmente, dificulta el análisis la existencia de otros numerosos términos que han sido utilizados como sinónimos de creatividad, a saber: “inventiva”, “originalidad”, “imaginación constructiva” o “pensamiento divergente”.

Tenemos muchas definiciones operativas de creatividad, pero no una definición conceptual. Es decir, sabemos los efectos de la creatividad pero no lo que es creatividad en sí. Podemos describirla pero aún no podemos explicarla. Sin embargo, a pesar de esta telaraña conceptual, necesitamos construir un camino más o menos recto, un marco conceptual sobre el cual podamos formular una problemática sobre la cual poder trabajar para proponer esa definición conceptual que aún no tenemos. En este sentido, me parece acertado y me atrevo a señalar como formuló A. Einstein que *“La formulación de un problema es frecuentemente más esencial que su solución, que puede ser tan solo un asunto de destreza matemática o experimental. Plantearse nuevas cuestiones, nuevas posibilidades, ver viejos problemas desde un nuevo ángulo, requiere una imaginación creadora y marca un avance real en la ciencia”*.

Como una forma de abordar esta problemática, destacaría, por su carácter sintético, la aproximación conceptual de F. J. Corbalán-Berná para quien la creatividad es entendida como la *“capacidad de utilizar conocimientos e informaciones de forma novedosa, y de hallar soluciones divergentes a los problemas”*.

Por lo anterior, creo que el principal problema, que dificulta lograr una definición conceptual amplia y a la vez objetiva, subyace en la enorme complejidad del concepto mismo. La creatividad parece estar influida por una enor-

me variedad de factores entre los que encontramos experiencias ontogénicas, inter/transgeneracionales, memorias y estímulos biopsicosociales, entre otros, que impactan de maneras diferentes, generando una diversidad de resultados que, además, dependen de variables tanto espaciales como temporales.

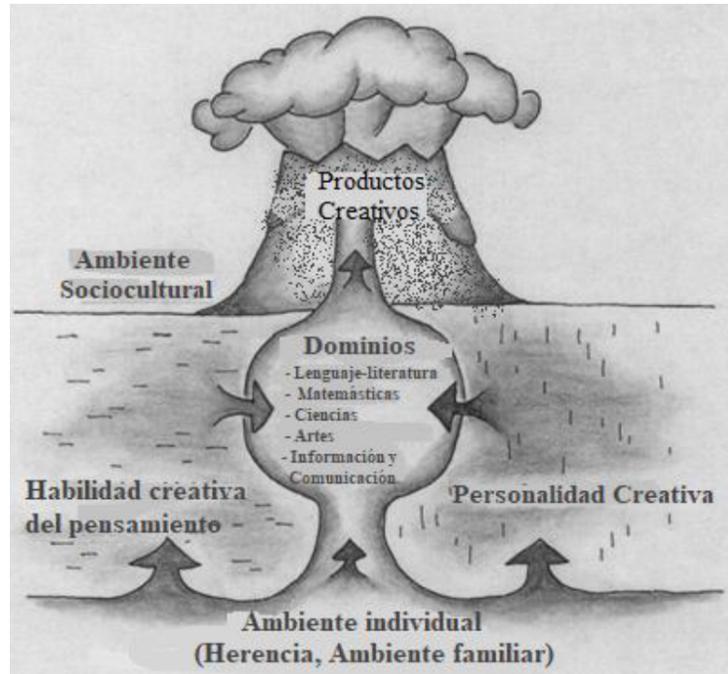
Así, se puede afirmar que la creatividad correspondería a la capacidad que poseen las personas para generar ideas originales (divergentes) y, a partir de éstas, originar nuevas herramientas, sin olvidar, como se ha indicado anteriormente, el contexto biopsicosocial donde se desenvuelven las personas, las cuales, en definitiva, comportan la expansión de los campos conceptuales y estéticos tanto existentes como pre-existentes. Es decir, es a través del pensamiento divergente que la creatividad puede plasmarse tanto en descubrimientos, como en la invención de objetos y técnicas que no existían.

Siguiendo este camino, encontramos a Lee y Lee, quienes propusieron en 2002 el modelo del Volcán de la creatividad.⁵⁹ En éste se establece la existencia de un piso desde el cual nace la creatividad conformado por las características heredadas más el ambiente familiar, que afectan esa “personalidad creativa” o la habilidad de pensamiento divergente. Entre los factores que sustentan la actividad creativa también se con-

⁵⁹ LEE, S. D. & LEE, K.W. (2002). Integrated Initiative Test Manual. Seoul: Hakmoonsa.

sidera el ambiente sociocultural ver figura siguiente pagina. Es así como los elementos familiares corresponden al primer grupo de interacción social y de acuerdo con sus características ésta estimula o no la capacidad soñadora y creativa de los niños. En este punto resulta de suma importancia la entrada del niño al colegio, dado que es un ambiente desconocido donde el niño comienza a interactuar con sus pares (que poseen historias de vida diferentes) y con adultos que suelen tener visiones de vida muchas veces diferentes a las suyas, lo que obliga al niño a observar y reconocer situaciones novedosa, y a enfrentarse a problemas para él novedosos. Esto último es de enorme importante, dado que el niño está frente a problemáticas que no había vivido con anterioridad y debe buscar soluciones a partir de su historia (memorias y experiencias). Esto último debería obligar al sistema educativo a incorporar metodologías que favorezcan el pensamiento divergente, el descubrimiento y la búsqueda de alternativas para la solución de problemas nuevos, sin penalizar el error y estimular la reformulación de soluciones, para potenciar la creación de miradas diferentes a problemas similares.⁶⁰

⁶⁰ VELÁSQUEZ, B. M., REMOLINA, C. N. & CALLE, M. G. (2010). La creatividad como práctica para el desarrollo del cerebro total. *Tabla Rasa*, 13, Julio-Diciembre, 321-338.



Modelo del Volcán de la creatividad.

A modo de antecedentes, algunos investigadores han señalado que la capacidad creativa se desarrolla desde la infancia y evoluciona paulatinamente con la edad, principalmente a través de cambios cualitativos.⁶¹ Similarmente, otros estudios han constatado que las creaciones pictóricas de los estudiantes de 12 años se caracterizan por ser más originales, elaboradas y con

⁶¹ ARTOLA, T., SÁNCHEZ., BARRACA, J., N., ANCILLO, I., MONASTERIO, P. & POVEDA, B. (2010b). Evolución de la creatividad a lo largo del ciclo vital: ¿Disminuye el pensamiento divergente con la edad? Recuperado de www.isabelancillo.com/app/download/11229889/edad+y+creatividad.pdf

ideas poco convencionales en comparación con las realizadas por los niños de menor edad.⁶² Por otro lado, Chacón y Moncada en 2006 observaron que existe una relación positiva y significativa entre la edad y la creatividad. Sin embargo, se debe dejar en claro que la edad por sí misma no es una razón suficiente para explicar los diferentes ritmos de producción de los individuos, ya que existen factores contextuales y personales que permean el pensamiento creativo.⁶³

Desde un punto más general, la creatividad parece ser una capacidad propia de los animales, que permite “encontrar” soluciones novedosas a partir de otras ya conocidas (existentes). En el caso del ser humano, diríamos que la creatividad se manifiesta como una expansión de lo ya conocido al lograr modificar los planteamientos o puntos de vista habituales. Visto así, la creatividad, al menos en el caso del ser humano, subyace tanto en los conocimientos anteriores (que pueden ser académicos/formales o producto de la experiencia/informales) como en las variables biológicas de cada persona (polimorfismos tanto genéticos como epigenéticos) y tiene importancia desde el punto de vista adaptativo y por ende evolutivo. Es decir, creo que deberíamos entender la creatividad como la

⁶² ALFONSO, V., CANTERO, M. J. & MELERO, R. (2009). Creatividad, autoestima y adaptación social en alumnos de primaria. *Revista Recrearte*, 11(1), 1-12

⁶³ CHACÓN, A. Y. & MONCADA, J. J. (2006). Relación entre personalidad y creatividad en estudiantes de educación física. *Actualidades investigativas en Educación*, 6(1), 1-19.

capacidad de creación de nuevas formas de enfrentar los retos que impone un ambiente cambiante, y por ello no puede ser desligada de las capacidades cognitivas del individuo.

ACTIVIDAD CEREBRAL Y CREATIVIDAD

Los estudios sobre la relación entre el pensamiento creativo y la estructura y la dinámica del cerebro crece a pasos de gigantes. Es así como la producción de revisiones sistemáticas, libros editados y números especiales dedicados al tema crece año a año. También la investigación de la creatividad en neurociencia ha comenzado a revelar la estructura y la dinámica de la red que sustenta los complejos mecanismos del cerebro creativo. En este punto, debemos tener claro que ninguna región del cerebro puede soportar una tarea cognitiva por sí misma. Además, que las diferentes estructuras de nuestro cerebro van poco a poco develando sus intrincadas relaciones con otras partes del cerebro y de sus novedosas funciones que ayer ignorábamos.

Y si tenemos la convicción que la creatividad y el pensamiento divergente se apoyan en nuestras memorias y nuestras experiencias, bien podríamos preguntarnos si estructuras como el hipocampo pudiesen ser relevantes para la creatividad. Por ello, quizás una primera pregunta sería ¿qué hace el hipocampo?, y podríamos responder que es importante para la memoria, y tal

vez podrían especificar que es crítico para la memoria episódica (recordar eventos pasados experimentados personalmente) pero no para la memoria implícita (no consciente) o para la memoria de trabajo (mantener brevemente la información en línea). Sin embargo esto está cambiando dado que ahora hay abundantes pruebas de que el hipocampo no solo está implicado en la memoria episódica sino también en la memoria implícita y la memoria de trabajo.⁶⁴ En consecuencia, muchos investigadores piensan que el hipocampo no es una región clave de un sistema de memoria sino un componente que media en una operación cognitiva específica, que puede ser reclutado por tareas tradicionalmente asociadas a diferentes sistemas de memoria si las tareas requieren esa operación específica. Así, al parecer, la función principal del hipocampo sería asociar diferentes tipos de información.

Un segundo avance importante en nuestra conceptualización de la función del hipocampo es la evidencia de que el hipocampo, en colaboración con otras áreas del cerebro, no solo sirve para recordar eventos pasados sino también para imaginar eventos futuros.⁶⁵ Esta expansión de las funciones del hipocampo sigue estando den-

⁶⁴ M. MOSCOVITCH, R. CABEZA, G. WINOCUR, L. NADEL, Episodic memory and beyond: The hippocampus and neocortex in transformation. *Annu. Rev. Psychol.* 67, 105–134 (2016)

⁶⁵ D. L. SCHACTER, R. G. BENOIT, K. K. SZPUNAR. Episodic future thinking: Mechanisms and functions. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 17, 41–50 (2017).

tro del dominio de la memoria, porque imaginar eventos futuros consiste principalmente en recombinar fragmentos de recuerdos.⁶⁶

La extensión de las funciones del hipocampo y su red en el ámbito de la creatividad es la manifestación del trabajo de muchos investigadores que se han centrado en una forma particular de creatividad llamada pensamiento divergente, que se refiere a la capacidad de generar ideas creativas combinando diversos tipos de información de formas novedosas. Así por ejemplo, se descubrió que, si se entrena a los participantes para que recuerden detalles específicos de una experiencia reciente, se mejora el rendimiento del pensamiento divergente, lo que sugiere que esta forma de creatividad implica la memoria episódica.⁶⁷

Por otro lado, tenemos los trabajos de redes neuronales, que estudian la activación de diferentes redes. Al respecto podemos señalar que el conectoma neuronal puede diferenciarse en una red neuronal por defecto, que se utiliza cuando el cerebro está imaginando; una segunda red de control ejecutivo, que se activa para tomar decisiones; y una tercera red de promi-

⁶⁶ D. L. SCHACTER, D. R. ADDIS. The cognitive neuroscience of constructive memory: Remembering the past and imagining the future. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 362, 773–786 (2007)

⁶⁷ K. P. MADORE, K. K. SZPUNAR, D. R. ADDIS, D. L. SCHACTER. Episodic specificity induction impacts activity in a core brain network during construction of imagined future experiences. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113, 10696–10701 (2016).

nencia, utilizada para discernir la importancia de una cosa y que funciona como un interruptor entre las otras dos redes. Los resultados obtenidos permiten concluir que la red de prominencia tiene una función clave para alternar entre el mecanismo de generación de ideas y el de evaluación de las mismas. Es importante señalar que estas redes normalmente no se activan al mismo tiempo. Así por ejemplo, cuando se activa la red de control ejecutivo, la red neuronal por defecto se desactiva. Sin embargo, al parecer, las personas más creativas tienen una mayor habilidad para co-activar redes neuronales que habitualmente trabajan por separado. Al parecer, un *cerebro creativo* es aquel que es capaz de activar en paralelo varios circuitos cerebrales y cuyas conexiones son más fuertes.

CONCLUSIÓN

Si hay algo que merece destacarse de los estudios realizados en neurociencias, es que la creatividad no está asociada a una región concreta del cerebro. Más bien diríamos, la creatividad nace como el resultado de la interacción de sistemas neuronales ampliamente distribuidos en el cerebro. Además, cabe señalar que la creatividad involucra regiones del cerebro que están relacionadas con la toma de decisiones, la percepción, la memoria, la atención y las emociones, entre otras. Destaca, además, el hecho que estas regiones no participan de manera exclusiva en este tipo de tareas sino que son resultado

de la acción integrada de procesos cognitivos y afectivos que participan en otras numerosas actividades.

Finalmente, podríamos afirmar que de creatividad humana aún queda mucho por descubrir, una caja llena de incertidumbres aún por abrir y que en ella subyacen todas nuestras memorias y experiencias desde el mismo momento de nuestra concepción.

CAPÍTULO 10

A MODO DE CONCLUSIÓN

El que aprende y aprende y no practica lo que sabe,
es como el que ara y ara y nunca siembra.

PLATÓN.

El cerebro presenta en su desarrollo distintas fases que podríamos llamar etapas claves, a saber:

- ⇒ la etapa intrauterina,
- ⇒ la infancia,
- ⇒ la adolescencia y
- ⇒ la juventud hasta aproximadamente los 20 años de edad.

En esas etapas, los genes se expresan y, mediante la plasticidad cerebral y un ambiente facilitador y positivo, se desarrollan redes neuronales ricas en sinapsis, donde la corteza cerebral se comporta como el director de orquesta, encargada de la activación cognitiva, la inhibición de la impulsividad, la dirección de la atención, el control emocional, la planificación y organización de las metas, el mantenimiento de la acción, la flexibilidad cognitiva, la memoria operativa y la metacognición. Por ello, es fundamental tener presente los posibles impactos que pudieran tener las acciones tanto de los padres como las de los educadores sobre el desarrollo de niños y niñas en su largo proceso de crecimiento.

En general, todos los trabajos sobre la plasticidad de las cortezas sensoriales han introducido la idea de que la estructura del cerebro, aún en la corteza sensorial, es única para cada persona y depende de la historia experiencial individual. El ambiente, a través de sus diferentes estímulos, influye en la expresión genética en nuestras neuronas, afectando con ello nuestro desarrollo cognitivo. Sin embargo, la forma en que lo modifica está, en parte, determinada por las experiencias previas de cada persona. Dicho de otra manera, las transformaciones dependen de cambios anteriores, una metamorfosis en una espiral espacio-tiempo continua. Así, lo que nosotros pensamos usualmente de lo que es la “memoria” se refiere a la forma en la cual los sucesos pueden influir en el cerebro, en la percepción y en su actividad futura.

La comunicación entre las neuronas es de suma importancia, ya que ésta puede determinar la *inteligencia*⁶⁸ o desarrollo cognitivo que podemos alcanzar a lo largo de nuestra vida. Es en este contexto, que debemos considerar la *inteligencia* no como una cantidad fija, sino como una función de la experiencia, en la que la mediación por otras personas resulta del todo fundamental, así como todo estímulo del entorno biopsicosocial en el que nos desenvolvemos. En definitiva, esto transforma a la persona, modifi-

⁶⁸ Dejo en claro que defino inteligencia como una acción, más que una condición propia de la persona. Es decir, responde a memorias inter o transgeneracionales, que actúan a modo de respuestas adaptativas predictivas, moldeadas y remodeladas epigenéticamente.

cando la comunicación interneuronal y con ello la forma en la que se relacionará con su entorno. Una relación dinámica, continua y cambiante.

Visto así, el aprendizaje no tiene sentido si no es a la luz de su coherencia con el vivir relaciones de identidad con el entorno. En este sentido, cada niño o niña es un universo lleno de herencias, experiencias y sueños. No existen niñas o niños promedio. Por ello es extrañamente sorprendente que la educación y las evaluaciones han estado contruidos en base a personas promedio, donde las estadísticas se han transformado en la “verdad” y, a la vez, en una castroante realidad.

Para finalizar

Como dice un viejo proverbio:

“Siembra un pensamiento, cosecha una acción; siembra una acción, cosecha un hábito; siembra un hábito, cosecha un carácter; siembra un carácter, cosecha un destino”

Queda claro que el papel de la familia, de los educadores, de las instituciones educacionales y del gobierno se hacen protagónicos y muchas veces decisivos para quienes están siendo formados. Es fundamental entregar a niñas y niños las diferentes herramientas que les permita librar una “*batalla interior*” en torno al autocontrol, el manejo del estrés y el control emocional.

En cada época hay un punto de inflexión, una nueva forma de ver y reivindicar la coherencia del mundo y del ser humano. El futuro de la salud y de la educación/aprendizajes se discute hoy en el contexto de las influencias de las relaciones biopsicosociales y de las marcas epigenéticas que se dan durante todo el curso de la vida y las vivencias de cada persona, en especial en su primera infancia.

Como dijo Lord Byron:

"Es extraño, pero es verdad, porque la verdad es siempre extraña, más extraña que la ficción".

Y es verdad, los cambios que estamos observando son solo la punta del iceberg de un proceso lleno de transformaciones. Podemos afirmar que nos encontramos en una época donde están (re)emergiendo nuevos paradigmas, que permitirán ampliar la visión reduccionista del ser humano, su educación/aprendizajes, de su salud y sus relaciones con su entorno, que es su universo.

Finalmente, a diferencia de lo que afirmó Plutarco, el cerebro no es una lámpara por encender, ella ya está encendida antes del nacimiento, iluminando en la oscuridad mucho antes de nuestro nacimiento. Sin embargo, esta luz es tenue e ilumina débilmente hacia todos lados... una frágil luciérnaga que, alborotada, vuela sin rumbo fijo. En este escenario, la educación se convierte en la herramienta que,

usada correctamente, cataliza el aprendizaje, apaciguando el vuelo de la luciérnaga y permitiendo dirigir su luz policromática y ancestral hacia los lugares correctos, revelando los misterios que se ocultan en la oscuridad.

ANEXO I
RESILIENCIA
UNA CONSTRUCCIÓN
MULTIDIMENSIONAL

“La infancia es a veces un paraíso perdido, pero otras,
es un infierno de mierda”.

MARIO BENEDETTI

La resiliencia (resistencia) podría ser definida como aquello que nos permite responder adaptativamente a situaciones percibidas como adversas, logrando resultados que podríamos calificar como buenos.⁶⁹ Esta capacidad no confiere inmunidad sino más bien corresponde a la capacidad de recuperarnos cuando vivimos experiencias catalogadas como adversas (un amortiguador que nos permite vivir mientras se viaja por un camino pedregoso). Es la capacidad de crecer y desarrollarnos en contextos difíciles y lograr salir airosos.⁷⁰

No cabe duda que la resiliencia es una construcción multidimensional y su conceptualización incluye una variedad de elementos que van desde características internas (heredadas o adquiridas durante la propia vida) hasta factores externos (ambientales) que forman parte de nuestro ambioma. Las condicionantes internas pueden modificar la resiliencia (resistencia al estrés) y entre ellas encontramos los polimor-

⁶⁹ RUTTER, M. 2007. Resilience, competence and coping. *Child Abuse Negl.* 31:205-9.

⁷⁰ ALDWIN, C. M. 2007. *Stress, coping and development*, 2nd Ed. London: The Guilford Press.

fismos genéticos, los que pueden hacer que una persona sea mucho más reactiva a determinadas situaciones adversas. Es así como los estudios en el campo de la genética han permitido identificar varios polimorfismos que parecen estar implicados con la mayor o menor resistencia al estrés. Uno de ellos se ubica en el gen que codifica al transportador de serotonina (5HT), el gen 5HTT.⁷¹ Concretamente, se ha implicado un po-

⁷¹ Uno de los factores más destacados en la etiología biológica y las vías patológicas del trastorno depresivo mayor ha sido el transportador de serotonina, el 5-HTT. De hecho, muchos medicamentos antidepresivos actuales ejercen su efecto aquí. El transportador regula la concentración de serotonina en el espacio sináptico, siendo esencial para la regulación del estado de ánimo. El gen codifica la proteína transportadora de serotonina en las neuronas presinápticas y se encuentra en el brazo largo del cromosoma 17 humano (17q11-12). El polimorfismo de inserción/eliminación (in/del) de 44 pb en la región de control de la transcripción ha sido uno de los más estudiados en el gen 5-HTT. Este polimorfismo da como resultado dos variantes de diferente tamaño y actividad: El alelo largo (L) con 16 repeticiones, y el alelo corto (S), contiene 14. Cada individuo puede ser portador de una de las dos combinaciones homocigóticas, LL, SS, o una combinación heterocigótica, SL. En las células humanas, el alelo S reduce la actividad del transportador, lo que disminuye los niveles de ARN mensajero y la expresión del 5-HTT presináptico. Se ha descubierto que las células LL pueden producir niveles de ARN mensajero para 5-HTT de 1,4 a 1,7 veces mayores que los del alelo corto. A su vez, la variante LL de 5-HTT es capaz de remover de la hendidura sináptica de 1,9 a 2,2 veces más serotonina que las variantes SS o SL. El alelo corto produce niveles más bajos de transcripción del transporta-

limorfismo en la región promotora de este gen (5HTTLPR) conocido como alelo corto (S) como factor de riesgo genético para la escasa resiliencia al estrés, de modo que esta variante (S) produce un transportador de serotonina menos eficiente en el transporte de serotonina que la variante del larga del gen (L). La variante S confiere un mayor riesgo de depresión y sensibilidad a la ansiedad, cuando uno se enfrenta a acontecimientos vitales estresantes (incluidos los traumas). De esta manera, existe una variable muy importante a considerar al momento de hablar de resiliencia, que nos obliga a estudiar los polimorfismos genéticos de las personas, una suerte de Resigenética,⁷² que permita una evaluación personalizada.

Ahora bien, independiente de poseer una mayor o menor resistencia genética a los eventos estresores, el vivir tempranamente situaciones adversas puede dar lugar a alteraciones persistentes de la respuesta de estrés fisiológico, debido a modificaciones de naturaleza epigenética. Los resultados actuales permiten afirmar que la exposición prenatal y perinatal a eventos estresores puede influir en las pautas de expresión de diferentes genes mediante la metilación de de-

dor, lo que lo ha asociado con un mayor riesgo de trastornos del estado de ánimo bipolares y unipolares.

⁷² La Resigenética la defino como una rama de la genómica del estrés, que tiene como objetivo estudiar como las distintas variantes genéticas de las personas influyen en la capacidad de afrontar diferentes situaciones adversas y las enfermedades asociadas a ésta.

terminadas regiones del ADN, en la que la adición de un grupo metilo a los sitios CpG en la región promotora de un gen puede disminuir o aumentar la expresión del gen. Un ejemplo muy estudiado corresponde al gen NR3C1, que codifica para el receptor de glucocorticoides (GR). Cuando la región promotora de NR3C1 se encuentra metilada, se observa un aumento de la respuesta al estrés en la infancia, la cual está medida por una mayor reactividad al cortisol. Por otro lado, se ha evidenciado que la lactancia materna, como sustituto de la atención materna, se relaciona con una disminución de la metilación del ADN de NR3C1 y una disminución de la reactividad al cortisol en lactantes de 4 y 5 meses de edad (recordemos que la leche materna es un vector de elementos de naturaleza epigenética, que pueden modificar el metiloma de ciertas áreas del cerebro del lactante).⁷³

Otra variable importante a considerar corresponde al momento ontogénico en el cual uno se enfrenta a un evento traumático, así como también nuestro sexo (género). Existen muchas hormonas que actúan modificando las marcas epigenéticas en diversas áreas del cerebro. Algunas participan en la modificación de nuestros cerebros, siendo en parte responsables de la existencia de cerebros masculinos y femeninos con perfiles epigenéticos únicos y de sen-

⁷³ <https://www.linkedin.com/pulse/lactancia-materna-nada-mejor-para-iniciar-el-camino-hidalgo-o-phd/>

sibilidades igualmente diferentes.⁷⁴ Es interesante señalar que existen estudios que vinculan a la pubertad con cambios en la metilación del ADN en el hipotálamo, lo que indica que las múltiples ondas de exposición hormonal probablemente contribuyen a los perfiles epigenéticos y conductuales de los adultos y el sexo de éstos. Dadas las interacciones entre la epigenética y las hormonas sexuales, tal vez no sea sorprendente que algunas pruebas indiquen ahora que el mismo factor epigenético puede tener efectos funcionalmente distintos en hombres y mujeres. Por

⁷⁴ Las hormonas sexuales actúan en todo el cerebro de hombres y mujeres, pueden actuar a través de muchos procesos celulares y moleculares que alteran la estructura y función de los sistemas neurales e influyen en el comportamiento, además de proporcionar neuroprotección. Dentro de las neuronas, los receptores de hormonas sexuales se encuentran en los núcleos y también se localizan cerca de las membranas, donde se asocian con terminales presinápticos, mitocondrias y densidades postsinápticas. Los receptores de hormonas sexuales también se encuentran en las células gliales. Muchas funciones neuronales y de comportamiento se ven afectadas, incluyendo el estado de ánimo, la función cognitiva, la regulación de la presión sanguínea, la coordinación motora, el dolor y la sensibilidad a los opiáceos. Existen sutiles diferencias de sexo para muchas de estas funciones que están programadas en el desarrollo por las hormonas y por factores genéticos aún no definidos con precisión, incluyendo el genoma mitocondrial. Estas diferencias entre los sexos y las respuestas a las hormonas sexuales en las regiones del cerebro, que influyen en funciones que antes no se consideraban sujetas a tales diferencias.

ejemplo, en ratones, la exposición al estrés produce perfiles epigenéticos y transcripcionales distintos entre en los machos y hembras.

Para finalizar, debemos comenzar a preguntarnos respecto del impacto de la herencia epigenética inter/transgeneracional en la resiliencia de la descendencia... Nueva evidencia apunta hacia la transmisión inter/transgeneracional de la vulnerabilidad al estrés. Y en este contexto, la resiliencia puede amortiguar la transmisión del estrés hacia la descendencia. Por ejemplo, los estudios sugieren que las relaciones sanas, tanto entre padres e hijos como entre éstos y sus familias y grupos de compañeros, protegen contra la perpetuación generacional del estrés. Las relaciones de apoyo y confianza entre padres y madres, los altos niveles de calidez materna hacia los niños rompe el ciclo de abuso en mujeres que fueron maltratadas cuando eran niñas.

Parece que las soluciones a los futuros problemas de estrés y la poca capacidad resiliente podrían, en gran medida, lograrse estableciendo relaciones seguras, estables y enriquecedoras... Para permitir a futuro amortiguar la continuidad intergeneracional, por ejemplo, del maltrato infantil.

ANEXO II
JORNADA INTERNACIONAL
APRENDIZAJE, EDUCACIÓN Y
NEUROCIENCIAS

El objetivo principal de la educación es crear personas capaces de hacer cosas nuevas, y no simplemente repetir lo que otras generaciones hicieron.

JEAN PIAGET

Es necesario, lo creo con firmeza, reconocer los esfuerzos que día a día se hacen con la esperanza de crear nuevas oportunidades para la formación de mejores personas y para la construcción de sociedades más justas, donde el sentido de pertenencia sea ya no una meta sino una realidad. En este sentido, un reconocimiento que no puedo dejar pasar es al profesor Sergio Mora,⁷⁵ académico de la Universidad de Chile que con entereza y contra las habituales oposiciones, ha logrado consolidar la Jornada Internacional Aprendizaje, Educación y Neurociencias, que ya ha vivido su versión XIII (2020).

La Jornada Internacional Aprendizaje, Educación y Neurociencias tiene como motor el difundir los principios fundamentales de las neurociencias entre los docentes de todos los niveles, como una manera de contribuir a la mejora de la calidad de la educación, a través del

⁷⁵ El profesor Sergio Mora, durante más de 40 años se ha dedicado a la docencia en farmacología en el área biomédica y a la investigación en farmacología del comportamiento. En los últimos 11 años su labor se ha extendido a la difusión de las neurociencias aplicadas a la educación (neurociencia educativa o neuroeducación) a través de cursos de posgrado, nivel magister, cursos de capacitación a profesores, jornadas y congresos. Además, es el creador y director de las Jornadas Internacionales de Aprendizaje, Educación y Neurociencias.

conocimiento y comprensión de cómo funciona el cerebro cuando está aprendiendo y de las condiciones en que el aprendizaje es mejor. Está dirigido a todos aquellos que participan en la tarea educativa, autoridades, profesores y estudiantes de pre y posgrado, así como público en general, interesados en mejorar la calidad del proceso educativo.

En la Jornada, año tras año, participan destacados especialistas en los campos de las neurociencias y de la educación, tanto chilenos como extranjeros.

Instancias como esta no solo deben continuar existiendo, sino que además deben estimular a otros a crear instancias complementarias a lo largo de todo el país. Espero que en un futuro próximo otros terminen la construcción de ese puente que el profesor Mora ha proyectado.

ANEXO III

CONCEPTOS CLAVE

Amígdala

De todas las estructuras subcorticales, la amígdala es la que se ha relacionado de un modo más consistente con la emoción, tanto en animales como en humanos. La identificación de la amígdala como una región relacionada con la emoción se inicia a partir de los trabajos, realizados por Klüver y Bucy. Estos estudios mostraron que tras la extirpación bilateral del lóbulo temporal anterior en estos animales provocaba reacciones de ira, miedo, mansedumbre, hiperoralidad, cambios en los hábitos alimenticios e hipersexualidad. Fue algunos años más tarde cuando se atribuyó dichos cambios a la lesión de la amígdala.

Funcionalmente, la amígdala es considerada una estructura esencial para el procesamiento emocional de las señales sensoriales, ya que recibe proyecciones de todas las áreas de asociación sensorial. Es esta convergencia de proyecciones anatómicas la que sitúa a la amígdala como la estructura responsable para la formación de asociaciones entre los estímulos y el refuerzo o el castigo. Además de las proyecciones corticales procedentes de las distintas áreas de asociación sensorial, la amígdala también recibe aferencias talámicas. Este conjunto de proyecciones, tanto talámicas como corticales, hacia la amígdala es lo que posibilita que se dote de un significado afectivo a las características estimulares. Mediante las conexiones tálamo-amigdalinas se producirá un procesamiento del significado afectivo de las características estimulares sensoriales muy simples, mientras que a través de las conexiones tálamo-corticales se produciría el procesamiento estimular complejo sin componentes afectivos. Por el contrario, mediante las conexiones córtico-amigdalinas se dota a la información compleja, elaborada en corteza, del componente emocional. El orden temporal en el que tiene lugar la activación de cada una de estas proyecciones es diferente, sugi-

riéndose que puesto que la vía tálamo-amigdalina es más corta y se activa antes que la tálamo-cortical, las características estimulares más simples activarían previamente los circuitos emocionales amigdalinos, preparando a esta estructura para recibir la información más compleja y elaborada procedente de la corteza y, entonces, dotarla de su componente emocional.

Epigenética

La epigenética significa literalmente "sobre la genética". Se define como el estudio de mecanismos o vías que inician y mantienen patrones hereditarios de expresión génica y función genética sin cambiar la secuencia del ADN. En paralelo al término "genoma" que define el conjunto completo de información genética contenida en el ADN de un organismo, "epigenoma" generalmente se refiere al conjunto completo de características de las vías epigenéticas en un organismo. Los investigadores han identificado una serie de vías epigenéticas, como la metilación del ADN y las modificaciones de las histonas (ver más abajo). El epigenoma puede considerarse como un segundo código superpuesto sobre el código de secuencia de ADN del genoma. Si bien cada organismo tiene un solo genoma, el mismo individuo tiene múltiples epigenomas, que pueden diferir según el tipo de tejido y célula, y que pueden cambiar a lo largo de la vida del organismo.

El papel de los mecanismos moleculares epigenéticos en la regulación de la función del SNC es una de las áreas más interesantes de la neurociencia molecular contemporánea. Este campo emergente, referido de diversas maneras por neologismos como la epigenética conductual o la neuroepigenética, está siendo impulsado por cambios en nuestra comprensión de varios de los conceptos fundamentales de la epigenética tradicional y

la neurobiología cognitiva. Estos cambios en el punto de vista se pueden clasificar de manera amplia en dos dominios: primero, ¿cómo difieren las neuroepigenéticas de las epigenéticas del desarrollo definidas tradicionalmente? y segundo, ¿cuál es el impacto de la epigenética en el debate histórico de "Naturaleza versus crianza"?

Hipocampo

El hipocampo es un componente importante de los cerebros de los humanos y otros mamíferos. Pertenece al sistema límbico y desempeña funciones importantes en la memoria a largo plazo y la navegación espacial. Al igual que la corteza cerebral, con la cual está estrechamente asociada, es una estructura pareada, con mitades de imagen especular en los lados izquierdo y derecho del cerebro. En los humanos y otros primates, el hipocampo se encuentra dentro del lóbulo temporal medial, debajo de la superficie cortical.

En la enfermedad de Alzheimer, el hipocampo es una de las primeras regiones del cerebro en sufrir daños; Problemas de memoria y desorientación aparecen entre los primeros síntomas. El daño al hipocampo también puede resultar de la falta de oxígeno (hipoxia), la encefalitis o la epilepsia del lóbulo temporal medio. Las personas con grandes daños en el hipocampo pueden experimentar amnesia, la incapacidad de formar o retener nuevos recuerdos.

Metiltransferasa DNMT3a

La enzima ADN metiltransferasa 3a (DNMT3A) es codificada, en humanos, por el gen *DNMT3A*. Este gen codifica una metiltransferasa de ADN que parece actuar en la metilación *de novo* de bases Citosina. La metilación de citosinas en secuencias CpG es un tipo de modificación

epigenética muy importante en la embriogénesis, im-pronta e inactivación del cromosoma X. Muchos estudios han demostrado que la metilación del ADN es requerida en el desarrollo de los mamíferos.

Neuronas espejo

Las “neuronas espejo” constituyen un circuito neuronal que se activa tanto en la ejecución de una acción motora específica como en la observación del mismo acto u otro similar realizado por otra persona. Este sistema de observación-ejecución, descubierto en los lóbulos frontales de los monos macacos, se manifiesta tanto en la activación de la corteza motora cuando un sujeto observa a otro realizar una acción similar, como en el reconocimiento de la acción y la codificación de intenciones que subyacen al movimiento observado.

En la vida cotidiana, el ser humano atribuye sus estados mentales a sí mismo y a los demás. Esta capacidad se denomina teoría de la mente (ToM), y permite intuir las mentes de otros individuos, atribuyéndoles pensamientos e intenciones. Gracias a la ToM, una persona puede tanto comprender como anticipar el comportamiento de otra.

Resonancia magnética funcional

La resonancia magnética funcional o fMRI es una técnica que permite obtener imágenes de la actividad del cerebro mientras realiza una tarea. La fMRI no requiere inyección de sustancias, pero requiere que el sujeto se coloque en una máquina en forma de tubo que puede generar ansiedad claustrofóbica. Su tecnología utiliza un potente imán para medir los cambios en la distribución de sangre oxigenada durante y después de que el sujeto realice determinadas tareas.

La fMRI ofrece una excelente resolución espacial, ya que identifica perfectamente (hasta 1-3 mm de resolución) la zona del cerebro con mayor actividad en función de los niveles de oxígeno en sangre.

El uso de la fMRI es necesario para obtener mediciones de las partes más internas del cerebro, como por ejemplo el núcleo *acumbens*, que tiene un rol importante en el procesamiento de las emociones. Aunque la fMRI tiene sus detractores, en general se considera una de las más precisas y fiables técnicas de imagen que pueden aplicarse sobre el cerebro.

Retrotransposones

Los elementos de la clase I (TEs), también conocidos como retrotransposones, se mueven a través de la acción de intermediarios de ARN. En otras palabras, los TEs de clase I no codifican transposasas, sino que producen transcripciones de ARN y a continuación se basan en la enzima transcriptasa inversa para transcribir inversamente los ARN de nuevo a secuencias de ADN, que luego se inserta en el sitio de destino.

Hay dos tipos principales de TEs de clase I: retrotransposones LTR, que se caracterizan por la presencia de repeticiones terminales largas (LTR) en ambos extremos, y TEs no-LTR, que carecen de estas repeticiones. Tanto los LINE 1 o L1 como los genes Alu representan familias de TEs no-LTR. Los elementos L1 tienen un promedio de 6 kilobases de longitud. Por el contrario, los elementos Alu promedian solo unos pocos cientos de nucleótidos, lo que los convierte en un elemento de transposición corto intercalado o SINE. El Alu es particularmente prolífico, habiéndose originado en primates y expandido en un tiempo relativamente corto hasta tener aproximadamente 1 millón de copias por célula en los seres humanos.

El Li también es común en los seres humanos, aunque no está presente en tantas copias como Alu, pero su gran tamaño hace que este elemento constituya aproximadamente el 17% del genoma humano.

Tálamo

Clásicamente, el tálamo, ha sido considerado como una mera estación de relevo de la información sensorial hacia la corteza, puesto que en esta trayectoria todas las vías sensoriales, excepto la olfativa, pasan por tálamo. Sin embargo, ahora sabemos que el papel del tálamo está lejos de ser una simple estación de relevo. Además de las funciones sensoriales, el tálamo está implicado en numerosas funciones superiores como la atención, lenguaje, memoria y funciones ejecutivas además de en el análisis e integración de funciones motoras

Tomografía de emisión de positrones (PET)

La tomografía de emisión de positrones (PET, del inglés Positron Emission Tomography) es una técnica de diagnóstico clínico no-invasivo que permite la imagen funcional “in vivo” del metabolismo celular. Se basa en la detección de los fotones producidos en la aniquilación de los positrones y electrones.

Está bien avalada por la literatura científica donde gran cantidad de datos sugieren que la PET es superior a las técnicas convencionales de imagen (TAC y RM) en determinadas situaciones clínicas. La PET permite obtener imágenes usando compuestos biológicamente activos, sustratos, ligandos o fármacos marcados con emisores de positrones. Estos agentes marcados se administran normalmente vía intravenosa, distribuyéndose según el flujo sanguíneo y siendo asimilados independientemente de su carácter radiactivo.

Los positrones se forman durante la desintegración radiactiva de un núcleo que tiene un número excesivo de protones para alcanzar la estabilidad nuclear. Tras sucesivas colisiones, el positrón pierde su energía y cuando está prácticamente en reposo se combina (aniquila) con un electrón orbital convirtiéndose la masa de ambas partículas (electrón y positrón en reposo) en energía, generándose dos fotones, los cuales serán emitidos simultáneamente y en sentidos opuestos, pudiendo salir del organismo y ser detectados. Los radionúclidos emisores de positrones son isótopos de elementos comunes en el organismo y, en consecuencia, los más apropiados para marcar moléculas y realizar estudios in vivo.

