

Neurodesarrollo de la primera infancia

Neurodesarrollo de la primera infancia

Cintli Carbajal



Universidad Autónoma
de Querétaro

Primera edición: 2019

ISBN:

© Ediciones y Gráficos Eón, S.A. de C.V.
Av. México-Coyoacán, núm. 421
Colonia Xoco, alcaldía Benito Juárez
Ciudad de México, C.P. 03330
Tels.: 56 04 12 04 y 56 88 91 12
administracion@edicioneleon.com.mx
www.edicioneleon.com.mx

Cada capítulo de este libro fue evaluado por pares académicos, la doctora Flor de María Gamboa Solís y el maestro José María Alcalá Ochoa, miembros del Cuerpo Académico “Estudios sobre teoría y clínica psicoanalítica” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, de México.

Libro financiado con recursos PFCE-2019.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Índice

Prólogo	0
<i>Manuel Hinojosa Rodríguez</i>	
El sistema auditivo en las primeras etapas del desarrollo: aspectos anatómicos y funcionales	0
<i>Alma Janeth Moreno Aguirre</i>	
Desarrollo de la atención durante el primer año de vida	0
<i>Claudia Calipso Gutiérrez Hernández</i> <i>Elizabeth Rodríguez Santillán</i>	
Neurodesarrollo del procesamiento de rostros emocionales en el primer año de vida	0
<i>Cintli Carolina Carbajal Valenzuela</i>	
Neurodesarrollo de la memoria de trabajo	0
<i>María Luisa García Gomar</i> <i>Agustín Negrete Cortés</i>	
Bases neurales de la adquisición del lenguaje en el primer año de vida	0
<i>Gloria Avecilla-Ramírez</i>	
Neurodesarrollo y estilos parentales	0
<i>Agustín Negrete Cortés</i> <i>María Luisa García Gomar</i>	

PRÓLOGO

La presente obra aborda de manera magistral las bases neurobiológicas que subyacen al desarrollo neurológico y cognitivo en los primeros años de vida, brindando interesantes correlatos neurofisiológicos y neuroanatómicos, producto de la evolución científica que han tenido las neurociencias pediátricas en las últimas décadas. En este sentido, estudiar el devenir histórico de las neurociencias resulta apasionante y revelador, sobre todo si analizamos con detenimiento como el ser humano ha tratado de explicar el funcionamiento del sistema nervioso. Esto ha llevado a la sociedad en la época contemporánea a tratar de explicar fenómenos biológicos y conductuales desde diversas aristas, algunas sin fundamentos científicos, como el rudimentario planteamiento frenológico de Franz Joseph Gall hasta la concepción de la “bioelectricidad” descrita por Carlo Matteucci y Emil du Bois-Reymond a mediados del siglo XIX. Esta evolución se dirigió durante el último siglo a un punto de inflexión, en donde el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas y su empleo multimodal han tomado una posición privilegiada, modificando y moldeando la óptica con la cual concebimos el sistema nervioso hoy en día. Las neurociencias han adquirido madurez de la mano de técnicas moleculares, neurofisiológicas y de neuroimagen, dando pasos firmes hacia la cuantificación de procesos neurobiológicos desde etapas muy tempranas de la vida. La tendencia actual a cuantificar, estratificar y personalizar cada vez más el abordaje de un paciente, resulta ser una obligación en nuestra práctica profesional y no un “privilegio”. Permitiendo la apertura de un abanico diagnóstico para la detección de alteraciones en un espectro de severidad de leve a moderado, el cual estaba reservado solo para un segmento minoritario de casos severos. Esta direc-

10 • *Neurodesarrollo de la primera infancia*

triz adquiere especial relevancia en la valoración del paciente neonatal y pediátrico con sospecha de padecimiento neurológico, no solo por la complejidad implícita, sino debido al gran impacto que tiene la detección temprana y tratamiento oportuno en el neurodesarrollo ulterior del paciente. Los autores de esta obra han reunido de manera analítica y reflexiva los resultados de investigaciones propias y de colegas a nivel internacional con la finalidad de presentar al lector los procesos asociados a un neurodesarrollo normal en los primeros años de vida, considerando fundamental la asimilación de estas premisas para el reconocimiento de patologías y/o alteraciones en los procesos cognitivos, sensoriales y motores. De tal manera, se podrá establecer un abordaje terapéutico temprano y, por consiguiente, incidir en el neurodesarrollo a largo plazo; el objetivo siempre será modificar la evolución natural de la enfermedad.

Si el lector desea adentrarse y comprender el neurodesarrollo de la primera infancia con rigor y evidencia científica, pero a la vez con un planteamiento accesible, puedo adelantarle que se tiene en las manos una excelente opción. De manera particular, el lector podrá profundizar en el desarrollo del sistema auditivo (capítulo 1), en el desarrollo de la atención durante el primer año de vida (capítulo 2), en el neurodesarrollo de la memoria de trabajo (capítulo 3), en el procesamiento y consolidación del lenguaje en el lactante (capítulo 4), en el neurodesarrollo del procesamiento de rostros emocionales en el primer año de vida (capítulo 5), así como un interesante abordaje a los estilos parentales y su impacto en el neurodesarrollo (capítulo 6).

Dr. Manuel Hinojosa Rodríguez.
Responsable del Área de Neuroimagen de la Unidad de Investigación
en Neurodesarrollo del Instituto de Neurobiología,
UNAM campus Juriquilla, Querétaro, México.

EL SISTEMA AUDITIVO EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL DESARROLLO: ASPECTOS ANATÓMICOS Y FUNCIONALES

*Alma Jane Moreno Aguirre**

Introducción

El sistema auditivo tiene la función de la audición, la cual se define como la percepción de estímulos vibratorios de un medio elástico, ya sea sólido, líquido o gaseoso, que, captados por el oído, llevan la estimulación a las diversas estructuras de la vía auditiva hasta la corteza cerebral en donde se interpreta como sonido y se le da un significado; por lo que la audición se considera un fenómeno psicofisiológico de percepción a distancia que requiere ciertas condiciones para que se lleve a cabo (De Sebastián, 1992).

Por tanto, la audición se activa por la emisión de sonidos, que se conduce y percibe a través del sistema auditivo e informa al sistema cognitivo sobre algunos atributos de las fuentes sonoras (por ejemplo, identificación, posición en el espacio, entre otros). Por ello, se pueden considerar en este proceso dos eventos: el evento acústico (fenómeno físico) y el evento auditivo (fenómeno psicológico que se produce, en parte, como consecuencia del evento acústico). En cuanto a la audición del espacio, los neonatos presentan conductas que demuestran algún tipo de habilidad en este sentido. No obstante, es a partir de los 4 o 5 meses cuando el niño comienza a desarrollar una localización espacial más similar a la del adulto, la primera era bastante refleja (Munar, Rosselló, Mas, Morente & Quetgles, 2002).

* Profesora-Investigadora de Tiempo Completo Asociado C, Facultad de Comunicación Humana, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

De acuerdo con los estudios realizados por Fourier (siglo XVIII), se estableció que toda forma de vibración podía descomponerse en una suma de vibraciones unitarias sinusoidales simultáneas, este conocimiento lo corroboró Helmholtz (siglo XIX) para los fenómenos acústicos identificado a la unidad de medida de la intensidad del sonido como el decibel (dB) y al umbral de audibilidad mínimo como la mínima intensidad de audición que percibe el oído humano en una frecuencia determinada (Angulo, Blanco & Mateos, 2004; De Sebastián, 1992; Guerrier & Uziel, 1985).

Las frecuencias que detecta el oído humano tienen un rango específico a diferencia de otros seres vivos. Este rango permite por una parte oír sonidos en tonos muy bajos desde 20 Hertz (Hz) y detectar sonidos en tonos muy altos, hasta 20 000 Hz (Probst, Grevers & Iro, 2000). Sin embargo, es importante señalar que en ciertas frecuencias se encuentran categorizados los sonidos del habla (fonemas) de la mayoría de las lenguas orales, comprendidos en el rango entre los 125 a 8000 Hz y en intensidades entre los 20 a 60 dB. La percepción del oído humano en este rango de frecuencias e intensidades permitirá discriminar a los fonemas, requisito indispensable desde la etapa prenatal (periodo fetal) y etapa posnatal (0 a 36 meses) específicamente para la adquisición de la lengua oral como primera lengua, que favorecerá además del desarrollo en la parte comprensiva, el desarrollo de la parte expresiva denominado habla (Angulo et al., 2004; Smith Bale & White, 2005).

Es imprescindible para que exista una audición adecuada, la integridad tanto en la parte anatómica como funcional del sistema auditivo, tomando en cuenta tanto las estructuras periféricas (oído externo, oído medio y oído interno) como las estructuras centrales (nervio auditivo, tallo cerebral, tálamo y corteza cerebral temporal). Si se presenta en etapas tempranas del desarrollo un compromiso tanto en la vía auditiva periférica como central o en ambas, la audición presentará un déficit que repercutirá en la adquisición del lenguaje. La pérdida o déficit de la audición se denomina hipoacusia (Anbuhl, Uhler, Werner & Tollin, 2016; Angulo et al., 2004; De Sebastián, 1992).

De acuerdo con los valores establecidos en 1951 por la ASA (American Standard Association) y en 1964 en Ginebra por la ISO (International Standard Organization) se estableció el 0 audiométrico en dB HL (*hearing level*), en población adulta joven, por lo que la ANSI (American National Standard Institute) clasificó a la hipoacusia en: leve entre 21 a 40 dB HL; moderada entre 41 a 70 dB HL; severa entre 71 a 90 dB HL y profunda mayor a 90 dB HL. Se concluye entonces que el umbral auditivo considerado como audición normal va entre 0 a 20 dB HL; sin embargo, el umbral del oído humano durante el tercer trimestre de gestación y las primeras semanas de vida (16 semanas), será mayor hasta establecerse dentro del rango estipulado como normal en las frecuencias donde se encuentran categorizados a los fonemas (125 a 8000 Hz) alrededor del cuarto mes de gestación, por lo que no se considerará como hipoacusia debido a que es un proceso fisiológico del desarrollo en etapas tempranas del sistema auditivo (De Sebastián, 1992; Smith et al., 2005) (véase Figura 1).

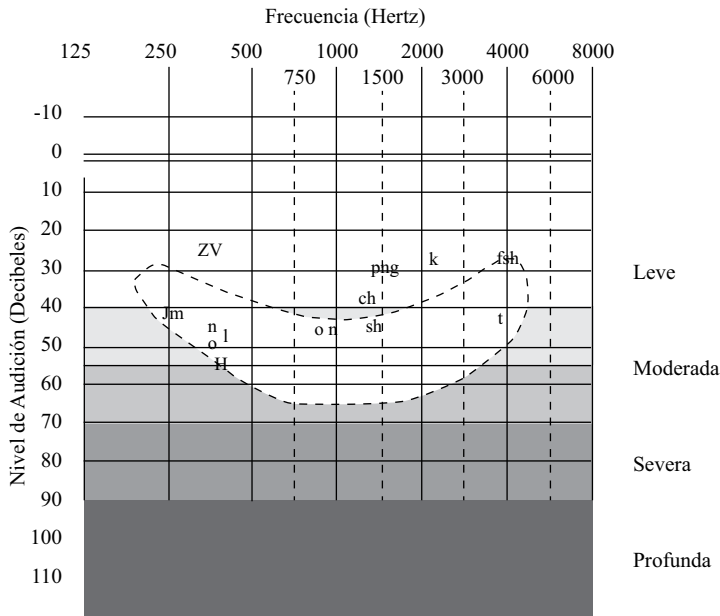


Figura 1. Audiograma que muestra el rango de frecuencias en Hertz (Hz) e intensidad en decibeles (dB) de audición normal y de los grados de hipoacusia (leve, moderada, severa y profunda). En la figura central en blanco punteada, se muestra el rango en frecuencia e intensidad para el habla (área del habla en el audiograma). Este rango es donde observamos a los fonemas, conformados por las consonantes y vocales marcadas con letras o grafías dentro del audiograma. Estos fonemas deben ser percibidos a una intensidad y frecuencia precisa para que se desarrolle el lenguaje. En general un grado de hipoacusia repercute en la comprensión y expresión de éste (Modificada de Smith et al., 2005).

El sistema auditivo humano

El sistema auditivo humano es un conjunto de estructuras que funcionan de manera compleja para que se dé el fenómeno de la audición. Inicia su desarrollo anatómico (estructural) en el periodo embrionario hasta la etapa de la infancia tardía (alrededor de los once a doce años de vida posnatal). Se divide en una porción periférica integrada por el oído externo, medio e interno y en una porción central integrando al nervio auditivo, estructuras de la vía a nivel de tallo cerebral, tálamo y corteza cerebral auditiva. Se han establecido, mediante modelos experimentales en mamíferos los cambios que sufren estas estructuras, así como su funcionamiento, fenómenos que se dan simultáneamente y su periodo vulnerable de desarrollo (Anbuhl et al., 2016; Cant, 1998; Moore & Linthicum, 2007; Zohu & Merzenich, 2008).

La metodología histológica clásica y las nuevas técnicas han permitido determinar de manera más precisa a través del análisis en tejidos humanos *post mortem*, el estudio de la vía auditiva. Estas pruebas, tanto en modelos experimentales como en el humano determinan el desarrollo y crecimiento celular, por su progresiva acumulación de organelos intracelulares y de superficie. Un ejemplo: lo observado en las células pilosas externas del órgano de Corti, o los procesos que rastrean neurotransmisores producidos en el citoplasma, o anticuerpos de los filamentos que forman el citoesqueleto de la neurona y sus dendritas (Bernhardt & Matus, 1984; Shi, Cote, Kalra, Taylor & Tandon, 1992). Otras técnicas permiten observar los procesos de mielinización, aumento del diámetro y producción axonal por la detección de anticuerpos específicos (Cleveland et al., 1991; Schlaepfer & Bruce, 1990).

También existen otro tipo de pruebas que permiten evaluar la función auditiva en el humano; estas técnicas consideradas como no invasivas son las Emisiones Otoacústicas (EOA), los Potenciales Evocados Auditivos de Tallo Cerebral (PEATC), los Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable (PEAee), los Potenciales Evocados Auditivos de Latencia Media (PEALM) y Potenciales Evocados Auditivos de Latencia Larga (PEALL). Sin embargo, también hay que considerar a los potenciales relacionados con eventos, la tomografía computarizada por emisión de fotón único, la magnetoencefalografía, la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética funcional, que muestran nuevas perspectivas de cómo el sistema auditivo humano procesa esta información al analizar su función en forma dinámica, principalmente en corteza cerebral, corroborando lo encontrado en modelos experimentales en animales (Cansino, 2006; Friston, Holmes, Poline, Price & Frith 1996; Syka, 2002).

El desarrollo normal de la vía auditiva para su estudio se ha clasificado por diversos autores en etapas que a continuación se describen, desde el periodo embrionario hasta etapas posteriores al nacimiento (Moore & Linthicum, 2007).

Primer trimestre

En esta etapa se ubica el periodo embrionario. La placoda ótica se forma en la semana tres de gestación, transformándose en vesícula ótica u ototocisto alrededor de la cuarta semana, dividiéndose en dos porciones: vestibular y coclear. A partir de la cuarta semana un grupo de células de la vesícula ótica se separan para formar el ganglio espiral, paralelamente en esa semana se forman los hemisferios cerebrales y ventrículos (Anbuhl et al., 2016; Barrio, 2000; Moore & Linthicum, 2001; Munar et al., 2002). Las neuronas del ganglio espiral extienden sus axones en dos direcciones, una hacia el órgano de Corti y la otra en dirección al tallo cerebral entre la quinta y sexta semana, estructura que formará el nervio coclear (VIII par craneal). Para la novena semana, las ramificaciones se extienden a la base del órgano de Corti en desarrollo. La porción coclear, la cual se hará énfasis por su importancia en la función auditiva, se elonga y forma sus dos vueltas y media al final de la octava semana de gestación. Entre las

semanas séptima y octava, ya se distinguen los núcleos cocleares, que reciben axones del nervio coclear, así como se forma el cuerpo trapezoide que cruza el tallo cerebral para inervar el complejo olivar superior, el cual también se encuentra en formación. También en este periodo el lemnisco lateral derecho e izquierdo se forma por otros axones que ascienden para conectarse con ambos colículos inferiores y se forma en el tálamo el cuerpo geniculado medial (Moore & Linthicum, 2001; Munar et al., 2003).

La capa marginal entre la semana sexta a la octava contiene un gran número de células maduras denominadas células de Cajal-Retzius, las cuales se han asociado a procesos de migración neuronal para la formación de la capa cortical debido a la secreción de una proteína extracelular llamada Reelin (Moore & Linthicum, 2007), así como lo reportado en estudios de embriones humanos, donde se han identificado proteínas por técnicas inmunohistoquímicas involucradas en la formación de capas corticales en fases tempranas (Meyer, Schaaps, Moreau & Goffinet, 2000; Zecevic, Milosevic, Rakic & Marin-Padilla, 1999). Al final de la octava semana, se forma la placa cortical, capa densa que se deriva de las células que migraron de capas profundas de los ventrículos hacia la superficie sin invadir la capa marginal (Moore & Linthicum, 2007).

En la novena semana, inicia la formación del órgano de Corti, con la aparición en el conducto coclear de una capa de células poligonales, las cuales desarrollarán en su superficie microvellosidades o cilios. Las siguientes tres semanas se dará el proceso de la ciliogénesis, específicamente en la onceava semana; estas células forman una capa de células pilosas internas y de tres a cuatro capas de células pilosas externas (Lavigne-Rebillard & Pujol, 1986; Munar et al., 2002). Los cilios se forman primero en las células pilosas internas que en las externas, e inician primero en regiones basales y posteriormente en el ápex coclear. Durante este mismo periodo se forma la membrana tectoria y otras estructuras que integran al órgano de Corti (Lavigne-Rebillard & Pujol, 1986; Pujol & Lavigne-Rebillard, 1992; Munar et al., 2002).

Segundo trimestre

Ya formada la cóclea, se inicia el proceso de maduración coclear y del nervio auditivo. En la semana catorce surgen ramificaciones del ganglio espiral, estableciendo contactos bien definidos con las células pilosas internas y externas. En la semana quince el conducto coclear presenta su escala vestibular, timpánica y escala media. En la escala vestibular y timpánica corre perilinfa y en la escala media donde se aloja el órgano de Corti hay endolinfa. Estudios por microscopía electrónica en cócleas fetales humanas, han revelado que las células pilosas externas e internas tiene un mejor desarrollo en este periodo, se observan los cilios de las células pilosas internas con disposición rectilínea y los cilios de las células ciliadas externas con un patrón en W, mejor definidas en la porción basal que en la apical (Anbuhl et al., 2016; Lavigne-Rebillard & Pujol, 1986; Munar et al., 2002; Pujol & Lavigne-Rebillard, 1992).

En la semana quince de gestación, el nervio coclear es cubierto por mielina producida por las células de Schwann, las cuales se han reunido a lo largo de los axones en la lámina espiral y modiolos. Alrededor de la semana dieciséis, en el tallo cerebral, se observa que los núcleos ya formados en el primer trimestre inician un proceso de maduración, con la formación de pequeños núcleos de las neuronas que lo conforman y ramificaciones pequeñas del nervio coclear que van hacia el tallo cerebral. En el periodo de la semana veinte y veintidós, la estría vascular ha desarrollado tres capas y la membrana tectoria también presenta un proceso de maduración. Al llegar a la semana veintidós y veinticuatro de gestación, ya son visibles las capas de mielina en los axones. Y entre la semana veinticuatro a veintiséis, el patrón en W de las células pilosas externas se ha completado hasta el ápex (Pujol & Lavigne-Rebillard, 1992).

Alrededor de la porción proximal del nervio coclear y fascículos axonales a nivel del tallo cerebral, se forma una línea de oligodendrocitos, los cuales iniciarán la mielinización en etapas posteriores. En estudios histológicos de hueso temporal de fetos humanos, se encontró que la presencia de células de Schwann que condicionan la mielinización distal y la presencia de oligodendrocitos que conducen la mielinización proximal son considerados los dos eventos que corroboran la maduración final del órgano de Corti (Moore & Linthicum, 2001; Munar et al., 2003).

Alrededor de la semana veinticuatro se inicia la formación de la cisura de Silvio debido a los cambios estructurales a nivel de corteza, que irán finalizando la formación de surcos y circunvoluciones al final del octavo a noveno mes (Barrio, 2000).

Al final del segundo trimestre entre la semana veintiséis a veintinueve de gestación, las neuronas de los núcleos en el tallo cerebral ya han aumentado de tamaño y han desarrollado más organelos, así como el nervio coclear y las ramificaciones nerviosas en tallo cerebral son similares a los patrones en la edad adulta y las capas de la corteza continúan su proceso de desarrollo. Es en este periodo cuando se da la mielinización de la porción proximal del nervio coclear, hasta el colículo inferior, abarcando las estructuras intermedias localizadas en el tallo cerebral, por lo que la mielinización continuará en etapas posteriores al nacimiento (Moore, Guan & Shi, 1997; Moore, Perazzo & Braun 1995). A partir de este tiempo (semana veintiséis de gestación), se puede registrar actividad eléctrica, como es el caso de los potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (Starr, Amlie, Martin & Sanders, 1977), de acuerdo con lo reportado en otros estudios a partir de la semana veinticinco se refiere que inicia la maduración de estructuras en tallo cerebral, por lo que se puede registrar también a esta edad actividad eléctrica a este nivel y con ello valorar la integridad del sistema auditivo a este nivel (Feld, Sena & Granovsky, 2003).

Tercer trimestre

A partir de la semana veintisiete se observan procesos de mielinización en diversas estructuras como la porción proximal del nervio coclear y a nivel de tallo cerebral:

núcleos cocleares, el cuerpo trapezoide, lemnisco lateral y en axones que van de los colículos inferiores al cuerpo geniculado medial. Por lo que, desde el inicio del tercer trimestre, los procesos de mielinización son considerados un potencial para la conducción rápida sincronizada de la cóclea, tallo cerebral, tálamo y corteza cerebral. Además, en esta semana la corteza temporal es estructuralmente más compleja y es capaz de registrar información, ya que se ha comprobado la presencia de potenciales evocados corticales, como la onda N2 de los potenciales evocados auditivos de latencia larga, y últimamente se ha identificado el potencial de disparidad (*mismatch negativity*). Esto lo confirma la respuesta encontrada a la estimulación acústica entre la semana veinticinco a la veintisiete, que se caracteriza por movimientos fetales de la cara y cuerpo observados por imágenes de ultrasonido, la cual es más consistente a partir de la semana veintiocho a veintinueve de gestación. Y es a partir de la semana treinta hasta alrededor de la semana cuarenta y siete de edad post-concepcional que el complejo olivar medial, que conforma parte del sistema eferente de la vía auditiva, finaliza su maduración (Anbuhl et al., 2016; Munar et al., 2002).

Esto lo reportan varios estudios en humanos, analizando la función eferente del complejo olivar medial mediante el registro de emisiones otoacústicas en grupos de neonatos prematuros y a término, en niños y adultos. Se encontró que la respuesta de las emisiones otoacústicas tuvo menor amplitud cuando se provocó la supresión contralateral con ruido de banda ancha en los neonatos a término, niños y adultos, pero hubo diferencias significativas en comparación con los neonatos prematuros ya que en ellos no disminuyó la amplitud de las emisiones otoacústicas, corroborando con ello que el sistema eferente se encuentra inmaduro (Abdala & Sininger, 1999; Gkoritsa et al., 2007; Moore & Linthicum, 2007).

Al nacer, la cavidad del oído medio (huesecillos) está llena de un tejido gelatinoso, por lo que la conducción acústica no está libre: la capacidad auditiva es aún deficiente. Ese tejido esponjoso gelatinoso sufre un proceso de regresión y reabsorción al final de la vida fetal (entre el octavo y noveno mes de gestación) y la cavidad timpánica invade el espacio que deja. Ese proceso no está terminado al nacer y la agudeza auditiva recién se adquiere en las primeras semanas posnatales (Barrio, 2000).

El periodo perinatal forma parte de este trimestre. A nivel de la corteza cerebral los cambios complejos que surgen son: expansión del lóbulo temporal, identificando la corteza auditiva primaria (giro temporal transversal), de la corteza auditiva secundaria (giro temporal superior), desarrollo de las neuronas corticales, así como de sus axones y espinas dendríticas para una mayor superficie de contacto. Se ha observado que la maduración de la corteza cerebral auditiva en humanos inicia desde el segundo trimestre con la aparición de los precursores neuronales de las diversas capas que se irán diferenciando; sin embargo, sigue su desarrollo en el cuarto mes de vida posnatal con la diferenciación de la capa I, y al finalizar el tercer año de vida ya se han desarrollado la capa IV, V, VI y parte de la III (IIIc). El proceso continúa hasta los cinco años de edad, cuando ya se encuentran conformadas las capas IIIb, IIIa y II, pero será hasta

la edad entre los once a doce años que será muy similar a la corteza del adulto joven (Faletty, 2016; Moore & Guan, 2001).

En el sexto mes de vida posnatal, la unión entre la tercera y cuarta neurona (área 41 y 42 de Brodmann) se mielinizan y se extiende este proceso hasta los 24 meses de vida posnatal a las áreas de asociación que tienen que ver con el lenguaje (áreas 21 y 22 de Brodmann, entre otras). Además de que incrementa su espesor la corteza cerebral auditiva a expensas de las capas profundas por migración hasta la edad de 12 años. Tomando en cuenta que los procesos de mielinización son diferentes entre los lactantes a término y los prematuros. Considerando un periodo crítico de mayor plasticidad para la vía auditiva entre los 0 a 24 meses de vida, que decrece después de los 24 meses a los cinco años de edad (Barrio, 2000; Faletty, 2016).

Considerando lo anterior, a partir de la semana veintiocho de gestación, el sistema auditivo humano se encuentra estructuralmente capaz de ser funcional, aunque no con la fineza que le es inherente, sin olvidar los cambios plásticos que pudieran tener durante su desarrollo en los periodos críticos de mayor plasticidad, ante un estímulo, exista o no algún daño en alguna parte de la vía auditiva. Lo dicho se detallará a continuación.

Plasticidad del sistema auditivo

Plasticidad deriva de la palabra griega *πλαστός* (*plastos*), que significa moldear. El término lo introdujo William James en 1890 y Cajal en 1904 lo apoyó con su hipótesis de la posibilidad de cambios en las vías del sistema nervioso preestablecidas. La posibilidad de formarse nuevas vías, siempre y cuando exista un reforzamiento inicial para la posibilidad del cambio a lo establecido (Floel & Cohen, 2006; Pascual-Leone, Amedi, Fregni & Merabet, 2005).

La plasticidad es la propiedad intrínseca del sistema nervioso, de reorganizar y modificar funciones, adaptándose a los cambios externos e internos de manera fisiológica en los procesos del neurodesarrollo, y ante la presencia de una lesión a través de mecanismos reparadores. Los mecanismos que llevan a una plasticidad neuronal, permiten la reorganización de circuitos neuronales para realizar funciones modificadas, adaptarse a cambios ambientales, cambios fisiológicos y experiencias. Por lo que se consideran dos puntos básicos: la formación de nuevas vías requiere de un refuerzo en las estructuras existentes, que dependerá de influencias ambientales como efecto aferente y la demanda eferente (Langers, van Dijk & Backes, 2005; Pascual-Leone et al., 2005).

La plasticidad neuronal no se limita a edades tempranas, sino también se lleva a cabo en la edad adulta. Se ha encontrado que es mayor en los primeros años de vida y va disminuyendo con la edad. Existe una relación entre la plasticidad y la edad, es decir, la plasticidad y tiempo en el que se presenta. Considerando lo anterior se

ha establecido que existe un periodo crítico. Algunos autores consideran al periodo crítico como el tiempo en el que se presenta una mejor posibilidad de reorganización neuronal de manera fisiológica y ante la presencia de una lesión (Faletty, 2016; Floel & Cohen, 2006; Harrison, Gordon & Mount, 2005; Pascual-Leone et al., 2005; Schochat & Musiek, 2005). Es decir, la plasticidad es extrema en el periodo crítico, por lo que es importante conocer y determinar el inicio y duración de estos periodos en las diferentes especies (de Villers-Sidani, Chang, Bao & Merzenich, 2007).

Se considera como parte fundamental en el estudio de la plasticidad en los diferentes sistemas sensoriales las investigaciones que demostraron los cambios plásticos en las vías de la corteza visual, responsables de la dominancia ocular a la privación monocular, en un modelo experimental en gatos (Wiesel & Hubel, 1963). Le siguieron a estos estudios los realizados a nivel del sistema somatosensorial, donde se encontró una reorganización subcortical y cortical ante la lesión total o parcial de las aferencias periféricas en un grupo de roedores en etapas temprana y adulta (Anbuhl et al., 2016; Kaas, Merzenich & Killackey, 1983; Waite & Taylor, 1978). Y los estudios encargados de analizar los cambios en el sistema auditivo fueron diversos, donde se reportaron cambios anatómicos en el sistema auditivo central, como en un estudio realizado al remover o lesionar el otocisto en el embrión de pollos que dio pauta para muchos estudios recientes de los cuales se mencionaran los más representativos en relación con los cambios plásticos del sistema auditivo (Levi-Montalcini, 1949).

Gracias a la gran diversidad de pruebas tanto inmunohistoquímicas, electrofisiológicas y de imagen, se han identificado los diversos mecanismos plásticos. La plasticidad en el sistema auditivo es similar a la visual y a la somatosensorial, logrando una reorganización de las proyecciones en el mapa de la corteza auditiva (Cansino, 2006; Syka, 2002). Los cambios plásticos en la corteza y vías auditivas subcorticales se dan por los procesos de potenciación y depresión a largo plazo (Salas, Torrero, Regalado & Nieto, 1995).

La vía auditiva desarrolla el fenómeno de plasticidad debido a los mecanismos normales del desarrollo por estimulación auditiva durante el periodo crítico como ante la presencia de un daño. Esto se ha constatado en estudios realizados en animales, donde los modelos experimentales en mamíferos han corroborado que la alteración estructural y/o funcional de algún componente de la vía no permite que continúen los procesos de maduración adecuados, como lo es el desarrollo de ramificaciones dendríticas a nivel del tallo cerebral o la corteza auditiva. Así, se han analizado los mecanismos de plasticidad auditiva ante diversos tipos de lesiones, por lo que ya se han identificado los procesos ante una lesión a nivel de oído interno total o parcial, en alguna de las estructuras del tallo cerebral como el núcleo coclear, el complejo olivar, el lemnisco lateral y el colículo inferior o las estructuras talámicas y corticales. El fenómeno plástico también dependerá de si la lesión es uni o bilateral y en qué etapa del desarrollo se presenta, siendo mejor de los 0 a los 2 años de vida posnatal que posterior a este periodo (Faletty, 2016; Harrison et al., 2005; Syka, 2002).

En un modelo experimental en ratones, se provocó destrucción coclear unilateral derecha en el día seis posnatal; al analizar al día cuarenta y cinco posnatal, se identificaron cambios en las ramificaciones dendríticas que comunicaban al núcleo coclear ipsilateral (Trune, 1982). En un modelo experimental con conejos, se corroboraron cambios plásticos a nivel de la corteza auditiva. En este estudio se provocó una ablación coclear unilateral de manera traumática y con sustancias ototóxicas seis días antes del comienzo de la función auditiva para esta especie. Los resultados revelaron un incremento relativo de 37% de las dendritas de las neuronas no piramidales de la corteza auditiva contralateral a la lesión; sin embargo, el crecimiento dendrítico fue anormal por presentar dendritas curvadas y en dirección tangencial hacia la sustancia blanca. La explicación a estos hallazgos fue que la estimulación auditiva a través del oído no afectado continuó los procesos de plasticidad ipsi y contralateral que continuaron hacia estructuras superiores de la vía (McMullen, Goldberger, Suter & Glaser, 1988).

Parte de los procesos de plasticidad son debidos a las interconexiones que existen en las diferentes estructuras de la vía auditiva. En la etapa posnatal, en diversas especies de mamíferos existen periodos críticos; en este tiempo la plasticidad neuronal alcanza su mayor expresión, facilitando la adaptación ante un daño, siempre y cuando se estimule en este periodo. Lo encontrado en modelos experimentales con mamíferos ha revelado que existe un periodo de plasticidad a nivel de la corteza auditiva primaria. Asimismo, que depende del tiempo en el que la corteza tiene su máxima capacidad de plasticidad. Esta plasticidad puede ser modificada cuando son cambiados los estímulos externos. En un estudio en ratas, se analizaron los procesos de plasticidad de la corteza auditiva primaria. En condiciones generales adecuadas y función auditiva normal, se estimuló de manera permanente en un tono puro a 7 KHz, con una intensidad de 70 dB SPL, las 24 horas del día con 500 milisegundos de periodos de silencio por un espacio de tres a siete días. Se realizó un mapeo de la corteza auditiva primaria, encontrando mayor actividad neuronal en el grupo que estuvo expuesto al estímulo auditivo, así como se determinó el inicio, duración y finalización del periodo crítico, encontrándolo entre el día once al trece posnatal (De Villers-Sidani et al., 2007). Otro estudio reciente en ratas con audición normal ha demostrado que la actividad neuronal de la corteza auditiva primaria se modifica ante un estímulo auditivo pulsado de baja frecuencia, incrementado tanto el índice tonotópico como el intervalo del periodo crítico. Esta respuesta puede continuar hasta la edad adulta o ser reversible y continuar con actividad normal en relación con el grupo no expuesto (decrementa el índice tonotópico). Los hallazgos apoyan a la plasticidad inducida por un estímulo acústico de baja frecuencia, la cual en desarrollo normal intervienen los sonidos complejos ambientales y de lenguaje. A diferencia de provocar un daño inducido por ruido, se determinó que sonidos de baja frecuencia favorecen esta plasticidad a diferencia de sonidos en frecuencias altas, considerando también la intensidad del estímulo. Los resultados también proponen que, si se modifican los

estímulos durante el periodo crítico sin que causen daño, se puede modificar de mejor manera la actividad neuronal de la vía auditiva. Esto implica de manera importante no sólo a la capacidad intrínseca neuronal de la corteza auditiva, sino también la de las conexiones tálamo-corticales y estructuras subcorticales de la vía que permiten que se presente este fenómeno de supresión posterior a la estimulación (Zhou & Merzenich, 2008).

En estudios realizados en humanos, los estudios *post mortem* en neonatos y niños preescolares no han revelado una evidencia directa de los cambios corticales ante la presencia de hipoacusia severa a profunda que se presenta en edad temprana, específicamente durante el periodo perinatal. Se conoce que el daño puede presentarse en las diferentes etapas de desarrollo de la vía auditiva; sin embargo, es importante determinar en qué periodo se presenta el daño auditivo. Si es en el periodo perinatal (a partir de la semana veintiocho de edad post-concepcional), esto se considera una causa importante que evita un desarrollo adecuado de la vía, secundario a la dificultad de procesar el sonido. Es a partir de esta etapa cuando la vía auditiva es capaz de conducir información a la corteza, estímulo que se requiere para lograr un mejor desarrollo en la maduración y plasticidad de sus estructuras. Asimismo, se deben descartar alteraciones en los mecanismos biológicos intrínsecos de tipo genético y metabólico, las cuales pueden provocar alteraciones estructurales a nivel coclear, del tallo cerebral o la corteza cerebral auditiva desde el primer o segundo trimestre del desarrollo (Moore & Linthicum, 2007).

En una población adulta con hipoacusia unilateral y en otra con audición normal se realizaron estudios de resonancia magnética funcional, en los que a la estimulación auditiva se observó en el hemisferio contralateral con mayor actividad con activación en el lóbulo temporal, tálamo y mesencéfalo en la población normoyente. En la población de los que cursaban con hipoacusia unilateral la actividad se presentó en ambos hemisferios, con activación en corteza cerebral auditiva, pero continuó contralateral en el tálamo y mesencéfalo, datos que apoyan la conclusión de que el fenómeno de plasticidad se dio a nivel cortical (Langers et al., 2005). Sin embargo, hay otros estudios que muestran plasticidad en estructuras subcorticales posterior a la estimulación auditiva con implante coclear. Tal es el caso de la aparición en los potenciales evocados auditivos de tallo cerebral, simultáneo a la presencia de la onda III y V en niños postimplantados; ambos componentes aparecen y modifican su amplitud y latencia al año de la implantación, correlacionado esta plasticidad con el periodo crítico para el desarrollo de la lengua oral fue entre los 3.5 y los 6 años de edad (Thai-Van et al., 2007). En otro estudio se reportó que los niños con hipoacusia profunda congénita sufrieron modificaciones en los componentes de los potenciales evocados auditivos de latencia larga posterior a la activación del implante coclear, específicamente la onda N1 (que corresponde a la actividad de las capas II y III de la corteza auditiva). Los resultados revelaron que si la implantación es tardía (después de los tres años de edad), la onda N1 tiene una alta posibilidad de no presentarse, considerando que este

componente es importante en el desarrollo de lenguaje, por lo que la onda N1 es un factor pronóstico para el desarrollo de lenguaje (Eggermont & Ponton, 2003; Ponton, Eggermont, Kwong & Don, 2000).

En adultos con hipoacusia bilateral congénita poslingüística o poslocutiva de larga evolución, los registros por magnetoencefalografía, mostraron que el componente N1 estaba poco definido en relación con la población adulta normoyente. Posterior al implante coclear, en un seguimiento de dos años se identificaron nuevamente modificaciones del componente N1, de tal manera que la morfología era similar a los adultos normoyentes (Pantev, Dinnesen, Ross, Wollbrink & Knief., 2006).

La plasticidad cortical se ha comprobado tanto en la hipoacusia bilateral prelocutiva (hipoacusia que se presenta en el periodo de desarrollo del lenguaje) y en la poslocutiva (hipoacusia que se presenta posterior al desarrollo del lenguaje). Estas manifestaciones de plasticidad se presentan seis meses después de ser activado el implante coclear. La evaluación realizada por resonancia magnética funcional y la tomografía por emisión de positrones muestran un incremento de la actividad en corteza auditiva primaria y secundaria, indispensable para que los mecanismos de comprensión del lenguaje se lleven a cabo (Berthéze et al., 1997). Asimismo, se observa un incremento en los procesos metabólicos de la glucosa cerebral ante la presencia de hipoacusia de inicio temprano en relación con sujetos normales (Catalán-Ahumada et al., 1993).

Ante el daño coclear es indispensable sustituir la función de la cóclea y lograr una amplificación de los sonidos expuestos, como es el caso de los auxiliares auditivos y/o el implante coclear (Syka, 2002). Además se ha encontrado que es importante iniciar una amplificación auditiva antes de los 6 meses de vida con estos dispositivos, para que se observe un cambio plástico de las vías auditivas centrales en mejores condiciones.

Se ha reportado que un periodo crítico para desarrollo del lenguaje es cuando se interviene en los primeros seis meses de vida. La intervención temprana debe ser a través de medidas familiares, terapia de lenguaje y adaptación adecuada del auxiliar auditivo (Yoshinaga-Itano, 2003). También se encontró en una población de 16 niños con hipoacusia congénita, a la que se adaptó un implante coclear entre los 7 y 15 meses de vida, que tuvo un desarrollo auditivo normal en relación con la población implantada después de los 16 meses de edad. Los resultados demostraron también que la población implantada antes de los 16 meses de vida desarrolló un mejor aprendizaje en los sonidos del habla (Houston, Ying, Pisoni & Kirk, 2003). Sin embargo, otro estudio reportó, en una población infantil implantada alrededor de los dos años de edad, un incremento significativo en la discriminación de palabras en relación con los que se implantaron tardíamente (Kirk, Miyamoto, Ying, Perdew & Zuganelis, 2000).

El daño de la vía auditiva en el periodo perinatal no permite su desarrollo normal por la privación de la estimulación sonora. Ante una lesión, los mecanismos plásticos podrán compensar; sin embargo, puede intervenir con diversas estrategias para que

la plasticidad sea con mayores beneficios. La propuesta ante un daño auditivo de inicio temprano es continuar la estimulación auditiva a través de dispositivos que permitan una estimulación eléctrica adecuada de la vía. Lo importante aquí es considerar al periodo crítico para iniciar el tratamiento (Feld, et al., 2003).

Conclusiones

El desarrollo del sistema auditivo comienza desde el periodo embrionario, formando las diferentes estructuras anatómicas de la vía auditiva periférica y central; sin embargo, también es al finalizar esta etapa y al inicio del periodo fetal que inician los procesos funcionales auditivos de las diversas estructuras, identificando como puntos centrales la función coclear a partir de la semana veinte de gestación, registrando respuesta coclear ante la presencia de sonido que viaja por los diferentes medios elásticos como sería, en este caso, por un medio acuoso. Los procesos de mielinización siguen avanzando, logrando que entre la semana veintisiete y veintiocho de gestación ya se registre actividad eléctrica en el lóbulo temporal (procesamiento auditivo central), la cual se hace más compleja a partir de la semana treinta y dos de gestación. En la etapa posnatal, las estructuras del sistema auditivo siguen adquiriendo mayor complejidad en su función, gracias al proceso de mielinización, imprescindible para que funciones complejas como la adquisición del lenguaje en su parte comprensiva y expresiva se lleven a cabo. Y otro punto importante a considerar son los aspectos de plasticidad de la vía auditiva, tomando en cuenta los periodos críticos de mayor plasticidad donde se puede ejercer un impacto mayor en la vía en etapas tempranas del desarrollo sin y con presencia de un daño en alguna de las estructuras. Este conocimiento abre nuevos horizontes en líneas de investigación y aplicación del conocimiento para resolver una problemática con nuevas expectativas.

Referencias

- Abdala, C. M. E. & Sininger, Y. S. (1999). Maturation of medial efferent system function in humans. *J. Acoust. Soc. Am.* 105, 2392-2402.
- Anbuhl, K. L., Uhler, K. M., Werner, L. A., & Tollin, D. J. (2016). Early Development of the Human Auditory System. In: *Fetal and Neonatal Physiology*, 5e, Edition: 5, Chapter: 138, Publisher: Elsevier, Editors: Richard A. Polin, Steven H. Abman, David Rowitch, William E. Benitz, pp.1396-1410 DOI: 10.1016/B978-0-323-35214-7.00138-4
- Angulo, A., Blanco J. L. & Mateos, F. (2004). *Audioprótesis: Teoría y Práctica*. España. Masson.

- Barrio, C. (2000). Desarrollo de la percepción auditiva fetal: la estimulación prenatal. *Paediatrica*, 3(2), 11-15.
- Bernhardt, R. & Matus, A. (1984). Light and electron microscopic studies of the distribution of microtubule-associated protein 2 in rat brain: a difference between dendritic and axonal cytoskeletons. *J. Comp. Neurol.* 226, 203-221.
- Berthezène, Y., Truy, E., Morgon, A., Giard, M.H., Hermier, M., Franconi, J.M. & Froment, J.C. (1997). Auditory cortex activation in deaf subjects during cochlear electrical stimulation. Evaluation by functional magnetic resonance imaging. *Invest. Radiol.* 32, 297-301.
- Cansino, S. (2006). Mapping the Functional Organization of the Human Auditory Cortex. En: F.J. Chen (Ed.), *Progress in Brain Mapping Research*. (pp. 81-121): Nova Science Publishers.
- Cant, N.B. (1998). Structural development of mammalian central auditory pathways. En: E.W. Rubel, P. A.N. y R.R. Fay (Eds.), *Development of Auditory System*. (pp. 315-414): New York: Springer.
- Catalán-Ahumada, M., Deggouj, N., De Volder, A., Melin, J., Michel, C., & Veraart, C. (1993). High metabolic activity demonstrated by positron emission tomography in human auditory cortex in case of deafness of early onset. *Brain. Res.* 623, 287-292.
- Cleveland, D.W., Monteiro, M.J., Wong, P.C., Gill, S.R., Gearhart, J.D. & Hoffman, P.N. (1991). Involvement of neurofilaments in the radial growth of axons. *J. Cel.l Sci Suppl.* 15, 85-95.
- De Sebastián, G. (1992). *Audiología Práctica*. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana.
- De Villers-Sidani, E., Chang, E.F., Bao, S., & Merzenich, M.M.. (2007). Critical period window for spectral tuning defined in the primary auditory cortex (A1) in the rat. *J. Neurosci. Res.* 27, 180-189.
- Eggermont, J.J., & Ponton, C.W. (2003). Auditory-evoked potential studies of cortical maturation in normal hearing and implanted children: correlations with changes in structure and speech perception. *Acta Otolaryngol.* 123, 249-252.
- Faletty, P. (2016). La importancia de la detección temprana de la hipoacusia. *Rev. Med.Clin.Condes.* 27(6), 745-752.
- Feld, V., Sena, H., & Granovsky, G. (2003). Potenciales evocados auditivos. Su aplicación en Neonatología. *Revista del Hospital Materno Infantil Ramón Sardá* [en línea] 2003, 22 [Fecha de consulta: 7 de agosto de 2019] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91222303>> ISSN 1514-9838.
- Floel, A., & Cohen, L.G. (2006). Translational studies in neurorehabilitation: from bench to bedside. *Cogn. Behav. Neurol.* 19, 1-10.
- Friston, K.J, Holmes, A, Poline, J.B., Price, C.J., & Frith, C.D. (1996). Detecting activations in PET and fMRI: levels of inference and power. *NeuroImage.* 4, 223-235.

- Gkoritsa, E., Korres, S., Segas, I., Xenelis, I., Apostolopoulos, N., & Ferekidis, E. (2007). Maturation of the auditory system: 2. Transient otoacoustic emission suppression as an index of the medial olivocochlear bundle maturation. *Int. J. Audiol.* 46, 277-286.
- Guerrier, Y. & Uziel, A. (1985). Fisiología neurosensorial en Otorrinolaringología. España. Masson.
- Harrison, R.V., Gordon, K.A. & Mount, R.J. (2005). Is there a critical period for cochlear implantation in congenitally deaf children? Analyses of hearing and speech perception performance after implantation. *Dev. Psychobiol.* 46, 252-261.
- Houston, D.M., Ying, E.A., Pisoni, D.B. & Kirk, K.I. (2003). Development of Pre-Word-Learning Skills in Infants with Cochlear Implants. *Volta. Rev.* 103, 303-326.
- Kaas, J.H., Merzenich, M.M. & Killackey, H.P. (1983). The reorganization of somatosensory cortex following peripheral nerve damage in adult and developing mammals. *Annu. Rev. Neurosci.* 6, 325-356.
- Kirk, K.I., Miyamoto, R.T., Ying, E.A., Perdew, A.E., & Zuganelis, H. (2000). Cochlear Implantation in Young Children: Effects of Age at Implantation and Communication Mode. *Volta. Rev.* 102, 127.
- Langers, D.R., van Dijk, P., & Backes, W.H. (2005). Lateralization, connectivity and plasticity in the human central auditory system. *NeuroImage.* 28, 490-499.
- Lavigne-Rebillard, M., & Pujol, R. (1986). Development of the auditory hair cell surface in human fetuses. A scanning electron microscopy study. *Anat. Embryol.* 174, 369-377.
- Levi-Montalcini, R. (1949). The development to the acoustico-vestibular centers in the chick embryo in the absence of the afferent root fibers and of descending fiber tracts. *J. Comp. Neurol.* 91, 209-241, illust, incl 203 pl.
- Meyer, G., Schaaps, J.P., Moreau, L., & Goffinet, A.M. (2000). Embryonic and early fetal development of the human neocortex. *J Neurosci.* 20, 1858-1868.
- Moore, J.K., & Guan, Y.L. (2001). Cytoarchitectural and axonal maturation in human auditory cortex. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2, 297-311.
- Moore, J.K., & Linthicum, F.H., Jr. (2001). Myelination of the human auditory nerve: different time courses for Schwann cell and glial myelin. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 110, 655-661.
- Moore, J.K. & Linthicum, F.H., Jr. (2007). The human auditory system: a timeline of development. *Int. J. Audiol.* 46, 460-478.
- Moore, J.K., Guan, Y.L., & Shi, S.R. (1997). Axogenesis in the human fetal auditory system, demonstrated by neurofilament immunohistochemistry. *Anat. Embryol.* 195, 15-30.
- Moore, J.K., Perazzo, L.M., & Braun, A. 1995. Time course of axonal myelination in the human brainstem auditory pathway. *Hear Res.* 87, 21-31.

- Munar, E., Rosselló, J., Mas, C., Morente, P., & Quetgles, M. (2002). El desarrollo de la audición humana TT - The development of human audition. *Psicothema*, 14(2), 247-254. Recuperado de <http://www.psicothema.com/psicothema.asp?id=716>.
- Pantev, C., Dinnesen, A., Ross, B., Wollbrink, A., & Knief, A. (2006). Dynamics of auditory plasticity after cochlear implantation: a longitudinal study. *Cereb. Cortex*, 16, 31-36.
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F. & Merabet, L.B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annu. Rev. Neurosci.* 28, 377-401.
- Ponton, C.W., Eggermont, J.J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: evidence from multi-channel evoked potentials. *Clin. Neurophysiol.* 111, 220-236.
- Probst, R., Grevers, G., & Iro, H. (2000). Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Ein sicherer Einstieg: kleinen Etappen in Text, Bild und Ton. Stuttgart. Thieme.
- Pujol, R., & Lavigne-Rebillard, M. (1992). Development of neurosensory structures in the human cochlea. *Acta Otolaryngol.* 112, 259-264.
- Schlaepfer, W.W., & Bruce, J. (1990). Simultaneous up-regulation of neurofilament proteins during the postnatal development of the rat nervous system. *J. Neurosci. Res.* 25, 39-49.
- Schochat, E., & Musiek, F.E. (2006). Maturation of outcomes of behavioral and electrophysiologic tests of central auditory function. *J. Commun. Disord.* 39, 78-92.
- Shi, S.R., Cote, C., Kalra, K.L., Taylor, C.R., & Tandon, A.K. (1992). A technique for retrieving antigens in formalin-fixed, routinely acid-decalcified, celloidin-embedded human temporal bone sections for immunohistochemistry. *J. Histochem Cytochem.* 40, 787-792.
- Smith, R.J., Bale, J.F., Jr., & White, K.R. (2005). Sensorineural hearing loss in children. *Lancet.* 365, 879-890.
- Starr, A., Amlie, R.N., Martin, W.H., & Sanders, S. (1977). Development of auditory function in newborn infants revealed by auditory brainstem potentials. *Pediatrics.* 60, 831-839.
- Syka, J. (2002). Plastic changes in the central auditory system after hearing loss, restoration of function, and during learning. *Physiol. Rev.* 82, 601-636.
- Thai-Van, H., Cozma, S., Boutitie, F., Disant, F., Truy, E., & Collet, L.. (2007). The pattern of auditory brainstem response wave V maturation in cochlear-implanted children. *Clin. Neurophysiol.* 118, 679-689.
- Trune, D.R. (1982). Influence of neonatal cochlear removal on the development of mouse cochlear nucleus: II. Dendritic morphometry of its neurons. *J. Comp. Neurol.* 209, 425-434.
- Waite, P.M., & Taylor, P.K. (1978). Removal of whiskers in young rats causes functional changes in cerebral cortex. *Nature.* 274, 600-602.

- Wiesel, T.N., & Hubel, D.H. (1963). Single-Cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *J. Neurophysiol.* 26, 1003-1017.
- Zecevic, N., Milosevic, A., Rakic, S., & Marin-Padilla, M. (1999). Early development and composition of the human primordial plexiform layer: an immunohistochemical study. *J. Comp. Neurol.* 412, 241-254.
- Zhou, X., & Merzenich, M. M. (2008). Enduring effects of early structured noise exposure on temporal modulation in the primary auditory cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 105, 4423-4428.

DESARROLLO DE LA ATENCIÓN DURANTE EL PRIMER AÑO DE VIDA

*Claudia Calipso Gutiérrez Hernández
Elizabeth Rodríguez Santillán**

Definición de la atención

La atención es una experiencia cognitiva evidente pero difícil de caracterizar (Richards, Reynolds & Courage, 2010). Para comprender esto comencemos con un ejercicio sencillo. En este instante su atención como lector está enfocada en este texto. Quizás para usted ahora mismo los sonidos a su alrededor resulten más interesantes, ¿ha notado cuál es su postura en este momento? Si le preguntásemos cuantas vocales tiene la palabra “rinoceronte”, ¿qué respondería? Sin duda, para dar respuesta a estas preguntas se requiere “atención”; sin embargo, decir cuándo comienza y cuándo termina es difícil de precisar, tan difícil como diferenciar la atención de otros procesos cognitivos como la percepción, la memoria, el lenguaje, las funciones ejecutivas o el aprendizaje, mismos que también se requieren para contestar a la pregunta.

Pero, ¿qué es la atención? Históricamente, Leibniz (1646-1716) fue uno de los primeros en describir, desde su perspectiva filosófica, el “fenómeno” de la atención, al señalar que este proceso puede ser voluntariamente enfocado hacia ciertos estímulos; a lo que llamó “un acto de querer”, o bien, pasivo, cuando un estímulo captura nuestra atención automáticamente (Van Zomeren & Brouwer, 1994).

De acuerdo con Markant y Amso (2016), la atención es un proceso selectivo, extremadamente complejo y cambiante, ya que el ambiente está determinado no sólo por

* Las autoras están adscritas a la Unidad de Investigación en Neurodesarrollo “Dr. Augusto Fernández Guardiola”, Instituto de Neurobiología, Universidad Nacional Autónoma de México.

las características físicas de los objetos, sino también por el interés, la motivación y las estrategias cognitivas personales implícitas en la percepción del estímulo.

Aunque la definición de atención ha evolucionado, su característica selectiva parece mantenerse a través del tiempo. La atención es un proceso de capacidad limitada, por lo que atender a dos estímulos que entran en competencia simultáneamente resulta altamente demandante. Focalizar la atención en un estímulo en particular implica inhibir el resto de los estímulos que actúan como elementos distractores, pertenezcan o no a la misma modalidad sensorial (Markant & Amso, 2013; Markant & Amso, 2014; Reynolds, 2015).

La atención tiene el objetivo de hacer coincidir los recursos de procesamiento mediante la manipulación de la maquinaria del cerebro, para que éste procese preferentemente los estímulos esperados mientras ignora lo irrelevante, pero sin dejar de monitorear todos los estímulos para poder enfrentar lo inesperado (Tsotsos, 2017; Tsotsos, 2019).

Bases neurales del proceso de la atención

Posner y Petersen (1990) atribuyeron a la atención la tarea de determinar qué estímulos del ambiente serán seleccionados para acceder a un procesamiento cognitivo posterior, es decir, la atención es “el incremento del procesamiento de estímulos relevantes”. Sus aportaciones sobre el sistema atencional siguen siendo hasta la fecha de las más aceptadas para el estudio y la comprensión de las bases neurales de la atención.

De acuerdo con Posner (1994), las redes neuronales involucradas en la atención llevan a cabo tres funciones: el mantenimiento del estado de alerta, la orientación y el control ejecutivo. Atender selectivamente a un estímulo implica a su vez procesos de focalización y orientación, así como activación de las funciones integrativas.

La red de alerta se encarga de la preparación del sistema de atención para percibir y procesar el estímulo. Durante los primeros meses de vida el estado de alerta cambia frecuentemente, mejorando de manera notable a medida que se incrementan los periodos de vigilia. Algunos estudios en adultos sugieren un mecanismo de control dual, integrado por un sistema de alertamiento pasivo que se establece tempranamente en el desarrollo y que es regulado por el sistema reticular ascendente, y un sistema de alertamiento tardío –también llamado cognitivo– que se desarrolla cuando el niño es capaz de regular sus funciones cerebrales; este último es esencial para mantener el foco de atención (Gomes, Molholm, Christodoulou, Ritter & Cowan, 2000).

La red de la orientación dirige el foco de atención hacia un estímulo o localización específica. Consta de tres momentos: la desfocalización del punto actual de focalización, el desplazamiento de la atención a otra localización espacial y la focalización hacia el nuevo punto de anclaje (Leclercq, 2002).

Finalmente, la red del control ejecutivo es responsable del mantenimiento del foco de atención que se acompaña de la inhibición de aquellos eventos que no tienen relación o que interfieren con la atención (Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum & Posner, 2005).

Desarrollo ontogénico de la atención

Hablar sobre el desarrollo de la atención resulta complicado por la dificultad ya conocida que representa separar este proceso de otros como la codificación de estímulos, la memoria, los mecanismos que regulan la toma de decisiones y los sistemas de respuesta implícitos (Gomes, Wolfson & Halperin, 2007; Ross-Sheehy, Oakes & Luck, 2011; Wu, Gopnik, Richardson & Kirkham, 2011). No obstante, varios autores han realizado importantes aportaciones al respecto.

El desarrollo de la atención muestra cambios dramáticos durante la infancia y se da en paralelo con la maduración de estructuras cerebrales (por ejemplo, corteza parietal y frontal) asociadas con el control de dicho proceso (Kushnerenko et al., 2002; Kushnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013; Posner, Rothbart, Sheese & Voelker, 2014; Richards, Reynolds & Courage, 2010).

Desde el nacimiento los circuitos neurales responsables de regular el estado de alerta comienzan a funcionar. El estado de alerta en el recién nacido cambia frecuentemente. En bebés de 2 y 3 meses parece mantenerse gracias a eventos externos como los horarios de alimentación. El estado de alerta mejora a medida que incrementan los periodos de vigilia (Colombo, 2001). Durante el segundo semestre de vida el estado de alerta incrementa significativamente y los mecanismos de orientación se establecen, debido a la maduración simultánea de las redes atencionales.

Los neonatos tienen la capacidad de orientar su atención hacia las características sobresalientes de los estímulos en forma primitiva e inespecífica; la orientación representa el primer paso en el desarrollo de la atención y hace alusión a cambios fisiológicos o conductuales asociados con la detección de estímulos relevantes para el niño (Gomes, Molholm, Christodoulou, Ritter & Cowan, 2000; Van de Weijer-Bergsma, Wijnroks & Jongmans, 2008). Durante el primer mes de vida, los lactantes son capaces de orientar su atención hacia estímulos con características físicas sobresalientes que aparecen sorpresivamente en su campo visual (Ross-Sheehy, Schneegans & Spencer, 2015). La atención a las características físicas de los objetos está presente desde el nacimiento, aunque en forma rudimentaria, pero no es sino hasta los 4 meses de edad cuando los lactantes son capaces de procesar características relacionadas con el color y la forma de los objetos como entidades separadas. Asimismo, la inhibición de estímulos distractores implícita en el proceso de orientación comienza a ser funcional entre los 3 y 6 meses de edad (Amso & Scerif, 2015; Johnson & Tucker, 1996).

La atención selectiva aparece entre los 3 y 6 meses y se consolida durante el resto del primer año de vida, implica un proceso dirigido internamente que ocurre cuando dos estímulos se presentan simultáneamente y se toma la decisión de atender a uno de ellos en detrimento del otro. Esta decisión dependerá en gran medida del número de distractores presentes en torno al objetivo, o bien, de la familiaridad que pudiera tenerse con alguno de los estímulos. Entre los sustratos anatómicos involucrados en esta función podemos mencionar al anterior, a los campos visuales frontales, a la corteza prefrontal y a la corteza del cíngulo; esta última se encarga de regular la ejecución de los movimientos sacádicos.

Desarrollo de la atención visual

Tradicionalmente, el desarrollo de la atención visual ha sido el más estudiado. De acuerdo con Zuluaga (2005), la atención visual se desarrolla simultáneamente con la maduración de cuatro vías neurofisiológicas específicas que determinan la capacidad de los bebés para responder a estímulos particulares:

- *Primera vía.* Durante los primeros 2 meses de vida, el lactante es capaz de fijar y seguir visualmente objetos de manera inconsistente. Este estadio se ha asociado en paralelo con la maduración del sistema magnocelular responsable de procesar características de los estímulos relacionadas con el contraste, la forma, la profundidad y el movimiento.
- *Segunda vía.* Entre los 2 y 3 meses de edad entra en funcionamiento una segunda vía, que permite al bebé tanto fijar y seguir un objeto como mantener su atención. El sistema magnocelular continúa participando activamente y la corteza visual primaria entra en función además del área cortical medio temporal (área asociada con los movimientos oculares). En esta etapa el lactante es capaz de realizar el seguimiento de un objeto de manera coherente y suave.
- *Tercera vía.* A los 4 meses un bebé puede fijar un objeto, seguirlo y anticipar su respuesta al movimiento del estímulo. En esta etapa se comienza a hablar de la participación de la corteza frontal, estructura que ha empezado a recibir información de la corteza visual primaria. La contribución del sistema magnocelular continúa y el sistema parvocelular responsable del procesamiento del color entra en acción.
- *Cuarta vía.* A partir de los 5 meses, el bebé fija, mantiene su atención, se anticipa al movimiento y además se desprende del objeto visual, es decir, es capaz no sólo de focalizar su atención, sino también de desfocalizarla. Esta última vía se desarrolla durante los primeros 8 meses de vida y se encarga de controlar y regular los movimientos oculares. Durante esta etapa gran parte de las estructuras neuroanatómicas y fisiológicas (sistemas parvo y magnocelular, estructuras subcorticales y lóbulos: parietal, temporal, frontal) que participan en la regulación del procesamiento del estímulo visual alcanzan un nivel madurativo funcional.

Históricamente, la atención visual ha sido más estudiada, a pesar de la importancia que representa la atención auditiva para la adquisición del lenguaje. Algunas investigaciones enfocadas en el estudio de la atención visual en lactantes se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1
Estudios sobre el desarrollo de la atención en lactantes

<i>Estudio</i>	<i>Tarea</i>	<i>Edad</i>	<i>Hallazgo</i>
Conductual Fijación de la mirada Frecuencia cardiaca (Courage, Reynolds & Richards, 2006)	<i>Tipo de estímulos que llaman más la atención.</i> Estímulos estáticos y dinámicos como: caras, patrones acromáticos y material de Plaza Sésamo.	Lactantes 14 a 52 semanas.	Tiempo de fijación de la mirada fue mayor para estímulos dinámicos como caras o material de Plaza Sésamo.
Conductual Fijación de la mirada (Ross-Sheehy, Oakes & Luck, 2011)	<i>Utilización de claves para dirigir la Atención.</i> Clave válida. Clave inválida.	Lactantes 5 y 10 meses.	Los lactantes de 10 meses prefieren las claves válidas.
Conductual Fijación de la mirada (Farzin, Rivera & Whitney, 2011)	<i>Velocidad de presentación de estímulos.</i> Cuadrado parpadeante a 0.2, 0.5, 1 y 2 Hz.	Lactantes 6, 9, 12 y 15 meses.	Preferencia a la presentación de estímulos a latencias a partir de 0.5 Hz. Bebés de mayor edad muestran mayor tiempo de fijación visual.
Conductual Fijación de la mirada (Wass, Porayska-Pomsta & Johnson, 2011)	Entrenamiento en atención sostenida. Target (mariposa, estrella, elefante) y distractores (nubes y árboles)	Lactantes 11 meses.	Lactantes entrenados mayor capacidad para dirigir el foco de atención.
Conductual Electrofisiológico (Richards, 2005)	Atención abierta y encubierta.	Lactantes 14 y 20 semanas. ERPs.	Mayor amplitud de voltaje en el componente P1 (50-150ms) para la condición válida en regiones occipitales.
Conductual Electrofisiológico (Richards, 2003)	Atención vs. no atención. Estímulos frecuentes vs. infrecuentes	Lactantes 4.5 y 7.5 meses.	No era de mayor amplitud en atención sin diferencias en la del estímulo.
(Ross-Sheehy, Schneegans & Spencer, 2015)	Clave válida, inválida, doble clave, sin clave y tono.	Lactantes 5, 7 y 9 meses.	Los tiempos de reacción disminuyen con la edad. Los menores tiempos de reacción son para las condiciones válidas. Menor número de respuestas correctas para la condición inválida en todos los grupos.

Desarrollo de la atención auditiva

Los bebés sienten una preferencia natural por los sonidos propios del habla; sin embargo, existen otros estímulos auditivos inmersos en el entorno que requieren ser atendidos, ya que éstos podrían representar una señal de oportunidad para que sus necesidades básicas sean satisfechas, o bien ser indicadores de peligro ante el cual deben reaccionar, discriminándolos de aquellos estímulos que resulten irrelevantes. Lo anterior podría explicar por qué el sistema auditivo humano es sensible a variaciones acústicas incluso antes de nacer (Kushnerenko et al., 2002; Kushnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013). Asimismo, los bebés son capaces de reaccionar selectivamente a la voz materna y pueden discriminar una gran variedad de señales auditivas, por ejemplo cambios leves en los fonemas y en la secuencia de los tonos (Gomes, Molholm, Christodoulou, Ritter & Cowan, 2000; Avecilla-Ramirez et al., 2011; Carlier et al., 2016).

En los lactantes, la orientación de la atención auditiva puede medirse observando respuestas motoras espontáneas como el giro de la cabeza o la quietud motora ante la presentación de sonidos. Esta habilidad está presente desde los primeros días de vida y puede ser evocada por una amplia variedad de señales (tonos, ruidos y voces humanas). La respuesta de orientación es una combinación de respuestas manifiestas y encubiertas asociadas con la búsqueda y el procesamiento preferencial de nueva información (Sokolov, Spinks, Näätänen & Lyytinen, 2002). Las respuestas de orientación más comunes incluyen movimientos oculares y corporales, respuestas de succión, así como reacciones autonómicas (cambios en la respuesta cardíaca y la conductancia de la piel (Clarkson & Berg, 1983; Morrongiello, Fenwick, Hillier & Chance, 1994; Richards & Casey, 1991), la desincronización del electroencefalograma (EEG) y el aumento de ciertos componentes de los Potenciales Relacionados con Eventos (PRES) (Sokolov, Spinks, Näätänen & Lyytinen 2002; Kushnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013), como veremos más adelante.

Medición y evaluación de la atención en lactantes

Debido a que la atención es determinante para seleccionar qué información es relevante para ser sometida a un procesamiento cognitivo posterior, en neonatología la evaluación de la capacidad de orientación hacia sonidos como campanas, sonajas, juguetes sonoros e incluso la voz humana es frecuentemente utilizada como parte de la exploración clínica (Riese, 1998; Van den Bergh, Otte, Braeken, Van de Heuvel & Winkler, 2013). Estas evaluaciones permiten observar si la funcionalidad de este proceso corresponde con los hitos descritos en la literatura. Por ejemplo, en el estudio de Salapatek, Aslin, Simonson & Pulos (1980) se afirma que los lactantes desde las cinco semanas cuentan con la habilidad para atender a estímulos visuales y que la respuesta puede ser observada por la ejecución de movimientos sacádicos que el

lactante realiza al rastrear un objeto que se desplaza lentamente dentro de su campo visual. Además, mencionan que desde el nacimiento y hasta los 3 meses los bebés muestran preferencia estímulos de alto contraste. Asimismo, enfatizan que durante el primer mes de vida se pueden observar periodos de fijación prolongada (algunas veces durante más de 30 minutos), debido a la limitada capacidad para liberar la atención. La persecución y el rastreo de los estímulos visuales se inicia a los 2 meses, y entre los 3 y los 6 meses los movimientos oculares suelen ser más rápidos e incluso anticipatorios.

La Escala de Evaluación de la Atención Selectiva (EEAS)

El estudio de Salapatek y colaboradores (1980), entre otros, permitió el desarrollo de la Escala de Evaluación de la Atención Selectiva (EEAS), instrumento diseñado con la finalidad de evaluar la atención en forma rápida, tanto en bebés con antecedentes de riesgo de daño neurológico como en lactantes sin sospecha de daño. La EEAS está integrada por 46 indicadores divididos en dos subescalas: atención visual y atención auditiva. La subescala visual evalúa la capacidad para detectar, localizar o seguir de forma selectiva distintos estímulos que se presentan durante la prueba (tarjetas, espejo, aro, cubos, pelota), mientras que la subescala auditiva mide la respuesta a estímulos auditivos como la voz humana y juguetes sonoros. Las respuestas de los bebés se califican asignando una puntuación que va de 0 a 2; los puntajes totales se comparan contra una tabla de normas para determinar si el desarrollo de la atención se encuentra dentro de los parámetros normales o no (Gutiérrez-Hernández et al., 2017).

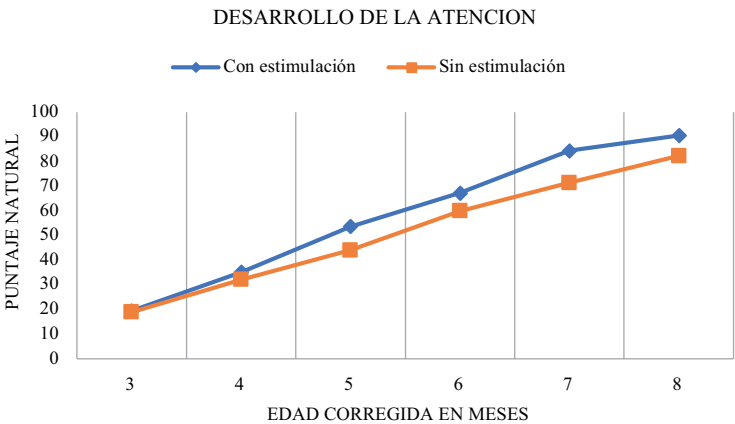
Estudio de la atención en bebés prematuros

Varios estudios han demostrado que los bebés prematuros suelen estar en riesgo de presentar alteraciones en el desarrollo que se traducen en disfunciones cognitivas, dificultades de aprendizaje, lenguaje, memoria, deficiencias en la atención, problemas de conducta y socialización (Hack et al., 2000; Foulder-Hughes & Cooke, 2003; Leviton & Gressens, 2007; Barrera-Reséndiz, 2010; Back & Miller, 2014; Harmony et al., 2016).

En 2018, publicamos un estudio muy interesante en el que demostramos el efecto de la exposición a un Programa Temprano de Estimulación Cognitiva (PTEC) diseñado específicamente para “neurohabilitar” la atención en un grupo de lactantes prematuros diagnosticados con encefalopatía del recién nacido (Gutiérrez-Hernández, Harmony & Carlier, 2018), reconocida como la forma de daño neurológico más frecuente en bebés nacidos antes de término (Back, 2014; Kinney & Volpe, 2012). En la Figura 2 mostramos que, cuando los bebés se integran al programa de estimulación temprana PTEC, suelen obtener puntajes más altos en la prueba EEAS al ser compara-

dos contra un grupo también de prematuros que no fue expuesto a esta condición. Lo que se muestra en este gráfico es el promedio del puntaje total obtenido en las evaluaciones mensuales realizadas a partir de que los bebés ingresaron al protocolo (desde los 3 hasta los 8 meses de edad corregida). La línea azul representa un grupo de 10 prematuros que recibieron estimulación, mientras que la línea naranja es el promedio de la puntuación obtenida por 10 bebés también nacidos antes de término pero que no recibieron este apoyo durante los primeros meses de vida.

Figura 1
Desarrollo de la atención en prematuros con daño neurológico



Nota: En el eje de las *x* se representa la edad en meses. El eje *y* corresponde a la puntuación natural. En azul se representa al grupo de prematuros que recibió estimulación y el promedio de las puntuaciones naturales obtenidas en la EAS a través del tiempo. El grupo de prematuros que no recibió estimulación se representa en naranja.

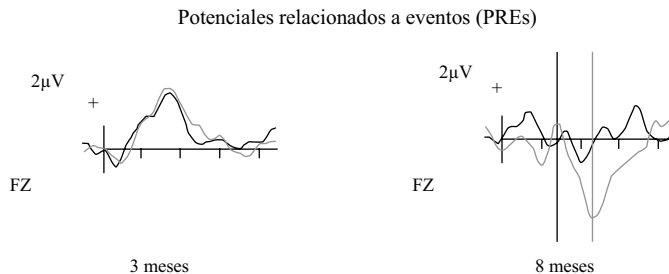
Aunque las evaluaciones conductuales resultan de gran utilidad y a menudo son la herramienta de elección por los profesionales del neurodesarrollo en la práctica clínica, su uso combinado con otras técnicas de medición como la electrofisiología, particularmente los PRES (a los que hemos hecho referencia anteriormente) permite obtener información más precisa respecto al desarrollo no sólo de la atención, sino de prácticamente cualquier proceso cognitivo. Por ello, en nuestro estudio, además de los datos conductuales descritos sobre el desarrollo de la atención en bebés prematuros con diagnóstico de daño neurológico, optamos por obtener resultados electrofisiológicos a través de los PRES para confirmar nuestros hallazgos.

Grosso modo, los PRES son cambios de voltaje en forma de onda generados en el Sistema Nervioso Central (SNC) en respuesta a la presentación de un estímulo (vi-

sual, auditivo, somestésico o motor) o a la realización de alguna tarea. Se registran sobre el cuero cabelludo y reflejan la actividad postsináptica de grupos de neuronas que comparten una localización común. Una vez obtenido el registro, se promedia la actividad eléctrica relacionada con el estímulo y se elimina la actividad electroencefalográfica que tiene un comportamiento aleatorio (Niedermeyer & Da Silva, 2005). El PRE promedio se visualiza en forma de ondas que se identifican por su tiempo de aparición (latencia, en milisegundos), su voltaje (amplitud, en microvoltios) y su polaridad (voltaje positivo o negativo) y en función de eso se nombran. De esta forma, es como una onda positiva que aparece alrededor de los 300 milisegundos (ms) típicamente relacionada con el proceso de atención es referida en la literatura como P300 (Hillyard, Hink, Schwent & Picton, 1973; Hink, Hillyard & Benson, 1978). Algunas veces encontraremos PRES que se nombran por su localización sobre el cuero cabelludo, como el Nc (componente central negativo) (Fellman et al., 2004; Kurshnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013) relacionado también con el proceso de la atención.

Dicho lo anterior, en la Figura 3 se muestran los PRES obtenidos como resultado de nuestro estudio, mismos que explicaremos a continuación.

Figura 2
Los Potenciales Relacionados a Eventos y la medición de la atención en bebés



Nota: En rojo se representa al grupo de prematuros expuesto a estimulación temprana y en negro el que no recibió estimulación. La imagen de la izquierda corresponde a los PRES obtenidos a los 3 meses de edad corregida y el de la derecha a los 8 meses.

Como se puede observar, la Figura 3 está integrada por dos imágenes que representan a nuestros grupos de bebés prematuros, sólo que en esta ocasión la medición electrofisiológica no se ha realizado de forma mensual, sino únicamente a los 3 y a los 8 meses de edad corregida. La línea roja representa el gran promedio de las respuestas del grupo que ha recibido estimulación (PTEC), mientras que la línea negra corresponde al grupo que no se expuso a esta intervención. Tratemos de analizar esta

información como un juego de semejanzas y diferencias ¿Qué diferencia encuentra entre la imagen que obtuvimos a los 3 meses y la que obtuvimos a los 8 meses de edad corregida? Lo primero que podemos observar es que a los 3 meses la respuesta de ambos grupos es muy similar, ambos presentan un pico positivo alrededor de los 300 milisegundos, al parecer la onda P300 relacionada con la atención. ¿A qué podríamos atribuir que esta respuesta sea tan similar? Partamos de lo que hemos leído a lo largo de este capítulo. Recordemos que, de acuerdo con lo descrito en la literatura, los bebés desde que nacen tienen la capacidad de responder selectivamente a los estímulos del ambiente, “es parte de nuestra naturaleza”, y aunque nuestros lactantes cursaron con daño neurológico, dicha respuesta está presente, pese a que, de manera rudimentaria, prácticamente de forma idéntica en ambos grupos antes de que uno de ellos fuera expuesto al PTCE.

Ahora “atendamos” a la imagen de la derecha (correspondiente a los 8 meses) obtenida después de que uno de los grupos ha sido expuesto a estimulación. Como se puede observar, existen grandes diferencias con respecto a los PRES obtenidos antes de la intervención. Primero, el pico positivo que vimos a los 3 meses ha disminuido a los 8 meses (cursor negro). Segundo, ha aparecido un pico negativo (cursor rojo) visiblemente de mayor amplitud (μV) en el grupo que recibió estimulación. Estas son señales de maduración del sistema de atención, mismas que han sido descritas con anterioridad en un gran número de estudios. El componente negativo de gran amplitud que observamos a los 8 meses es el componente Nc asociado clásicamente con el desarrollo ontogénico de la atención (Dehaene-Lambertz & Dehaene, 2001; Fellman et al., 2004; Kushnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013), lo cual quiere decir que nuestro grupo de prematuros expuestos a estimulación temprana ha desarrollado una mejor maquinaria para responder selectivamente a los estímulos.

Los PRES que se muestran corresponden al gran promedio obtenido mediante un electrodo colocado sobre el cuero cabelludo en Fz (región fronto-central) y representa el gran promedio de la respuesta a un estímulo auditivo atractivo que se presentó de forma sorpresiva y aleatoria. Los cambios madurativos observados tanto conductual como electrofisiológicamente en los lactantes expuestos a estimulación temprana nos hacen pensar que es posible habilitar el proceso de atención desde los primeros meses de vida, aun cuando existe algún tipo de lesión en el sistema nervioso central.

Estudios previos han destacado el efecto positivo de la estimulación temprana en el desarrollo motor y mental de los prematuros (White-Traut, Nelson, Silvestri, Cunningham & Patel, 1997), algunos a través de la exposición a programas específicos como los del Proyecto Avon para Infantes Prematuros en el Reino Unido (APIP, 1998) o el Programa Temprano de Intervención en el Desarrollo (SPEEDI, por sus siglas en inglés) (Dusing, Brown, Van Drew, Thacker & Hendricks-Muñoz, 2015). El beneficio de la estimulación temprana en la regulación de lactantes que han cursado con diagnóstico de leucoencefalopatía también ha sido reportado en trabajos de investigación como los de Ohgi, Fukuda, Akiyama y Gima en 2004, tras la aplicación del Programa

de Intervención Temprana (EIP, por sus siglas en inglés) y por el grupo de White-Traut en 1999, quienes al utilizar estimulación multisensorial observaron el incremento en los periodos de alerta de los bebés.

En conclusión, como se ha descrito a lo largo de este capítulo, la atención es un proceso cognitivo elemental para seleccionar qué información es relevante para ser sometida a un nivel superior de procesamiento. La atención está presente desde el nacimiento y forma parte del equipamiento cognitivo que la naturaleza nos ha proporcionado como especie, incluso ante la presencia de daño neurológico asociado a factores de riesgo pre o perinatales. Si bien es cierto que condiciones clínicas como la prematuridad reducen la eficiencia del proceso, la implementación temprana de programas de intervención favorece en gran medida su neuro-habilitación.

Referencias

- Amso, D. & Scerif, G. (2015). The attentive brain: insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(10), 606. doi: 10.1038/nrn4025.
- Avecilla-Ramírez, G. N., Ruiz-Correa, S., Marroquin, J. L., Harmony, T., Alba, A. & Mendoza-Montoya, O. (2011). Electrophysiological auditory responses and language development in infants with periventricular leukomalacia. *Brain and language*, 119(3), 175-183. doi: 10.1016/j.bandl.2011.06.002.
- APIP: Avon Premature Infant Project. (1998). Randomised trial of parental support for families with very preterm children. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, 79, F4–F11. doi: 10.1136/fn.79.1.F4.
- Back, S. A. & Miller, S. P. (2014). Brain injury in premature neonates: A primary cerebral dysmaturation disorder? *Annals of Neurology*, 75, 469-486. doi: 10.1002/ana.24132.
- Barrera-Reséndiz, J. (2010). *Terapia neurohabilitatoria*. Mexico City, Mexico: UNAM.
- Carlier, M. E. M., Harmony, T., Mendoza-Montoya, O., Marroquin, J. L., Jackson-Maldonado, D. & Ricardo-Garcell, J. (2016). Electrophysiological auditory response to acoustically modified syllables in preterm and full-term infants. *Journal of Neurolinguistics*, 38, 14-25. doi: 10.1016/j.jneuroling.2015.10.002.
- Clarkson, M. G. & Berg, W. K. (1983). Cardiac orienting and vowel discrimination in newborns: Crucial stimulus parameters. *Child Development*, 54, 162-171. doi: 10.2307/1129873.
- Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 337-367. doi: 10.1146/annurev.psych.52.1.337.
- Courage, M. L., Reynolds, G. D. & Richards, J. E. (2006). Infants' attention to patterned stimuli: Developmental change from 3 to 12 months of age. *Child development*, 77(3), 680-695. doi: 10.1111/j.1467-8624.2006.00897.x.

- Dehaene-Lambertz, G. & Pena, M. (2001). Electrophysiological evidence for automatic phonetic processing in neonates. *NeuroReport*, 12, 3155–3158. doi: 10.1097/00001756-20011008000034.
- Dusing, S. C., Brown, S. E., Van Drew, C. M., Thacker, L. R. & Hendricks-Muñoz, K. D. (2015). Supporting play exploration and early development intervention from NICU to home: A feasibility study. *Pediatric Physical Therapy*, 27, 267–274. doi: 10.1097/PEP.0000000000000161.
- Fan J., McCandliss T. B. D., Fossella J., Flombaum J. I. & Posner M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26, 471-479. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.02.004.
- Farzin, F., Rivera, S. M. & Whitney, D. (2011). Time crawls: the temporal resolution of infants' visual attention. *Psychological science*, 22(8), 1004-1010. doi:10.1177/0956797611413291.
- Fellman, V., Kushnerenko, E., Mikkola, K., Ceponiene, R., Leipälä, J. & Näätänen, R. (2004). Atypical auditory event-related potentials in preterm infants during the first year of life: A possible sign of cognitive dysfunction? *Pediatric Research*, 56, 291-297. doi:10.1203/01.PDR.0000132750.97066.B9.
- Foulder-Hughes, L. A. & Cooke, R. W. I. (2003). Motor, cognitive, and behavioural disorders in children born very preterm. *Developmental medicine and child neurology*, 45(2), 97-103. doi: 10.1017/S0012162203000197.
- Gomes, H., Molholm, S., Christodoulou, C., Ritter, W. & Cowan, N. (2000). The development of auditory attention in children. *Frontiers in Bioscience: A Journal and Virtual Library*, 5. doi: 10.5749/j.cttsmk0.7.
- Gomes, H., Wolfson, V. & Halperin, J. M. (2007). Is there a selective relationship between language functioning and auditory attention in children? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 29(6), 660-668. doi: 10.1080/13803390600920455.
- Gutiérrez-Hernández, C. C., Harmony, T., AVECILLA-Ramírez, G. N., Barrón-Quiroz, I., Guillén-Gasca, V., Trejo-Bautista, G. & Bautista-Olvera, M. M. (2017). Infant Scale of Selective Attention: A proposal to assess cognitive abilities. *Revista Evaluar*. doi: 10.35670/1667-4545.v17.n1.17077.
- Gutiérrez-Hernández, C. C., Harmony, T. & Carlier, M. E. M. (2018). Behavioral and electrophysiological study of attention process in preterm infants with cerebral white matter injury. *Psychology & Neuroscience*, 11(2), 132-145 doi: 10.1037/pne0000127.
- Hack, M., Wilson-Costello, D., Friedman, H., Taylor, G. H., Schluchter, M. & Fanaroff, A. A. (2000). Neurodevelopment and predictors of outcomes of children with birth weights of less than 1000 g: 1992-1995. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 154(7), 725-731. doi:10.1001/archpedi.154.7.725.
- Harmony, T., Barrera-Reséndiz, J., Juárez-Colín, M. E., Carrillo-Prado, C., del Consuelo Pedraza-Aguilar, M., Ramírez, A. A. & Ricardo-Garcell, J. (2016).

- Longitudinal study of children with perinatal brain damage in whom early neurohabilitation was applied: Preliminary report. *Neuroscience letters*, 611, 59-67. doi: 10.1016/j.neulet.2015.11.013.
- Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L. & Picton, T. W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180. doi: 10.1126/science.182.4108.177.
- Hink, R. F., Hillyard, S. A. & Benson, P. J. (1978). Event-related brain potentials and selective attention to acoustic and phonetic cues. *Biological Psychology*, 6, 1-16. doi: 10.1016/03010511(78)90002-9.
- Johnson, M. H. & Tucker, L. A. (1996). The development and temporal dynamics of spatial orienting in infants. *Journal of experimental child psychology*, 63(1), 171-188. doi: 10.1006/jecp.1996.0046.
- Kinney, H. & Volpe, J. (2012). Modeling the Encephalopathy of Prematurity in Animals: The Important Role of Translational Research. *Neurology research international*, 295-389. doi:10.1155/2012/295389.
- Kushnerenko, E., Ceponiene, R., Balan, P., Fellman, V., Huotilainen, M. & Näätäne, R. (2002). Maturation of the auditory event-related potentials during the first year of life. *NeuroReport*, 13, 47-51. doi:10.1097/00001756-20020121000014.
- Kushnerenko, E. V., Van den Bergh, B. R. & Winkler, I. (2013). Separating acoustic deviance from novelty during the first year of life: A review of event-related potential evidence. *Frontiers in Psychology*, 4, 595. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00595.
- Leclercq, M. (2002). Theoretical aspects of the main components and functions of attention. En: Leclercq M., Zimmermann, P. (Eds.). *Applied Neuropsychology of attention*. Ed. Psychology Press. New York, U.S.A. p. 3-55.
- Leviton, A. & Gressens, P. (2007). Neuronal damage accompanies perinatal white-matter damage. *Trends in neurosciences*, 30(9), 473-478. doi: 10.1016/j.tins.2007.05.009.
- Markant, J. & Amso, D. (2013). Selective memories: Infants' encoding is enhanced in selection via suppression. *Developmental Science*, 16, 926-940. doi: 10.1111/desc.12084.
- Markant, J. & Amso, D. (2014). Leveling the playing field: Attention mitigates the effects of intelligence on memory. *Cognition*, 131, 195-204. doi: 10.1016/j.cognition.2014.01.006.
- Markant, J. & Amso, D. (2016). The Development of Selective Attention Orienting is an Agent of Change in Learning and Memory Efficacy. *Infancy*, 1:21(2):154-176. doi: 10.1111/inf.12100.
- Morronegiello, B., Fenwick, K., Hillier, L. & Chance, G. (1994). Sound localization in newborn human infants. *Developmental Psychobiology*, 27, 519-538. doi:10.1002/dev.420270805.

- Niedermeyer, E. & da Silva, F. L. (Eds.). (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Ohgi, S., Fukuda, M., Akiyama, T. & Gima, H. (2004). Effect of an early intervention programme on low birthweight infants with cerebral injuries. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 40, 689-695. doi: 10.1111/j.1440-1754.2004.00512.x.
- Posner, M. L. & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. doi: 10.1146/annurev.neuro.13.1.25.
- Posner, M. I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(16), 7398-7403. doi:10.1073/pnas.91.16.7398.
- Posner, M. I., Rothbart, M. K., Sheese, B. E. & Voelker, P. (2014). Developing attention: Behavioral and brain mechanisms. *Advances in Neuroscience*, 2014, Article 405094. doi:10.1155/2014/405094.
- Reynolds, G. D. (2015). Infant visual attention and object recognition. *Behavioural Brain Research*, 285, 34- 43. doi: 10.1016/j.bbr.2015.01.015.
- Richards, J. E. (2003). Attention affects the recognition of briefly presented visual stimuli in infants: An ERP study. *Developmental Science*, 6(3), 312-328. doi: 10.1111/1467-7687.00287.
- Richards, J. E. (2005). Localizing cortical sources of event-related potentials in infants' covert orienting. *Developmental science*, 8(3), 255-278. doi: 10.1111/j.1467-7687.2005.00414.x.
- Richards, J. E., Reynolds, G. D. & Courage, M. L. (2010). The Neural Bases of Infant Attention. *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 41-46. doi:10.1177/0963721409360003.
- Richards, J. E. & Casey, B. J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, 28, 43-53. doi: 10.1111/j.1469-8986.1991.tb03385.x.
- Riese, M. L. (1998). Predicting infant temperament from neonatal reactivity for AGA/SGA twin pairs. *Twin Research and Human Genetics*, 1, 65-70. doi: 10.1375/twin.1.2.65.
- Ross-Sheehy, S., Oakes, L. M. & Luck, S. J. (2011). Exogenous attention influences visual short-term memory in infants. *Developmental Science*, 14(3), 490-501. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00992.x.
- Ross-Sheehy, S., Schneegans, S. & Spencer, J. P. (2015). The infant orienting with attention task: Assessing the neural basis of spatial attention in infancy. *Infancy*, 20(5), 467-506. doi: 10.1111/inf.12087.
- Salapatek, P., Aslin, R. N., Simonson, J. & Pulos, E. (1980). Infant saccadic eye movements to visible and previously visible targets. *Child Development*, 51(4), 1090. doi.: 10.2307/1129548.

- Sokolov, E. N., Spinks, J. A., Näätänen, R. & Lyytinen, H. (2002). The orienting response in information processing. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. doi: 10.4324/9781410601490.
- Tsotsos, J. K. (2017). Complexity Level Analysis Revisited: What Can 30 Years of Hindsight Tell Us about How the Brain Might Represent Visual Information? *Frontiers in psychology*, 8, 1216. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01216.
- Tsotsos, J. K. (2019). Focus: Attention Science: Attention: The Messy Reality. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 92(1), 127. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6430176/>.
- Van den Bergh, B., Otte, R., Braeken, M., van den Heuvel, M. & Winkler, I. (2013). Does prenatal exposure to maternal anxiety influence information processing in two-month-old infants? An auditory ERP study. *Biological Psychiatry*, 73, 132.
- Van de Weijer-Bergsma, E., Wijnroks, L. & Jongmans, M. J. (2008). Attention development in infants and preschool children born preterm: A review. *Infant Behavior & Development*, 31, 333–351. doi :10.1016/j.infbeh.2007.12.003.
- Van Zomeren, A. H. & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. Oxford University Press.
- Wass, S., Porayska-Pomsta, K. & Johnson, M. H. (2011). Training attentional control in infancy. *Current biology*, 21(18), 1543-1547. doi: 10.1016/j.cub.2011.08.004.
- White-Traut, R. C., Nelson, M. N., Silvestri, J. M., Cunningham, N. & Patel, M. (1997). Responses of preterm infants to unimodal and multimodal sensory intervention. *Pediatric Nursing*, 23, 169-177.
- White-Traut, R. C., Nelson, M. N., Silvestri, J. M., Patel, M., Vasan, U., Han, B. K. & Bradford, L. (1999). Developmental intervention for preterm infants diagnosed with periventricular leukomalacia. *Research in Nursing & Health*, 22, 131-143. doi: 10.1002/(SICI)1098-240X(199904)22:2<131::AID-NUR5<3.0.CO;2-E.
- Wu, R., Gopnik, A., Richardson, D. C. & Kirkham, N. Z. (2011). Infants learn about objects from statistics and people. *Developmental Psychology*, 47(5), 1220-1229. doi: 10.1037/a0024023.
- Zuluaga, J.A. (2005). *Neurodesarrollo y estimulación*. Ed. Panamericana. Colombia. 3ra. Reimpresión.

NEURODESARROLLO DEL PROCESAMIENTO DE ROSTROS EMOCIONALES EN EL PRIMER AÑO DE VIDA

*Cintli Carolina Carbajal Valenzuela**

Las emociones son un campo de estudio extremadamente amplio. Las situaciones de la vida de un individuo en las que las emociones están involucradas son tantas, que difícilmente podrían abordarse por completo en un libro y menos en un capítulo.

Desde las neurociencias se han hecho esfuerzos interesantes por empezar un estudio de las emociones basado en la evidencia. Estos estudios son necesariamente acotados y requieren tomar una pequeña parte del gran fenómeno que implica la emoción. Aunque ya son muchos los aportes de los distintos grupos que en todo el mundo investigan a las emociones desde este marco conceptual, nuestro conocimiento sigue siendo limitado y tenemos grandes retos por delante.

En ese mismo sentido, el presente capítulo se propone hablar de las emociones de forma acotada, abordando el neurodesarrollo del procesamiento de rostros emocionales en el primer año de vida. Desde nuestra perspectiva, los estudios suficientemente específicos son los que nos pueden dar un conocimiento profundo de los fenómenos complejos de la conducta, en especial de la conducta humana. Pensamos también que este conocimiento profundo es el que puede fundamentar, en último término, la intervención ética en las alteraciones del neurodesarrollo.

Para lograr nuestro objetivo, consideramos necesario dejar claros dos elementos: qué es la emoción y cuál es su base biológica. Por lo que dedicamos la parte inicial sólo a definirla (podríamos incluso decir que no existe consenso aún); la segunda

* Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro.

parte aborda la base biológica de la emoción tanto en su componente periférico, “lo que sentimos”, como en su componente central, “lo que pensamos” cuando experimentamos una emoción, y en la tercera parte revisamos cómo durante el primer año de vida se avanza rápidamente en la capacidad para procesar, identificar, clasificar y responder al principal estímulo emocional del lactante: el rostro humano que expresa una emoción.

Esta capacidad de desarrollo temprano representa la base de todos los procesos que dependen de la emoción, desde el desarrollo social que inicia en la relación con el principal cuidador hasta la capacidad de regulación emocional que inicia bastante más tardíamente.

Definición de la emoción

Las ideas acerca de la emoción surgieron desde que el hombre se hizo las primeras preguntas sobre su existencia. La teoría de “los cuatro humores” propuesta por Hipócrates, aproximadamente cuatro siglos antes de nuestra era, es una muestra del antiguo interés en las emociones. Sin embargo, por mucho tiempo las emociones fueron poco tomadas en cuenta en la investigación científica e incluso se consideraba que eran algo “separado” de los procesos cognitivos. Actualmente, las emociones estudiadas desde la neurociencia cognitiva representan un campo fértil de investigaciones que, gracias también al avance en las técnicas imagenológicas y electrofisiológicas, nos permiten conocer cada vez mejor del funcionamiento cerebral.

Hablemos brevemente de cómo ha ido evolucionando más recientemente la historia del estudio de las emociones con el objetivo de empezar a definir las. En 1855, Herbert Spencer escribió que el estado mental conocido como emoción no era diferente del estado mental conocido como cognición y que la única diferencia entre éstos era el énfasis que hacían en ciertos contenidos mentales. Más adelante, en 1872, Charles Darwin publicó su libro *La expresión de las emociones en el hombre y los animales*, el cual es considerado uno de los primeros tratados sobre emoción. En su libro, Darwin expresó tres ideas fundamentales: la expresión de las emociones es innata y forma parte de la herencia evolutiva, los movimientos faciales son la expresión de las emociones y permiten desplegar información hacia los otros seres vivos y algunas especies no humanas tienen emociones. Aunque las teorías de Darwin sobre la expresión emocional no fueron muy tomadas en cuenta por sus contemporáneos, Paul Ekman y sus colaboradores confirmaron algunas de sus hipótesis muchos años después, entre 1960 y 1980. Estos trabajos pueden verse materializados en una serie de artículos entre los que se encuentra la publicación de las fotografías de afectos faciales en 1976 (POFA, por sus siglas en inglés) (Ekman & Friesen, 1976).

En 1884, Carl Lange y William James propusieron un modelo explicativo en el cual la experiencia cognitiva de la emoción era secundaria a la expresión fisiológica

de la misma. Es decir, la experiencia consciente de una emoción sucedía sólo cuando la corteza cerebral recibía señales de los cambios fisiológicos que ocurren a nivel periférico, lo que permitió llegar a conclusiones provocativas como que no llorábamos por estar tristes, sino que estábamos tristes porque llorábamos. Este modelo era contrario a lo descrito por otros teóricos contemporáneos respecto al orden en que ocurrían los eventos que formaban la emoción, como David Irons, quien pensaba que una vez que la experiencia consciente de la emoción sucedía, se desencadenaban los componentes periféricos (Gendron & Feldman Barrett, 2009).

Asimismo, la propuesta Lange-James fue criticada en 1920 por Walter Cannon, quien describió que las emociones intensas desencadenaban una reacción de emergencia que se daba en una respuesta de tipo todo o nada, mediada por el componente simpático del sistema nervioso autónomo. Además propuso que esta respuesta fisiológica era demasiado indiferenciada e independiente del estímulo como para transmitir información específica y detallada a la corteza cerebral sobre la naturaleza de un acontecimiento emocional. Más tarde sabríamos que ambos componentes suceden más o menos simultáneamente, lo que nos permite tener una experiencia emocional integral (Iversen, Kupfermann & Kandel, 2004).

En 1937, James Papez propuso la primera red neural de la emoción, denominada circuito de Papez, la cual fue delimitada y detallada más adelante en 1949 por Paul MacLean, quien propuso el concepto de sistema límbico. El sistema límbico incluye estructuras como el giro cingulado, el giro parahipocampal, el hipocampo, el giro dentado, el subículo, el área septal, el núcleo accumbens, la corteza orbitofrontal, la amígdala y las regiones que conectan a estas estructuras, entre las que se encuentra el fórnix. Aunque el término sistema límbico sigue siendo utilizado, las investigaciones recientes muestran que este no ofrece una descripción coherente de la red neural de la emoción (Pezzoa, 2008).

El estudio de la emoción ha incluido intentos por definirla; sin embargo, aún no existe consenso sobre qué es la emoción. En 1919, el psicólogo John Watson describió la emoción como un patrón de reacción hereditario que envuelve cambios profundos en los mecanismos corporales, en particular en los sistemas viscerales y glandulares. Paul Young, en 1943, describió la emoción como una perturbación intensa, de origen psicológico, con participación de la conducta, la experiencia consciente y el funcionamiento visceral. En 1962, Silvan Tomkins propuso la emoción como un estado que se caracteriza por la tendencia a actuar de una forma particular (Gendron & Feldman Barrett, 2009).

La definición que nos parece más adecuada es la propuesta por Antonio Damasio (2002), quien definió que la emoción es una colección específica y consistente de respuestas fisiológicas provocada por ciertos sistemas cerebrales cuando al organismo se le presenta interna o externamente cierto objeto o situación.

M.R. Bennett y P.M.S. Hacker propusieron, en 2005, una definición diferencial de emoción distinguiéndola de agitación y de estado de ánimo. Describieron que la

categoría sentimientos (*feelings*), con la que comúnmente confundimos emociones, incluye además a las sensaciones (*sensations*), los apetitos, las percepciones táctiles y los afectos; de alguna manera, todo eso lo “sentimos”.

La subcategoría de los afectos puede dividirse a su vez en agitaciones, estados de ánimo y emociones. A diferencia de los otros sentimientos, los afectos no nos informan acerca de nuestro estado corporal, aunque la mayor parte de las veces estén ligados a ciertas sensaciones corporales, ni forzosamente acerca del mundo a nuestro alrededor. Según los autores, a diferencia de las emociones, las agitaciones son alteraciones afectivas muy breves, casi siempre causadas por situaciones u objetos inesperados que no sólo no nos mueven a la acción, sino que en muchas ocasiones, por el contrario, nos paralizan; son, de alguna manera reacciones. Algunos ejemplos son excitación, emoción, conmoción, asombro, sorpresa, horror, disgusto y encanto. Por su parte, los estados de ánimo son condiciones mucho más duraderas que una agitación y más duraderas que una emoción, no tienen necesariamente un objeto específico ni un patrón de acción intencional derivado del mismo, pero sí pueden caracterizar ciertas formas de conducta. Algunos estados de ánimo que mencionan son alegría, euforia, irritación, melancolía y depresión.

Las emociones, según estos autores, son, por su parte, afectos que nos motivan a la acción y que pueden dividirse en perturbaciones emocionales y en actitudes emocionales, las primeras son muy parecidas a las agitaciones antes mencionadas. Aunque todas las emociones las “sentimos”, no todas implican una reacción fisiológica medible, y la conducta por medio de la cual las expresamos puede no ser una acción y puede o no ser voluntaria. Además, siempre conocemos el objeto de la emoción, pero no siempre la causa de la emoción. Un ejemplo sencillo de esto es que se puede tener miedo de la presencia de un animal peligroso, pero no estar seguro de por qué se empezó a pensar en ese animal. El grupo de emociones a las que llaman paradigmáticas son el amor, la esperanza, la gratitud, la compasión, el odio, el miedo, el enojo, el resentimiento, la indignación, la envidia, la lástima, los celos, el resentimiento y el orgullo, la pena, la humillación, el arrepentimiento, el remordimiento y la culpa. Las últimas seis son emociones autoevaluables (Bennett & Hacker, 2005).

No podemos dejar de lado que este análisis realizado por Bennett y Hacker en 2005 ya podría incorporar nuevos hallazgos que se tienen de la emoción, especialmente respecto a la respuesta fisiológica medible en la que las herramientas son cada vez más sensibles y específicas; sin embargo, su aportación es la minuciosa clasificación diferencial de las emociones respecto a otros afectos (Bennett & Hacker, 2005) (véase Tabla 1).

Tabla 1
Definición diferencial de emoción. Características de la emoción comparadas con agitación y estado de ánimo

<i>Afecto/ característica</i>	<i>Agitación</i>	<i>Emoción</i>	<i>Estado de ánimo</i>
Duración	Muy corta	Corta	Larga
Sensación	Presente	Presente	Presente
Reacción Fisiológica	Presente no específica	En algunas, presente de forma muy específica; en otras, no específica	No presente
Mueve a la acción	Inhibe la acción, paraliza	Mueve a la acción	No ligada a patrones de acción específicos
Causa identificable	Sí, usualmente algo no esperado	Sí, aunque puede desconocerse	No necesariamente
Objeto identificable	Sí, usualmente algo no anticipado	Sí, siempre se conoce	No necesariamente

Fuente: Bennett y Hacker (2005).

Para otros autores la clasificación de las emociones es distinta. Damasio y otros grupos de investigadores establecen que existen seis emociones básicas, primarias o universales: la felicidad, la tristeza, el miedo, el enojo, la sorpresa y el disgusto. Éstas fueron clasificadas así por encontrarse en todos los humanos aun cuando pertenezcan a sociedades aisladas, y se ha comprobado que varias de ellas son observables en otras especies de animales avanzados en la escala filogenética además de en los humanos. Según esta clasificación, podemos distinguir también emociones secundarias o sociales como la envidia, la vergüenza, el orgullo y la culpabilidad. Otra clasificación más sencilla y que a menudo se utiliza es la distinción entre emociones positivas: la alegría, el amor y la compasión, y emociones negativas: el miedo, el odio y el enojo (Damasio, 2002).

Base biológica de la emoción

En el estudio de los correlatos neurobiológicos de la emoción se han distinguido dos componentes: la respuesta fisiológica periférica/corporal y el proceso cognitivo o pensamiento que la acompaña. Ambos componentes de la emoción se han estudiado en modelos experimentales y humanos. Pongamos un ejemplo que ilustre mejor este doble procesamiento de los datos. Cuando se realiza un “aprendizaje emocional” como en el condicionamiento al miedo, se asocia un estímulo neutro, el sonido de un

timbre, por ejemplo, a un estímulo incondicionado que genera *per se* una respuesta incondicionada, una descarga eléctrica. Una vez que se realizó cierto número de repeticiones y que el aprendizaje se ha logrado, presentando el estímulo que antes fue neutro y que ahora llamaremos estímulo condicionado, obtendremos la respuesta, antes incondicionada, ahora condicionada, sin presentar el estímulo incondicionado.

Esta respuesta condicionada es compleja y consiste, en el caso de varias especies entre las que se incluye al humano, en la liberación de hormonas del estrés, también denominadas glucocorticoides, de catecolaminas, respuestas de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático: respuesta galvánica de la piel, dilatación pupilar, elevación de la presión sanguínea y palidez; potenciación de los reflejos y una conducta emocional: expresión facial, parálisis, etc. Simultáneamente a esta respuesta, el individuo que procesa el estímulo emocional detecta, evalúa, identifica y clasifica la valencia del mismo, es decir experimenta una emoción.

La respuesta fisiológica periférica/corporal

La respuesta fisiológica periférica/corporal se atribuye sobre todo a la activación de estructuras subcorticales tales como la amígdala y el núcleo accumbens, así como a las conexiones que estas estructuras guardan con el tronco encefálico y el hipotálamo (LeDoux, 2000).

La estructura cerebral más estudiada en investigaciones con interés en la emoción es la amígdala. La amígdala es un conjunto de núcleos localizados en el lóbulo temporal delante y encima de la punta del asta inferior del ventrículo lateral. La función más reconocida de la amígdala es la identificación de estímulos emocionales y la producción de respuestas apropiadas a dichos estímulos, también está altamente implicada en el reconocimiento de rostros de la misma especie y en la identificación de situaciones amenazantes. Esta estructura se compone de núcleos que a su vez se subdividen; cada división tiene una función y una citoarquitectura diferencial y existen conexiones funcionales entre cada división y cada núcleo (Rogan & LeDoux, 1996) (Iversen, Kupfermann & Kandel, 2004).

La función de la amígdala se ha estudiado principalmente a través del condicionamiento al miedo. En esta tarea la información sensorial tanto del estímulo condicionado como del incondicionado llega de los núcleos sensoriales del tálamo hacia el núcleo lateral de la amígdala donde converge y se asocia. En estudios electrofisiológicos se ha encontrado que el núcleo lateral de la amígdala recibe información antes que cualquier otro, alrededor de los 40 milisegundos después de la presentación del estímulo (Rogan & LeDoux, 1996). Cuando la respuesta se evoca por el contexto, el hipocampo proyecta hacia el núcleo basolateral y basolateral accesorio. Tanto el núcleo lateral como los núcleos basal y basal accesorio proyectan directamente al núcleo central de la amígdala (LeDoux, 2000).

El núcleo central de la amígdala se ha descrito como el núcleo de salida de información de la amígdala. Este núcleo guarda amplias conexiones con diversas áreas del tallo cerebral lo que controla las respuestas al condicionamiento al miedo. La proyección del núcleo central hacia el hipotálamo, el tronco encefálico y regiones cercanas permite los cambios condicionados en la presión sanguínea y el ritmo cardíaco, la expresión de la conducta condicionada de congelamiento (freezing) y la liberación condicionada de hormonas pituitarias y adrenales relacionadas con el estrés (LeDoux, 2007).

Por su parte, el núcleo accumbens se encuentra en la porción media del prosencéfalo y puede dividirse en la zona central y la corteza. El núcleo accumbens es menos específico en función que la amígdala y sus vías de acción están menos descritas, pero se le ha involucrado en una gran cantidad de procesos cognitivos y afectos positivos como la gratificación, el hedonismo, la recompensa, las interacciones materno-infantiles, la evaluación de contenidos emocionales y asignación de valencia a los mismos (Leknes & Tracey, 2008) (Faure, Richard & Berridge, 2010) (Smith & Berridge, 2007) (Diekhof & Gruber, 2010).

El proceso cognitivo o pensamiento asociado

El proceso cognitivo de experimentar una emoción o pensamiento asociado está relacionado con la parte cortical de la ruta que sigue el estímulo emocional. Esta ruta también ha sido denominada indirecta y refuerza en uno de sus pasos la estimulación a la amígdala. Sin embargo, su llegada a la amígdala es más lenta en comparación con la ruta subcortical, por el número de sinapsis que implica. Cuando la información sensorial del estímulo emocional llega a los núcleos sensoriales del tálamo viaja hacia la corteza sensorial primaria, luego a las cortezas de asociación unimodal y por último a las cortezas de asociación multimodal. Las cortezas de asociación uni y multimodal tienen conexiones eferentes con la amígdala. Se piensa que esta ruta indirecta permite una representación más elaborada del estímulo y el pensamiento asociado a la emoción. Se ahondará más en esta parte del procesamiento emocional en el siguiente apartado, donde se detalle el procesamiento de rostros emocionales (LeDoux, 1996).

Además de recibir, procesar, identificar y clasificar estímulos emocionales, el cerebro es capaz de regular las emociones. La regulación emocional es un proceso psicológico de orden superior que se encuentra más desarrollado en los animales más complejos. Los estudios realizados predominantemente en humanos implican sobre todo a las cortezas prefrontales ventromedial y dorsolateral. La corteza prefrontal ventromedial está implicada en la regulación emocional. Se ha relacionado con estrategias de regulación emocional cognitivas de forma directa y de forma indirecta como intermediario entre la corteza prefrontal dorsolateral y la amígdala. También está implicada en la extinción del aprendizaje por condicionamiento al miedo y con otros procesos menos cercanos a la regulación emocional pero igualmente implicados en

los procesos emocionales (Urry et al., 2006) (Delgado, Nearing, LeDoux & Phelps, 2008) (Phelps, Delgado, Nearing & LeDoux, 2004) (Milad et al., 2005). La corteza prefrontal dorsolateral se localiza en la porción más rostral de la circunvolución frontal inferior, tiene conexiones con la corteza orbitofrontal y la corteza prefrontal ventromedial, el tálamo, la parte dorsal del núcleo caudado y el hipocampo. Aunque su función más estudiada es la participación en la memoria de trabajo, la corteza prefrontal dorsolateral ha sido implicada en la regulación emocional, sobre todo cuando se utilizan las estrategias de reevaluación del estímulo y distracción hacia otra tarea (Kanske, Heissler, Schönfelder, Bongers & Wessa, 2011), y con la regulación cognitiva en el caso del condicionamiento al miedo (Delgado, Nearing, LeDoux & Phelps, 2008). Se piensa que tiene la capacidad de disminuir la actividad de la amígdala a través de sus conexiones con la corteza prefrontal ventromedial ya que no mantiene conexiones directas con esta estructura subcortical.

Correlatos neuronales del procesamiento de rostros emocionales

Aunque las emociones se expresan por medio del movimiento de todo el cuerpo, las expresiones faciales son el medio de expresión emocional por excelencia en los humanos. El procesamiento de rostros emocionales está mediado por una amplia y distribuida red neuronal que, al igual que el procesamiento de otros estímulos emocionales, involucra áreas corticales y subcorticales.

El sistema subcortical, encargado de detectar caras y dirigir la atención visual hacia ellas, inicia en la retina, que envía información a los colículos superiores, los cuales se comunican con el núcleo pulvinar del tálamo y éste, a su vez, con la amígdala. La amígdala activa dos áreas corticales: el giro fusiforme, el área cerebral más asociada al procesamiento de rostros, y el surco temporal superior. Esta red se caracteriza por procesar automática y rápidamente información de baja frecuencia espacial y posiblemente a incrementar y realzar la respuesta a ésta, sobre todo cuando encuentra algún elemento que implica peligro o amenaza reclutando a la corteza cingulada anterior, este “incremento de procesamiento” parece implicar una reevaluación por parte de la vía visual (Johnson, 2005).

El sistema cortical está encargado de un procesamiento más detallado que implica un proceso perceptual y puede ser redundante en algunas áreas involucradas. Inicia con la información que envía la retina al núcleo geniculado lateral del tálamo y éste, a su vez, a la corteza visual primaria. Posteriormente, se activará el giro occipital inferior, correspondiente a la parte posterior del giro temporoccipital medial, el cual lleva a cabo una percepción temprana de las caras y pasa esta información a dos áreas: el giro fusiforme, que procesa aspectos invariantes de los rostros y la porción posterior del surco temporal superior que procesa aspectos variables de los rostros (Haxby, Hoffman & Gobbini, 2000). Ambas áreas de corteza guardan conexiones con la amígdala, lo que permite información redundante en esta estructura que genera la

respuesta fisiológica, como se ha mencionado antes. En esta red está igualmente implicada la corteza cingulada anterior altamente relacionada con la atención selectiva, en este caso beneficiando el procesamiento de un estímulo emocional biológicamente relevante y la inhibición de otras informaciones que pueden interferir. Aunque esta red es bilateral, existe evidencia de que está más involucrado el hemisferio derecho del cerebro (Palermo & Rhodes, 2007).

Desarrollo del procesamiento de rostros emocionales

El estudio del desarrollo de la emoción es un campo de generación de conocimiento que crece aceleradamente. En esta ocasión estamos interesados en abordar su estudio en niños muy pequeños; para ello, retomaremos dos de las estrategias más comunes: por un lado, los estudios conductuales y, por otro, los electrofisiológicos.

Los estudios conductuales han analizado la percepción de expresiones emocionales en lactantes menores de un año utilizando distintas técnicas; una de las más comunes es la habituación, en donde el tiempo de mirada es el indicador principal. El análisis del tiempo de mirada se basa en la preferencia por lo nuevo, “lo no habitual”, que presentan los niños y que ha sido ampliamente utilizada en investigaciones serias y coincide con marcadores neurofisiológicos.

Los primeros estudios que se realizaron utilizando la técnica de habituación encontraron que la discriminación de rostros emocionales puede darse desde los tres meses de edad. Young-Browne, Rosenfeld y Horowitz realizaron un estudio en 1977 en el que encontraron que los lactantes de 3 meses tenían la capacidad de discriminar entre expresiones faciales de sorpresa y de felicidad. Igualmente, María Barrera y Daphne Maurer encontraron en 1981 que lactantes de 3 meses de edad tenían la habilidad de discriminar y reconocer expresiones de disgusto y expresiones sonrientes en rostros conocidos y desconocidos. Sin embargo, los estudios más recientes han encontrado consistentemente que no es sino hasta los 4 meses cuando los lactantes pueden distinguir emociones en categorías ampliamente distintas. Esta habilidad sólo es posible si el estímulo se presenta en doble modalidad sensorial, es decir, en formato audiovisual (Flom & Bahrick, 2007).

La distinción de emociones en estímulos unimodales es más tardía. Cuando las expresiones emocionales son en modalidad auditiva, podemos identificar una categorización consistente a los 5 meses de edad. Los lactantes a esta edad parecen ser capaces de detectar los cambios entre una expresión vocal de alegría y una de tristeza (Vaish & Striano, 2004).

Por su parte, los estudios muestran consistentemente que es hasta los 7 meses de edad que se consolida la capacidad de formar categorías con las expresiones faciales presentadas; por lo menos, categorías amplias como la alegría y la tristeza (Kotsoni, de Haan & Johnson, 2001). La diferencia de edades a las que se logra la identificación de emociones en distintas modalidades sensoriales puede estar asociada a la madura-

ción característica de cada vía, especialmente a los procesos de mielinización que se llevan a cabo de forma diferencial en el periodo pre y posnatal (Volpe, 2008).

Los estudios conductuales también nos han permitido saber que alrededor de los 12 meses los lactantes son capaces de basar su actuación en las emociones expresadas por adultos. Por ejemplo, si la madre de un lactante de 12 meses expresa disgusto al ver un juguete, el lactante evitará dicho juguete. Esto no cambia si la persona que expresa la emoción no es su familiar. A los 14 meses esta habilidad para entender las emociones expresadas por adultos y actuar con base en ellas se mantiene por cierto tiempo. Los experimentos han mostrado que dicha evitación ante el objeto del disgusto se presenta una hora después de la expresión emocional por parte de la madre o de cualquier adulto (Moses, Baldwin, Rosicky & Tidball, 2001).

Los estudios electrofisiológicos han investigado los correlatos neuronales de la percepción de estímulos emocionales en niños muy pequeños. Las técnicas electrofisiológicas son excelentes para esta población dado que el lenguaje expresivo no se ha desarrollado por completo. La mayoría de los estudios han utilizado Potenciales Relacionados con Eventos (PRES), pero mencionaremos también algunos que han analizado bandas de frecuencia del electroencefalograma.

Para empezar, debemos mencionar que los estudios electrofisiológicos realizados en adultos por medio de PRES, sin que éstos expresen necesariamente una emoción, reportan consistentemente la presencia de la onda N170 en regiones occipitotemporales. La N170 se considera un marcador electrofisiológico de los mecanismos neuronales especializados en el procesamiento de rostros y es sensible a la orientación del rostro, a la especie a la que pertenece el mismo, a la identidad de la persona cuyo rostro se está observando y a la expresión de emociones. Respecto a este último punto, la N170 tiene mayor amplitud cuando se observa un rostro que expresa enojo, miedo y felicidad en comparación con un rostro neutro (Hinojosa, Mercado & Carretié, 2015).

En niños pequeños no se ha registrado la N170; sin embargo, podemos ver desde los 3 meses una onda negativa a los 290 milisegundos y una onda positiva a los 400 milisegundos (N290 y P400), ambas presentes ante la presentación de un rostro. A esta edad las ondas no muestran ser sensibles a la orientación del rostro ni a la especie a la que pertenece el rostro. A los 12 meses la N290 y P400 son sensibles tanto a la orientación del rostro como a la especie a la que pertenece (Halit, De Haan & Johnson, 2002).

Leppänen y sus colaboradores (2007) registraron los PRES de lactantes de siete meses mientras observaban rostros felices, rostros que expresaban miedo y rostros neutros. Encontraron que la P400 tenía mayor amplitud en regiones temporales y occipitales durante la presentación de los rostros que expresaban miedo en comparación con los rostros neutros.

Grossmann (2010) también estudió la percepción visual y auditiva de expresiones emocionales en lactantes menores de un año a través de PRES. Cuando utilizó estimulación visual, encontró que los lactantes de 7 meses presentaban un componente ne-

gativo de mayor amplitud ante las caras con expresiones de felicidad en comparación con las caras con expresiones de enojo en regiones frontales y centrales. Grossman no llamó a este componente de ninguna forma en particular. Por el contrario, los lactantes de 12 meses de edad presentaban en regiones occipitales un componente negativo de mayor amplitud ante las caras con expresiones de enojo. Concluyó que el componente negativo en los lactantes de siete meses indica un proceso de atención aumentado para las caras con expresiones emocionales de felicidad, expresiones emocionales con las que se encuentran más relacionados. El componente negativo en los lactantes de un año de edad sería indicativo de mayor sensibilidad sensorial ante las expresiones de enojo, puesto que su experiencia con expresiones emocionales negativas ha aumentado en comparación con los lactantes de 7 meses de edad (Grossmann, 2010).

Cuando utilizó estimulación auditiva con prosodia negativa como la de una persona enojada, los lactantes de 7 meses mostraban un potencial negativo en regiones centrales. Los autores concluyen que es un indicador de procesos de atención aumentados para este tipo de estímulos. Al mismo tiempo, encontraron una onda positiva lenta en regiones temporales cuando el estímulo auditivo tenía valencia positiva o negativa. Esta onda no estaba presente cuando el estímulo era neutro. Esta onda podría estar mostrando un procesamiento sensorial aumentado ante la estimulación emocional (Grossmann, Striano & Friederici, 2006). Este mismo autor y sus colaboradores realizaron un estudio de PRES en donde presentaban a lactantes de 7 meses rostros felices o enojados seguidos 400 milisegundos después por palabras habladas con una prosodia emocional que podía o no coincidir con la emoción de la imagen presentada. Los PRES mostraron mayor amplitud en el componente negativo cuando los estímulos eran incongruentes y, por el contrario, encontraron mayor amplitud en el componente positivo más tardío cuando los estímulos eran congruentes en la emoción que expresaban. Los autores concluyeron que los lactantes de 7 meses son capaces de integrar información emocional entre estímulos de distintas modalidades y reconocer si esta información es común o diferente (Grossmann, Striano & Friederici, 2006).

Recientemente, Xie, McCormick, Westerlund, Bowman & Nelson, (2018) realizaron un estudio utilizando PRES y análisis de las fuentes de corriente cortical. Presentaron rostros que expresaban enojo, miedo y felicidad a lactantes de 5, 7 y 12 meses mientras registraban la actividad eléctrica cerebral. Encontraron que la onda N290 era de mayor amplitud en las regiones posteriores en respuesta a rostros que expresan miedo y felicidad en comparación con los rostros enojados. Además, esta onda fue más grande cuando los lactantes observaban rostros que expresaban miedo en comparación con las otras dos emociones presentadas, específicamente en el área occipital derecha. El análisis de fuentes de corriente cortical mostró para la N290 activación del giro fusiforme derecho ante los rostros expresando miedo. Por su parte, la P400 fue de mayor amplitud en regiones frontocentrales cuando los lactantes observaban un rostro expresando enojo en comparación con las otras dos expresiones. El análisis de fuentes de corriente localizó la respuesta en la corteza cingulada posterior ante la

presentación de rostros que expresaban enojo (Xie, McCormick, Westerlund, Bowman & Nelson, 2018).

Otro tipo de análisis de la actividad eléctrica cerebral es el análisis cuantitativo de las distintas bandas de frecuencia del electroencefalograma. Este tipo de análisis lo llevaron a cabo Bazhenova, Stroganova, Doussard-Roosevelt, Posikera & Porges (2007), quienes realizaron un estudio en el que registraban la actividad eléctrica cerebral de lactantes de 5 meses de edad mientras un adulto les sonreía (rostro sonriente) y luego dejaba de hacerlo (rostro en blanco). Encontraron que cuando el adulto dejaba de sonreír y hacía un rostro neutro, el niño presentaba incrementos en la actividad theta del electroencefalograma, específicamente en la banda estrecha de 4.8 Hz, en la mayoría de las áreas anteriores y en las áreas posteriores derechas. Concluyeron que los incrementos de actividad frontal se debían a un aumento de atención en el niño por el cambio repentino en la expresión facial.

Carbajal-Valenzuela, Santiago-Rodríguez, Quirarte & Harmony (2017) también analizaron la potencia de las bandas de frecuencia estrecha al presentar rostros emocionales. Realizaron un estudio longitudinal en el que presentaron a lactantes de 4 meses una tarea con rostros enojados, felices y neutros. Encontraron que no había diferencias significativas entre la actividad eléctrica cerebral que se presentaba durante los distintos rostros emocionales. A esta edad las diferencias eran sólo observables al comparar cualquier imagen y la condición de reposo. Cuando registraron a los mismos lactantes a los 8 meses, encontraron que presentaban mayor potencia en regiones occipitales en bandas de frecuencia entre los 2 y los 4 Hz y entre los 12 y los 16 Hz durante la presentación de los rostros felices en comparación de los rostros neutros. Lo que confirma que es hasta la segunda mitad del primer año de vida que los lactantes pueden distinguir expresiones emocionales con información únicamente visual.

Conclusiones

El estudio de las emociones desde las neurociencias es cada vez más intenso. Algunas cosas empiezan a estar claras, por ejemplo, que las emociones tienen características específicas que nos permiten diferenciarlas de sentimientos y de otros afectos como las agitaciones y los estados de ánimo. También que una emoción es una respuesta específica y consistente de mecanismos fisiológicos provocada por sistemas cerebrales cuando recibimos un estímulo interno o externo.

Las bases neurológicas de la emoción parecen estar establecidas elementalmente en la amígdala, el núcleo accumbens, la corteza cingulada anterior y la corteza orbitofrontal, pero si el estímulo es un rostro se reclutarán otras áreas cerebrales como el giro fusiforme y el giro temporal superior.

El procesamiento, clasificación e identificación de los rostros que expresan una emoción comienza pronto en la vida. A los 7 meses un lactante es capaz de identificar una emoción en un rostro y distinguirla de otra sin pistas de otra modalidad sensorial.

La amplitud de los PRES es sensible al procesamiento de rostros emocionales, y en lactantes pequeños generan dos ondas: una N290 en regiones temporales, específicamente en el giro fusiforme, y una P400 en regiones frontales asociada a los procesos atencionales. En los análisis cuantitativos del electroencefalograma hay menos consenso, pero se observan cambios en la potencia absoluta en frecuencias lentas en regiones frontales en algunos estudios y occipitales en algunos otros.

El estudio del neurodesarrollo de la emoción tiene grandes retos por delante, pues la complejidad del fenómeno rebasa nuestros conocimientos actuales especialmente en términos de psicopatología, por lo que se perfila como uno de los campos más fructíferos de las neurociencias actuales.

Bibliografía

- Barrera, M. E., & Maurer, D. (1981). The perception of facial expressions by the three-month-old. *Child Development*, 52(1), 203-206. doi: 10.2307/1129231.
- Bazhenova, O. V., Stroganova, T. A., Doussard-Roosevelt, J. A., Posikera, I. A., & Porges, S. W. (2007). Physiological responses of 5-month-old infants to smiling and blank faces. *International Journal of Psychophysiology*, 63(1), 64-76. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2006.08.008.
- Bennett, M. R., & Hacker, P. M. S. (2005). Emotion and cortical-subcortical function: conceptual developments. *Progress in Neurobiology*, 75(1), 29-52. doi: 10.1016/j.pneurobio.2004.11.002.
- Carbajal-Valenzuela, C., C., Santiago-Rodríguez, E., Quirarte, G., L., & Harmony, T. (2017) Development of emotional face processing in premature and full-term infants. *Clin EEG Neurosci*, 48(2), 88-95.
- Damasio, A. R. (2002). A second chance for emotion. En R. D. R. Lane, L. Nadel, G. L. Ahern, J. Allen & A. W. Kaszniak (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 12-23): Oxford University Press.
- Delgado, M. R., Nearing, K. I., LeDoux, J. E., & Phelps, E. A. (2008). Neural circuitry underlying the regulation of conditioned fear and its relation to extinction. *Neuron*, 59(5), 829-838. doi: 10.1016/j.neuron.2008.06.029.
- Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B. A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain: A Journal of Neurology*, 118(1), 279-306. doi: 10.1093/brain/118.1.279.
- Diekhof, E. K., & Gruber, O. (2010). When desire collides with reason: functional interactions between anteroventral prefrontal cortex and nucleus accumbens underlie the human ability to resist impulsive desires. *The Journal of Neuroscience*, 30(4), 1488-1493. doi: 10.1523/jneurosci.4690-09.2010.
- Ekman P, & Friesen W. *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press; 1976.

- Faure, A., Richard, J. M., & Berridge, K. C. (2010). Desire and dread from the nucleus accumbens: Cortical glutamate and subcortical gaba differentially generate motivation and hedonic impact in the rat. *PLoS ONE*, 5(6), e11223. doi: 10.1371/journal.pone.0011223.
- Flom, R., & Bahrick, L. E. (2007). The development of infant discrimination of affect in multimodal and unimodal stimulation: The role of intersensory redundancy. *Developmental Psychology*, 43(1), 238-252. doi: 10.1037/0012-1649.43.1.238.
- Gendron, M., & Feldman Barrett, L. (2009). Reconstructing the past: A century of ideas about emotion in psychology. *Emotion Review*, 1(4), 316-339. doi: 10.1177/1754073909338877.
- Grossmann, T., Striano, T. & Friederici, A., D. (2006) Crossmodal integration of emotional information from face and voice in the infant brain. *Dev Sci*, 9(3), 309-315.
- Grossmann, T. (2010) The development of emotion perception in face and voice during infancy. *Rest Neurol Neurosci*, 28(2) 219-236.
- Halit, H., de Haan, M., & Johnson, M. H. (2002) Cortical specialization for face processing: face-sensitive event related potential components in 3- and 12-month-old infants. *NeuroImage*, 19(3), 1180-93.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 223-233. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01482-0.
- Hinojosa, J.A., Mercado, F., & Carretié, L. (2015) N170 sensitivity to facial expression: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*, 55, 498-509.
- Iversen, S., Kupfermann, I., & Kandel, E. R. (2004). Emotional states and feelings. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Eds.), *Principles of neural science* (pp. 983-987). New York: McGraw Hill.
- Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature Reviews. Neuroscience*, 6(10), 766-774.
- Kanske, P., Heissler, J., Schönfelder, S., Bongers, A., & Wessa, M. (2011). How to regulate emotion? Neural networks for reappraisal and distraction. *Cerebral Cortex*, 21(6), 1379-1388. doi: 10.1093/cercor/bhq216.
- Kotsoni, E., de Haan, M., & Johnson, M. H. (2001). Categorical perception of facial expressions by 7-month-old infants. *Perception*, 30(9), 1115-1125. doi: 10.1068/p3155.
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 155-184. doi: 10.1146/annurev.neuro.23.1.155.
- LeDoux, J. (2007). The amygdala. *Current Biology*, 17(20), R868-R874. doi: 10.1016/j.cub.2007.08.005.
- Leknes, S., & Tracey, I. (2008). A common neurobiology for pain and pleasure. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(4), 314-320. doi: 10.1038/nrn2333.

- Leppänen, J. M., Moulson, M. C., Vogel-Farley, V. K., & Nelson, C. A. (2007). An ERP study of emotional face processing in the adult and infant brain. *Child Development*, 78(1), 232-245. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.00994.x.
- Milad, M. R., Quinn, B. T., Pitman, R. K., Orr, S. P., Fischl, B., & Rauch, S. L. (2005). Thickness of ventromedial prefrontal cortex in humans is correlated with extinction memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(30), 10706-10711. doi: 10.1073/pnas.0502441102.
- Moses, L.J., Baldwin, D.A., Rosicky, J.G., & Tidball, G. (2001). Evidence for referential understanding in the emotions' domain at twelve and eighteen months. *Child Dev*, 72 (3), 718-35.
- Palermo, R., & Rhodes, G. (2007). Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact. *Neuropsychologia*, 45(1), 75-92. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.025.
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(2), 148-158. doi: 10.1038/nrn2317.
- Phelps, E. A., Delgado, M. R., Nearing, K. I., & LeDoux, J. E. (2004). Extinction learning in humans: Role of the amygdala and vmPFC. *Neuron*, 43(6), 897-905. doi: 10.1016/j.neuron.2004.08.042.
- Pitkänen, A., Savander, V., & LeDoux, J. E. (1997). Organization of intra-amygdaloid circuitries in the rat: an emerging framework for understanding functions of the amygdala. *Trends in Neurosciences*, 20(11), 517-523. doi: 10.1016/S0166-2236(97)01125-9.
- Rogan, M. T., & LeDoux, J. E. (1996). Emotion: Systems, cells, synaptic plasticity. *Cell*, 85(4), 469-475. doi: 10.1016/S0092-8674(00)81247-7.
- Smith, K. S., & Berridge, K. C. (2007). Opioid limbic circuit for reward: interaction between hedonic hotspots of nucleus accumbens and ventral pallidum. *The Journal of Neuroscience*, 27(7), 1594-1605. doi: 10.1523/jneurosci.4205-06.2007.
- Urry, H. L., Van Reekum, C. M., Johnstone, T., Kalin, N. H., Thurow, M. E., Schaefer, H. S. & Davidson, R. J. (2006). Amygdala and ventromedial prefrontal cortex are inversely coupled during regulation of negative affect and predict the diurnal pattern of cortisol secretion among older adults. *The Journal of Neuroscience*, 26(16), 4415-4425. doi: 10.1523/jneurosci.3215-05.2006.
- Vaish, A., & Striano, T. (2004). Is visual reference necessary? Contributions of facial versus vocal cues in 12-month-olds' social referencing behavior. *Developmental Science*, 7(3), 261-269. doi: 10.1111/j.1467-7687.2004.00344.x.
- Volpe J. J. (2008). *Neurology of the newborn*. New York: Elsevier.
- Xie, W., McCormick, S. A., Westerlund, A., Bowman, L. C., & Nelson, C. A. (2018). Neural correlates of facial emotion processing in infancy. In *Developmental Science*. doi.org/10.1111/desc.12758.
- Young-Browne, G., Rosenfeld, H. M., & Horowitz, F. D. (1977). Infant discrimination of facial expressions. *Child Development*, 48(2), 555-562. doi: 10.2307/1128653.

NEURODESARROLLO DE LA MEMORIA DE TRABAJO

*María Luisa García-Gomar
Agustín Negrete Cortés**

Una introducción a la memoria

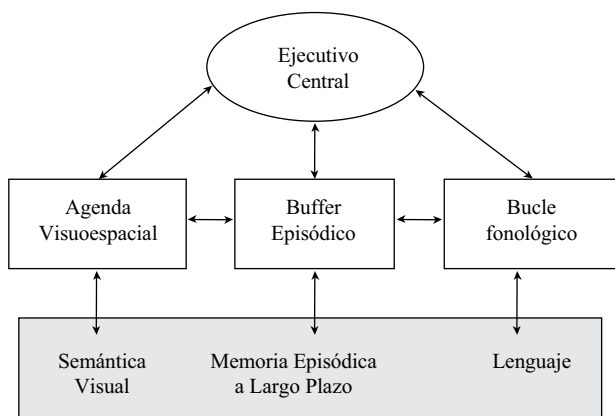
Uno de los procesos cognitivos más interesantes del cerebro humano es el de memoria, la memoria permite adaptarnos a las demandas del medio ambiente en un proceso mucho más rápido que el de la selección natural. La memoria se define como la capacidad de mantener y evocar eventos de nuestro pasado a través de procesos neurobiológicos de almacenamiento y de recuperación de la información (Squire, 1987). La memoria se ha dividido en un almacén de corto plazo (MCP), que dura minutos y otro de largo plazo (MLP) que dura incluso años. A su vez, la MLP se ha dividido en dos subsistemas: el de la memoria declarativa y el de la memoria no declarativa (Squire, 2004). Cuando conscientemente almacenamos información en nuestra memoria, por ejemplo evocar la fecha de cumpleaños de nuestros hijos, estamos empleando el sistema de memoria declarativa. Por su parte, en el sistema de la memoria no declarativa se almacena información que difícilmente se borra, como tocar algún instrumento o andar en bicicleta, si lo aprendimos bien y llegó a ser automatizado. Existe evidencia de un paradigma de memoria en el cual no existen sistemas de memoria como tal, sino memoria de los sistemas. En este nuevo paradigma, los recuerdos consisten en redes de memoria o *cognits* distribuidos por toda la corteza cerebral y organizados jerárquicamente. De esta forma, una neurona puede ser parte de múltiples *cognits* o

* Ambos autores están adscritos al Cuerpo Académico Psicología de las Conductas de Riesgo, Escuela de Ciencias de la Salud, Unidad Valle de las Palmas, Universidad Autónoma del Estado de Baja California.

elementos de conocimiento (Fuster, 2009). Finalmente, el modelo más reciente de memoria argumenta que sí existen módulos o sistemas de memoria, pero las bases neuronales de los módulos de memoria no se entienden como entidades estáticas, sino como redes neuronales casi independientes que pueden reconfigurarse en respuesta a los requisitos ambientales. Este modelo de memoria considera que los módulos de memoria son relativos y no absolutos (Ferbinteanu, 2019).

Entrando en materia del proceso cognitivo, objeto de estudio del presente capítulo, la memoria de trabajo (MT) es un subsistema de capacidad limitada el cual mantiene temporalmente la información, funcionando como una interfaz entre el almacén de largo plazo, la percepción y la acción (Baddeley, 2010; Conway, Jarrold, Kane, Miyake & Towse, 2008). De acuerdo con Baddeley, la MT se refiere a un conjunto de sistemas necesarios para mantener información en la mente mientras realizamos tareas complejas como el razonamiento, la comprensión y el aprendizaje (2010). De acuerdo con el primer modelo multicomponente de la MT, participan tres subsistemas que comprenden: un sistema de control que tiene capacidad atencional limitada, denominado el ejecutivo central, que es asistido por dos subsistemas de almacenamiento: el bucle fonológico, que se usa para almacenar sonido y lenguaje y la agenda visuoespacial, empleada para almacenar información visual y espacial (Baddeley & Hitch, 1974). El cuarto componente del modelo de Baddeley, propuesto más recientemente, es el buffer episódico. Éste se refiere a un sistema de mantenimiento de la información, con capacidad limitada, que puede integrar información procedente de una variedad de fuentes. El buffer episódico es el componente relacionado con la memoria de largo plazo y funciona como una interfaz entre muchos sistemas que tienen códigos distintos (Baddeley, 2000) (Figura 1).

Figura 1
Modelo de la memoria de trabajo



Fuente: Modificado de Baddeley (2010).

De esta forma, la MT permite hacer frente a las demandas de la vida cotidiana, empleando información almacenada en la MLP, pero considerando el almacén temporal de la información que se presenta en un momento dado para poder solucionar problemas de forma inmediata (Fuster, 2009). La MT inicia en etapas muy tempranas del neurodesarrollo, existe evidencia de un tipo de MT que empieza a funcionar desde los 6 meses de edad (Pelphrey et al., 2004). En este capítulo abordaremos el correlato neuroanatómico de la MT, la evidencia conductual y psicofisiológica de su neurodesarrollo normal, así como algunos hallazgos relacionados con su disfunción en etapas tempranas. Finalmente, cerraremos el capítulo con consideraciones sobre su relación con otros procesos cognitivos y aspectos funcionales, su estimulación temprana y algunas herramientas de estimulación cognitiva.

Correlato neuroanatómico de la memoria de trabajo

Fuster (1973) realizó registros unicelulares en la corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL) de primates no humanos y descubrió un tipo de neuronas a las que denominó células de la memoria. Descubrió que éstas incrementaban su tasa de disparo durante una tarea de MT, denominada tarea de respuesta demorada.

Con respecto a los estudios de neuroimagen funcional se ha descrito activación de la CPFDL en tareas de MT visuo-espacial (Jonides et al., 1993), visual (Cohen et al., 1994) o verbal (Grasby et al., 1993), lo que sugiere que el ejecutivo central, componente clave del modelo de MT de Baddeley, se asocia con sistemas neuronales de regiones prefrontales (D'Esposito et al., 1995). Sin embargo, durante tareas de MT también se ha observado la participación de la corteza parietal posterior (área de Brodmann 7, 40, 44), activación que se incrementa de manera proporcional a la dificultad de la tarea (Cohen et al., 1997); de la corteza temporal inferior asociada al componente del ensayo articulatorio del modelo de Baddeley (Paulesu, Frith & Frackowiak, 1993), así como del núcleo dorsomedial (NDM) del tálamo (Watanabe, Takeda & Funahashi, 2009).

En lo referente a la modalidad de la información procesada y a las redes neuronales, se ha reportado activación de la CPFDL en el mantenimiento de la información espacial y de la corteza prefrontal ventrolateral (CPFVL) en el mantenimiento de información no espacial. Asimismo, se ha encontrado predominio de participación del hemisferio derecho en tareas de MT espacial y predominio del hemisferio izquierdo en tareas de MT verbal (D'Esposito et al., 1998).

En su revisión sobre memoria cortical, Fuster (2009) realizó un meta-análisis gráfico de estudios de neuroimagen, concluyendo que durante el proceso de MT se activan simultáneamente circuitos reverberantes, regiones de la CPF y al menos otra región de cortezas posteriores, dependiendo de la información de entrada de la MT, cortezas auditivas primarias, si es información verbal, o cortezas parietales, si la información se trata de una posición espacial, o corteza temporal, si se trata de información visual.

De hecho, en los modelos más recientes sobre MT visual se ha demostrado que en ésta participan redes de control fronto-parietales, así como regiones posteriores de la vía ventral (Eriksson, Vogel, Lansner, Bergström & Nyberg, 2015).

Los sustratos cerebrales de la MT cambian a lo largo del neurodesarrollo; se ha descrito que el daño a la CPFDL en monos adolescentes causa severas alteraciones de MT, mientras que la misma lesión en monos bebés causa sólo pequeñas alteraciones (Goldman, 1971). Estructuras subcorticales como el núcleo caudado y sus conexiones con regiones corticales frontales y parietales tienen un mayor papel en el desarrollo de los sistemas de MT y pueden tener papeles funcionales que las cortezas frontales y parietales más tarde asumirán (Goldman & Rosvold, 1972).

Con respecto a estructuras subcorticales, se ha observado actividad de neuronas del núcleo dorsomedial (NDM) en monos, durante el periodo de demora en tareas de respuesta demorada (Tanibuchi & Goldman-Rakic, 2003). Adicionalmente, las características de la actividad del NDM observadas durante el periodo de demora son muy similares a la actividad registrada sobre la corteza prefrontal dorsolateral durante el mismo periodo (Watanabe et al., 2009). Por todo esto se ha concluido que el NDM tiene un papel importante en la MT. De hecho, lesiones en el NDM de monos durante la infancia afectan la MT más que las lesiones de la CPFDL (Goldman, 1974). En humanos, utilizando resonancia magnética funcional en estado de reposo y caracterizando los patrones del desarrollo de la conectividad tálamo-cortical, se ha demostrado que la conectividad del tálamo con regiones sensoriomotoras existe desde los neonatos; no obstante, en el desarrollo de la conectividad entre el tálamo y la red neural por defecto que involucra la corteza prefrontal medial no emerge sino hasta el año de edad. Asimismo, el desarrollo de conexiones funcionales tempranas entre el tálamo y el cíngulo anterior, la ínsula y el núcleo caudado se correlacionan con mayor capacidad de MT espacial hasta los 2 años de edad (Alcauter et al., 2014). Además, el desarrollo de la red frontoparietal puede también contribuir a la función temprana de la MT (Fitch, Smith, Guillory & Kaldy, 2016).

En resumen, las redes neurales asociadas a la MT cambian en el neurodesarrollo, al parecer inicialmente son fundamentales las conexiones entre el NDM del tálamo y la ínsula y el cíngulo anterior. Posteriormente se hace importante el papel de la corteza prefrontal medial y cortezas parietales posteriores. La corteza prefrontal es la última en madurar.

Desarrollo del lóbulo frontal

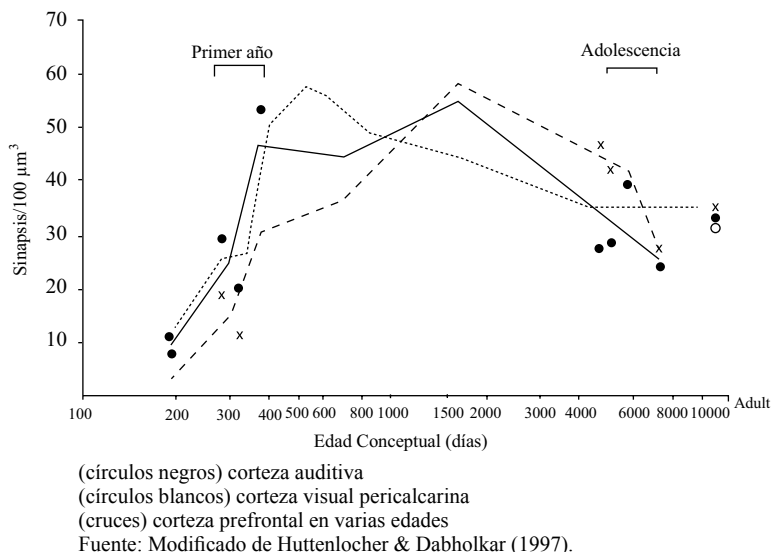
Es imposible separar el desarrollo de la MT del neurodesarrollo de la corteza frontal ya que, como se mencionó anteriormente, la MT se asocia con circuitos de la corteza prefrontal (CPF) (Cohen et al., 1994; D'Esposito et al., 1998; Fuster, 1973; Grasby et al., 1993; Jonides et al., 1993). Se sabe que ésta es una de las últimas regiones en madurar debido a la mielinización tardía de los axones de la CPF en comparación con

otras regiones cerebrales, por ejemplo la corteza visual o la auditiva (Huttenlocher & Dabholkar, 1997). Anteriormente se pensaba que la CPF tenía una maduración completa del proceso de mielinización y sinaptogénesis hasta la adolescencia y la edad adulta (Huttenlocher, 1979). Sin embargo, actualmente se sabe que sufre cambios de maduración importantes durante la segunda mitad del primer año de vida (Bell & Fox, 1992; Huttenlocher & Dabholkar, 1997) (Figura 2).

En estudios histológicos *post mortem* se ha descrito un rápido incremento dendrítico durante el primer año de vida posnatal, que continúa a una tasa reducida hasta los 5 años de edad (Koenderink & Uylings, 1995). Asimismo, el periodo de incremento en las sinapsis inicia alrededor de los 8 meses y alcanza su punto máximo a los 3.5 años de vida (Huttenlocher & Dabholkar, 1997).

Recientemente, usando imágenes de resonancia magnética (IRM) de alta resolución, histología y microscopía confocal de lapso de tiempo, técnica que permite la captura de imágenes de eventos dinámicos a intervalos de tiempo predeterminados, se ha registrado migración de interneuronas inhibitorias jóvenes alrededor de las paredes dorsales anteriores del ventrículo lateral hacia múltiples regiones corticales de la corteza frontal humana. Esta migración es muy notoria durante los primeros 2 meses posnatales y persiste durante al menos 5 meses. El reclutamiento posnatal de grandes poblaciones de neuronas inhibitorias puede contribuir a la maduración y la plasticidad en la corteza frontal humana. Los defectos en la migración de estas interneuronas podrían ocasionar una disfunción de los circuitos neurales asociada con trastornos del neurodesarrollo (Paredes et al., 2016).

Figura 2
Densidad sináptica media en sinapsis/100 μm^3 en la corteza auditiva, corteza visual pericalcarina y corteza prefrontal en varias edades



Neurodesarrollo de la MT

Existen diversas tareas para el estudio de la MT de acuerdo con la definición conceptual del proceso en la cual nos basemos. Sin embargo, de acuerdo con la definición de MT descrita en las secciones previas, las tareas con mayor validez interna y externa para el estudio del neurodesarrollo de la MT son tareas de respuestas demorada (DRT, por sus siglas en inglés para Delayed Response Task) y la tarea Piagetiana A no B (Piaget, 1954). En éstas, el niño debe solucionar el problema de encontrar un objeto escondido en una de dos o más ubicaciones posibles después de periodos de demora. En la tarea A no B, después de que el niño encontró adecuadamente el objeto escondido en la misma locación A en varios ensayos, la posición del objeto escondido cambia a la posición B mientras el niño observa. El error clásico A no B ocurre cuando el niño continúa buscando el objeto en la posición original A, a pesar de haber observado el cambio de lugar donde se escondió el objeto (Diamond & Goldman-Rakic, 1989). Este error perseverativo se ha atribuido a deficiencias en el control inhibitorio en niños pequeños. El control inhibitorio tiene un mejor desarrollo en niños de entre 8 y 9 atribuido a un mayor desarrollo de la CPFDL (Diamond, 1990). En este apartado nos concentraremos en evidencias conductuales y psicofisiológicas del neurodesarrollo de la MT.

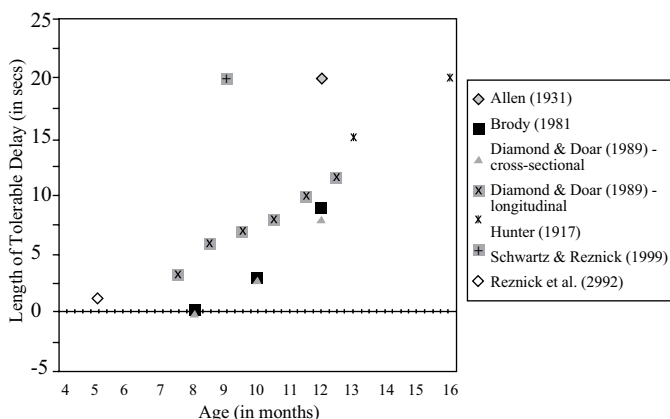
Evidencias conductuales del neurodesarrollo de la MT

Aproximaciones basadas en el tiempo de demora

Los trabajos pioneros con respecto al desarrollo y capacidad de MT en niños se remontan a más de 100 años. Hunter (1917) realizó el primer estudio con una nueva tarea de la que surgiría la tarea DRT, aplicándola a su pequeña hija de 13 meses. Hunter observó que si le permitía buscar un juguete a su hija Thayer después de un periodo de demora, acertaba siempre y cuando la demora fuera menor a 17 segundos (Figura 3). Así, Hunter definió la capacidad de memoria como el número de segundos durante los cuales se mantenía en la memoria la representación de la posición donde se había escondido el objeto. Estudios posteriores revelaron procesos de MT a una edad más temprana. Reznick, Morrow, Goldman y Snyder (2004) realizaron un estudio con DRT, tipo escondidillas, en el cual un investigador aparecía en una de dos ventanas e interactuaba con el bebé. Posteriormente, el investigador desaparecía por detrás de una cortina y usaba su mano para atraer la atención del niño al centro del aparato. Después de una demora de 1 a 2 segundos, el investigador abría las cortinas de dos posiciones posibles, pero no había nada detrás de ellas. Esta acción atraía la atención visual del niño hacia una de las ventanas (en donde había aparecido el investigador). Si el niño respondía con un movimiento sacádico hacia la posición donde había visto

al investigador, la respuesta era considerada correcta. Los autores demostraron que existe MT en lactantes sanos desde los 5 a 6 meses (Figura 3). Según Diamond (1990), los niños de 8 meses son capaces de recuperar el juguete si el periodo de demora está entre 1 y 2 segundos mientras que los niños de 12 a 13 meses de edad lo hacen correctamente con una demora de hasta 10 segundos. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Brody (1981), quien encontró que niños de 8 meses de edad son capaces de ejecutar la DRT correctamente con una demora de 250 ms, pero fallaban con demoras de 3 segundos. Así, a los 12 meses lo hacían correctamente con demoras de hasta 9 segundos. El desarrollo de la MT muestra un incremento lineal en su capacidad, definida como tolerancia al periodo de demora (Figura 3).

Figura 3
Tolerancia máxima del periodo de demora en niños evaluados con la tarea DRT



Nota: En el eje de las abscisas se grafica el rango de edad desde los 4 a los 16 meses y en el eje de las ordenadas la cantidad de segundos que los lactantes son capaces de tolerar la demora. Desde los 7 meses de edad los lactantes son capaces de buscar un objeto escondido hasta después de 2.5 segundos de demora, mientras que a los 9 meses los lactantes ya toleran demoras de más de 5 segundos

Fuente: Modificado de Pelphrey et al. (2004).

Pelphrey y colaboradores (2004) determinaron el desarrollo de la MT en la segunda mitad del primer año de vida, así como el mejor modo de respuesta (visual o manual) de los lactantes. Se utilizó una tarea DRT de tipo visuoespacial, en 80 niños de 5.5 a 12.5 meses de edad con 4 distintos tipos de tarea: una donde se variaba la demora (que podía ser de 2, 6 o 10 segundos), pero se dejaba constante el número de posiciones (2) con modo de respuesta visual; otra donde se variaba el número de posiciones (que podían ser 2, 3 o 4 ventanas de búsqueda), pero se dejaba constante el tiempo de de-

mora (1.5 segundos) con modo de respuesta también visual, y las mismas dos tareas descritas pero con modo de respuesta manual. Los autores concluyeron que a los 6 meses ya está desarrollada la MT para resolver la DRT. Sin embargo, de los 5.5 a los 8 meses de edad hay pocos cambios. Se reportó un incremento lineal en el porcentaje de respuestas correctas de los 8 a los 12 meses, el 66% de la varianza fue explicado por la edad.

Con respecto al género, se ha demostrado que las niñas tienen una maduración más temprana de procesos de MT que sus pares niños (Diamond & Doar, 1989; Pelphrey et al., 2004).

Aproximaciones basadas en la capacidad para la retención de información

Existe otra aproximación que define operacionalmente a la MT como cantidad de información retenida (capacidad), se puede incluir la búsqueda no sólo de uno sino de varios objetos, y no sólo en dos o tres lugares sino en un mayor número de éstos (es decir, posiciones en el espacio). Desde esta perspectiva, la MT se evalúa incrementando el número de posiciones en la tarea de DRT. Reznick, Fueser y Bosquet (1998) encontraron que niños de 7 a 9 meses tenían mejor ejecución para buscar un objeto cuando se escondía en una de dos posibles posiciones que cuando estaba escondido en una de tres. A este mismo respecto se ha demostrado que niños de entre 10 y 20 meses son capaces de buscar de uno hasta tres objetos escondidos en una caja, pero fallan cuando 4 o más objetos están escondidos en determinada locación (Barner, Thalwitz, Wood, Yang & Carey, 2007).

Feigenson y Halberda (2008) escondían dentro de una caja arreglos de 4 objetos familiares o 4 no familiares que podían o no estar agrupados (dos y dos objetos iguales). Cuando a niños de 14 meses se les presentaban arreglos de dos objetos familiares agrupados, los niños eran capaces de buscar los 4 a pesar de su organización espacial. Con respecto a los objetos novedosos, se demostró que los niños eran capaces de buscar 4 objetos novedosos si éstos eran agrupados, pero no mientras estaban intercalados. Esto demuestra que la capacidad de los lactantes de recordar un mayor número de objetos cuando los arreglos de éstos se organizan en unidades más pequeñas con base a su información perceptual. Los autores también describieron que niños de 14 meses de edad eran capaces de utilizar conocimiento conceptual y lingüístico (utilizando claves verbales o claves espaciales) para incrementar la capacidad de la memoria hasta poder buscar cuatro objetos novedosos e idénticos escondidos en la caja, igual que la capacidad de la memoria de un adulto.

Aproximaciones basadas en la preferencia natural por los estímulos novedosos

Otro paradigma de estudio de la MT se basa en la preferencia natural por estímulos novedosos. En este paradigma se presentan dos conjuntos de estímulos visuales por un breve periodo de tiempo simultáneamente a la derecha e izquierda de la línea media del niño. Un conjunto de estímulos visuales presenta ítems que varían a lo largo de la presentación mientras que los ítems en el otro conjunto permanecen constantes. El tamaño del conjunto es manipulado para determinar el número de ítems que los niños son capaces de recordar. Se ha descrito que la capacidad aumenta de 1 a 3 ítems entre los 6.5 y 12.5 meses de edad. También se ha descrito que niños de 5 meses mejoran su ejecución cuando se les provee de una clave de movimiento (Ross-sheehy, Oakes & Luck, 2003; Ross-Sheehy, Oakes & Luck, 2011).

Evidencias psicofisiológicas del desarrollo de la MT

En los últimos 35 años se ha incrementado el uso de medidas electrofisiológicas para la investigación del neurodesarrollo.

El electroencefalograma (EEG) se define como una gráfica en la cual se cuantifican cambios de polaridad y voltaje en función del tiempo. En neurología el EEG es una herramienta diagnóstica; sin embargo, en psicología se utiliza como una técnica de estudio del sistema nervioso para estudiar los correlatos biológicos de diversos procesos psicológicos. En psicofisiología, se usan tareas cognitivas en este caso diseñadas específicamente para estudiar la MT adaptadas de las tareas de búsqueda de objetos, mientras se realizan registros sincrónicos de EEG, de tal forma que se puede estudiar de forma inmediata el sustrato neurobiológico de la MT. En los adultos expuestos a tareas de MT de tipo Sternberg, en las cuales se debe recordar si un número estaba contenido en una serie previa de números a memorizar, se ha descrito el incremento de potencia absoluta (PA) en frecuencias delta/theta (1.56 a 5.46 Hz), con una topografía generalizada de predominio frontal, asociado a la atención al procesamiento interno (Harmony et al., 1996) o al componente de ejecutivo central del modelo de Badeley (Harmony et al., 2004). Asimismo, se han descrito incrementos de PA de la banda delta (2.34 y 3.12 Hz) sobre regiones temporo-occipitales derechas asociados al componente de la agenda visuo-espacial (Harmony et al., 2004). Las oscilaciones delta juegan un papel muy importante en la inhibición de interferencias que causan una mala ejecución en tareas cognoscitivas, modulando la actividad de las redes que deben estar inactivas para completar la tarea en cuestión (Harmony, 2013). En cuanto a cambios en otras bandas de frecuencia Jensen, Gelfand, Kounios y Lisan (2002) reportaron un incremento en la banda alfa (9-12 Hz) durante el intervalo de mantenimiento en una tarea de Sternberg. Describieron un incremento sistemático del pico alfa sobre regiones posteriores y centrales bilaterales en relación con el número de

ítems a recordar. Los autores concluyen que el ritmo alfa está relacionado con los procesos neurales responsables del mantenimiento de la MT ya sea directamente en el proceso de memoria o involucrando mecanismos de inhibición activa. Sin embargo, existen otros autores que reportan no incrementos sino disminuciones de PA alfa (7.80 a 10.92 Hz) durante tareas tipo Sternberg (Fernandez et al., 2002; Harmony et al., 2004) asociados a las demandas atencionales de la tarea (Klimesch, 1999).

En lactantes y niños es imposible estudiar las bandas de frecuencia encontradas en el EEG adulto. El EEG de los niños presenta frecuencias mucho más bajas que las del EEG adulto. En niños, se han encontrado cambios en la PA de la actividad de base frontal asociados con mejora en la ejecución de la tarea A no B. En niños de 8 meses de edad durante tareas de MT espacial, se han demostrado incrementos de la PA del EEG en la frecuencia de los 6 a los 9 Hz en regiones del lóbulo frontal. Asimismo, se han descrito incrementos de coherencia entre regiones parietales y frontales asociados con una mejor ejecución en la tarea A no B (Bell, 2002).

Para examinar los cambios en el desarrollo de la actividad cerebral durante la MT en la infancia y niñez temprana, Bell y Wolfe (2007) compararon la ejecución de tareas de MT con registro simultáneo de EEG en niños de 8 meses, que volvieron a evaluarse a los 4.5 años. Durante la tarea de MT, hubo cambios en la potencia absoluta de todas las bandas en la mayoría de las regiones corticales, mientras que en los niños de 4.5 años la PA de los 6-9 Hz se incrementó específicamente sobre regiones frontales mediales. Respecto a la coherencia entre dos electrodos durante la tarea de MT, se mostró coherencia baja entre diversos pares de electrodos a los 8 meses de edad; sin embargo, a los 4.5 años la coherencia era mucho mayor y focalizada a pares de electrodos de las regiones frontales mediales-parietales y frontales mediales-occipitales. La coherencia se ha utilizado como medida de conectividad funcional. Los autores concluyen que estos cambios en potencia y coherencia reflejan que la actividad eléctrica cerebral está ampliamente distribuida durante la infancia, mientras que en la niñez temprana se localiza sobre regiones frontales, volviéndose más especializada durante esta etapa para el desarrollo de la MT.

En otra investigación longitudinal con niños de 5 hasta los 10 meses de edad, se usó el EEG y electrocardiograma (ECG) para estudiar el correlato psicofisiológico de la actividad del EEG de base y la actividad del EEG asociada en una tarea de tipo A no B. En la actividad basal se observaron incrementos de potencia de la banda de los 6 a los 9 HZ en función de la edad para casi todos los electrodos a excepción de los frontales polares y formales laterales, y es que se sabe que existe una demora en el desarrollo de la corteza frontal como se mencionó en los apartados anteriores. Los valores de coherencia en la misma banda de frecuencia entre pares de electrodos frontales-parietales, frontales-mediales y frontales-occipitales, también incrementaron en función de la edad. Con respecto al ECG se encontró una disminución de la tasa cardiaca de los 5 a los 10 meses de edad. Durante la tarea de MT se encontró que desde los 5 meses de edad los niños exhibieron incrementos de potencia en la banda de los 6 a los 9 Hz

asociados como una función del procesamiento de MT. Lo más sorprendente es que desde los 5 meses de edad se demostró un mayor patrón de actividad sobre regiones mediales-frontales y mediales-parietales, asociados a circuitos de MT. No se encontraron cambios significativos de coherencias ni en el ECG en función de la tarea. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias por edad (5, 6, 7, 8, 9 y 10 meses) y por condición (línea base y tarea de MT) y sólo resultaron cambios significativos de la interacción de edad y condición sobre regiones parietales (Cuevas & Bell, 2011). Sin embargo, en otras investigaciones se han encontrado incrementos de coherencia entre regiones fronto-mediales y parietales-mediales como predictores únicos de una buena ejecución de en tareas de MT en niños de 8 meses de edad (Bell, 2012). Y, de hecho, estos incrementos de coherencia entre pares de electrodos frontales y occipitales se hacen más localizados a los 10 meses de edad y explican la variabilidad en la ejecución de tareas de MT a los 10 meses de edad (Cuevas, Bell, Marcovitch & Calkins, 2012). Estos hallazgos sugieren que la red fronto-parietal participa en la ejecución de tareas de MT en niños de entre 8 y 10 meses.

Con respecto de la participación de otras bandas de frecuencia, Cuevas, Raj y Bell (2012) hicieron una investigación para determinar cambios relacionados con una tarea de MT en medidas de coherencia frontal en tres diferentes bandas de frecuencia (2-5 Hz, 6-9 Hz, 10-13 Hz). Los niños de 8 meses de edad mostraron incrementos de coherencia frontal para todas las bandas de frecuencia comparando la línea de base contra la tarea de MT. Sin embargo, la banda de 10-13 Hz fue la única banda de frecuencia que discriminó la línea de base de la tarea de MT, distinguió entre algunas de las etapas de procesamiento y distinguió entre respuestas correctas e incorrectas.

Finalmente, se ha planteado que la inhibición es un proceso que impacta en el desarrollo de la MT, a este respecto se han encontrado que el incremento de las demandas inhibitorias en tareas de MT han sido asociadas con incrementos de coherencia frontal en niños de 10 meses de edad. Los autores concluyen que hay evidencia de un desarrollo de funcionamiento frontal casi integrado al término del primer año de vida (Cuevas, Swingler, Bell, Marcovitch & Calkins, 2012).

Evidencia temprana de deterioro cognitivo de la MT

Se ha reportado que durante la niñez intermedia los niños nacidos muy prematuramente (antes de las 32 semanas de gestación) tienen un coeficiente intelectual (CI) por debajo de lo esperado para su edad (Peterson et al., 2000), presentan dificultades con el control atencional, problemas de conducta (Hemgren & Persson, 2002), dificultades en la memoria episódica (Briscoe, Gathercole & Marlow, 2001) y en diversos componentes de las funciones ejecutivas (Anderson, Doyle & Victorian Infant Collaborative Study Group, 2004), incluso estas alteraciones cognoscitivas tienden a perdurar hasta la adolescencia (Rushe et al., 2001).

No se puede separar el desarrollo de la MT del desarrollo de lenguaje, procesamiento visual o atención. En cuanto al lenguaje, se han descrito alteraciones en la habituación ante estímulos auditivos complejos en prematuros a las 46 semanas de edad post-concepcional que implicarán problemas en la adquisición de lenguaje a los 14 meses de edad corregida (Avecilla-Ramírez et al., 2011).

Con respecto a las disfunciones visuales, se ha descrito que niños con antecedente de leucomalacia periventricular (LPV), una condición que afecta la sustancia blanca, de entre 42 y 50 semanas de edad post-concepcional presentan problemas de habituación visual. Los niños a término a la edad de 42 semanas de edad post-concepcional ya presentan habituación ante la presentación repetida de estímulos visuales. Por el contrario, en niños prematuros con daño a la sustancia blanca la habituación no se presentó. Los autores sugieren un retraso en los mecanismos de habituación visual que deben estar presentes desde el primer mes de vida (González-Frankenberger et al., 2008). De la misma forma se ha demostrado que niños prematuros de 3 meses de edad con LPV difusa presentan mayores latencias de las ondas N75 y N135 de potenciales evocados visuales que sus pares a término, lo que pudiera implicar daño a las vías genículo-corticales y las redes neuronales de V2 y V3 (Carbajal-Valenzuela, Santiago-Rodríguez, Harmony & Fernández-Bouzas, 2014).

En una revisión sobre atención realizada por (Van de Weijer-Bergsma, Wijnroks & Jongmans, 2009) se concluye que los lactantes prematuros muestran una menor respuesta de orientación de la atención, menor atención sostenida y presentan mayores problemas con la atención ejecutiva al comparar su ejecución con lactantes a término. A este mismo respecto se ha estudiado cambios involuntarios de atención por Potenciales Relacionados a Eventos (PRES) en niños prematuros con daño a la sustancia blanca. Se presentaron pares de tonos (desviantes y standard) en un paradigma de tipo oddball. Los niños a término detectaron automáticamente los estímulos desviados y ponían atención. Además, la amplitud de los componentes P3a y Nc fueron mayores en respuesta a los estímulos desviantes que a los estándar. La respuesta de niños prematuros con daño a la sustancia blanca sin tratamiento a los 8 meses de edad no provocó mayor amplitud de los componentes P3a o Nc ante tonos desviantes en comparación con los estándar (Gutiérrez-Hernández, Harmony & Carlier, 2018). Esto sugiere que los niños prematuros presentan alteraciones desde edades tempranas en el proceso cognitivo de la atención, lo que podría impactar también el neurodesarrollo de la MT.

De esta forma, las alteraciones en la atención, el procesamiento visual y el lenguaje interfieren en el desarrollo de la MT. Woodward, Edgin, Thompson e Inder (2005) compararon la ejecución de niños prematuros de 27.9 ± 2.4 semanas de gestación y niños sanos a los 2 años de edad en una tarea de MT de tipo búsqueda A y no B (AB) con el objetivo de identificar problemas de MT de objetos. Encontraron una peor ejecución de los niños prematuros en comparación con los niños sanos, caracterizada por un mayor tiempo para aprender la instrucción y para encontrar el objeto, asimismo

se encontró una mayor frecuencia de errores no perseverativos que daban cuenta de fallas a nivel de la codificación de la información.

En otro estudio se encontró una peor ejecución en una tarea de MT visuo-espacial en niños de 3 y 4 años prematuros con muy bajo peso al nacer en comparación con niños sanos. No se reportó una relación entre la ejecución de los niños prematuros y su peso o edad gestacional al nacimiento por lo que los autores concluyen que la peor ejecución de los prematuros puede deberse más bien al daño cerebral perinatal que acompaña a la prematuridad (Vicari, Caravale, Carlesimo, Casadei, & Allemand 2004).

En un estudio prospectivo comparativo entre niños de 24 meses a término y niños prematuros con historia de LPV se encontró una mejor ejecución de niños a término en tareas de MT visuoespacial con cuatro posibles lugares de búsqueda. Esta buena ejecución en tareas de MT se asoció con incrementos de potencia de 1.1 a 2.3 Hz sobre regiones frontales bilaterales, temporales derechas y parietales así como a incrementos de potencia de la frecuencia 14.0 a 15.2 Hz sobre regiones temporales derechas y parietales; todas estas regiones han sido asociadas a circuitos de MT visual. Por el contrario, en los niños prematuros se encontró una peor ejecución en la tarea de MT asociado a un patrón generalizado incrementos de potencia de 1.1 a 2.5 Hz sobre regiones bilaterales fronto-parietales y centrales izquierdas, así como de frecuencias entre 9.3 a 19.1 Hz y sobre regiones frontales bilaterales (García-Gomar, Santiago-Rodríguez, Rodríguez-Camacho & Harmony, 2013).

En resumen, se puede concluir que los niños prematuros con antecedente de LPV difusa presentan problemas de atención (orientación, atención sostenida y atención ejecutiva), así como una alteración en la codificación de la MT. De hecho existe evidencia que los déficits de MT de niños prematuros persisten hasta la adultez (Nosarti & Froudish-Walsh, 2016).

Conclusiones y recomendaciones

El cerebro del lactante se desarrolla rápidamente. A pesar de que el lóbulo frontal tarda en desarrollarse, existen incrementos en su desarrollo a edades muy tempranas y desde el primer año de vida que coinciden con mejoras en la ejecución en tareas de MT.

Toda la evidencia indica que el desarrollo de la memoria no es un proceso independiente. La memoria de trabajo se desarrolla a la par de otros procesos que influyen directamente sobre ésta como son la percepción y el procesamiento visual, la atención selectiva e incluso el desarrollo del lenguaje. Se ha sugerido que la atención y la memoria están unidas de forma bidireccional de la infancia intermedia hasta la tardía (Buss, Ross-Sheehy & Reynolds, 2018; Reynolds & Romano, 2016).

Existen indicios de mejoras en tareas de MT desde los 5 a los 6 meses de edad y es que se ha demostrado que de los 3 a los 6 meses también mejora el control voluntario

de los movimientos oculares, estas mejoras en orientación visual, atención selectiva promueven un procesamiento perceptual más eficiente y memoria, lo que facilita el aprendizaje (Buss et al., 2018).

Con respecto a la participación de otras regiones cerebrales en la MT, es impresionante estudiar cómo en el neurodesarrollo normal de los lactantes en el primer año de vida son circuitos subcorticales inicialmente los que subyacen a la MT, para posteriormente depender de circuitos que involucran regiones parietales y finalmente a la CPFDL en estadios más avanzados del desarrollo. El desarrollo de la MT visual involucra redes de control fronto-parietal, sistemas y redes que están activos desde la segunda mitad del primer año de vida en los humanos (Fitch et al., 2016).

En México, como en diversos países de Latinoamérica, existen muchos factores de riesgo que contribuyen a los trastornos del neurodesarrollo (TND), por ejemplo: exposiciones tempranas a alcohol y otras drogas de abuso, deficiencias nutricionales, desórdenes maternos (psiquiátricos o incluso de salud en general), así como estresores psicosociales como trauma y pobreza.

Los trastornos del neurodesarrollo (TND) se asocian con consecuencias cognitivas en diversos dominios cognitivos como: comunicación, habilidades motoras, función adaptativa, autorregulación y memoria. Éstos tienen inicio en los meses más tempranos de vida; sin embargo, las manifestaciones clínicas y consecuencias cognitivas de muchos de ellos no se observan sino hasta meses o años después. A este respecto, se ha demostrado que existen ventanas críticas para la intervención temprana, que debe ocurrir antes del surgimiento de muchos síntomas conductuales (Inguaggiato, Sgandurra & Cioni, 2017). Ésta es la mejor oportunidad para la mejora de las consecuencias cognitivas de los niños con factores de riesgo. Es importante, por ello, tener un enfoque transdiagnóstico que se enfoque en la identificación de factores de riesgo tempranos y compartidos por múltiples TND. Un modelo de intervención no dirigido hacia un grupo diagnóstico como tal, sino hacia mecanismos fisiopatológicos subyacentes y comunes a diversos TNDs (Finlay-Jones et al., 2019).

En este sentido resulta de suma importancia continuar realizando investigación sobre el neurodesarrollo en diversas poblaciones con evaluaciones universales sobre factores de riesgo prenatales y factores protectores para poder identificar y estratificar aquellos con riesgo mayor y así poder tomar decisiones informadas y adecuadas para la intervención. Asimismo, se requieren estudios longitudinales amplios que provean información sobre la relación entre riesgos epidemiológicos, aparición de fenotipos tempranos de TND y el diagnóstico tardío, así como hacer estudios con poblaciones amplias para estudiar los factores que promueven la resiliencia o promueven el daño y cómo éstos interactúan para tomar en cuenta las diferencias en la severidad y el tipo de deterioro funcional. Por ejemplo, se ha demostrado que el microbioma del eje cerebro-intestino es un regulador principal de riesgo y resiliencia con periodos críticos que influyen el desarrollo cerebral (Carlson et al., 2018). Se ha encontrado composición de microbiomas alterados en niños con trastornos del espectro autista y esquizofrenia (Kelly, Minuto, Cryan, Clarke & Dinan, 2017).

Asimismo, es importante considerar la validez de las medidas para el diseño de protocolos de evaluación; por ejemplo, se ha demostrado que el estudio de la respuesta de orientación cardíaca puede predecir el retraso en el puntaje de desarrollo en las escalas Bayley (Mesa et al., 2017). Por otra parte, el estudio de los movimientos oculares provee *insights* a los fundamentos del neurodesarrollo temprano de muchos procesos como la función ejecutiva y la memoria (Kaldy, Guillory y Blaser, 2016). Y siempre considerar el uso del EEG no sólo como herramienta diagnóstica, sino como herramienta de estudio de la actividad de base o PRES relacionados con eventos y durante diversas tareas de MT.

Se ha demostrado que la capacidad de MT se relaciona con buen desempeño académico en diversas áreas, por ejemplo cálculo, inteligencia fluida y rendimiento académico en general (Alloway & Alloway, 2010; Bull, Espy & Wiebe, 2008; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Perrig, 2008). Por ello, resulta de suma importancia conocer los aspectos más relevantes para un adecuado neurodesarrollo de la MT y de esta forma asegurar futuros escolares exitosos en los niños.

Referencias

- Alcauter, S., Lin, W., Smith, J. K., Short, S. J., Goldman, B. D., Reznick, J. S. & Gao, W. (2014). Development of thalamocortical connectivity during infancy and its cognitive correlations. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(27), 9067-9075. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0796-14.2014>.
- Alloway, T. P. & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/J.JECP.2009.11.003>.
- Anderson, P. J., Doyle, L. W. & Victorian Infant Collaborative Study Group (2004). Executive functioning in school-aged children who were born very preterm or with extremely low birth weight in the 1990s. *Pediatrics*, 114(1), 50–57. <https://doi.org/10.1542/peds.114.1.50>.
- Avecilla-Ramírez, G. N., Ruiz-Correa, S., Marroquin, J. L., Harmony, T., Alba, A. & Mendoza-Montoya, O. (2011). Electrophysiological auditory responses and language development in infants with periventricular leukomalacia. *Brain and Language*, 119(3), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.06.002>.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2).
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136-R140. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2009.12.014>.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1).

- Barner, D., Thalwitz, D., Wood, J., Yang, S.-J. & Carey, S. (2007). On the relation between the acquisition of singular/plural morpho-syntax and the conceptual distinction between one and more than one. *Developmental Science*, 10(3), 365-373. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00591.x>.
- Bell, M. A. (2012). A Psychobiological Perspective on Working Memory Performance at 8 Months of Age. *Child Development*, 83(1), 251-265. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01684.x>.
- Bell, M. A. (2002). Power changes in infant EEG frequency bands during a spatial working memory task. *Psychophysiology*, 39(4), S0048577201393174. <https://doi.org/10.1017/S0048577201393174>.
- Bell, M. A. & Fox, N. A. (1992). The Relations between Frontal Brain Electrical Activity and Cognitive Development during Infancy. *Child Development*, 63(5), 1142-1163. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1992.tb01685.x>.
- Bell, M. A. & Wolfe, C. D. (2007). Changes in Brain Functioning from Infancy to Early Childhood: Evidence From EEG Power and Coherence During Working Memory Tasks. *Developmental Neuropsychology* (Vol. 31). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.499.8882&rep=rep1&type=pdf>.
- Briscoe, J., Gathercole, S. E. & Marlow, N. (2001). Everyday Memory and Cognitive Ability in Children Born Very Prematurely. *Journal of Child Psychology*, 42(6), 749-754. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4103.654>.
- Brody, L. R. (1981). Visual Short-Term Cued Recall Memory in Infancy. *Child Development*, 52(1), 242. <https://doi.org/10.2307/1129237>.
- Bull, R., Espy, K. A. & Wiebe, S. A. (2008). Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228. <https://doi.org/10.1080/87565640801982312>.
- Buss, A. T., Ross-Sheehy, S. & Reynolds, G. D. (2018). Visual working memory in early development: a developmental cognitive neuroscience perspective. *Journal of Neurophysiology*, 120(4), 1472–1483. <https://doi.org/10.1152/jn.00087.2018>.
- Carbajal-Valenzuela, C., Santiago-Rodríguez, E., Harmony, T. & Fernández-Bouzas, A. (2014). Visual Evoked Potentials in Infants with Diffuse Periventricular Leukomalacia. *Clinical EEG and Neuroscience*, 1-5. <https://doi.org/10.1177/1550059413515655>.
- Carlson, A. L., Xia, K., Azcarate-Peril, M. A., Goldman, B. D., Ahn, M., Styner, M. A., ... Knickmeyer, R. C. (2018). Infant Gut Microbiome Associated with Cognitive Development. *Biological Psychiatry*, 83(2), 148.
- Cohen, J. D., Forman, S. D., Braver, T. S., Casey, B. J., Servan-Schreiber, D., & Noll, D. C. (1994). Activation of the prefrontal cortex in a non-spatial working memory task with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 1(4), 293–304. <https://doi.org/10.1002/hbm.460010407>.

- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J. & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386(6625), 604-608. <https://doi.org/10.1038/386604a0>.
- Conway, A., Jarrold, C., Kane, M., Miyake, A. & Towse, J. (Eds.). (2008). *Variation in Working Memory*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.001.0001>.
- Cuevas, K. & Bell, M. A. (2011). EEG and ECG from 5 to 10 months of age: Developmental changes in baseline activation and cognitive processing during a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 80, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.02.009>.
- Cuevas, K., Bell, M. A., Marcovitch, S. & Calkins, S. D. (2012). Electroencephalogram and heart rate measures of working memory at 5 and 10 months of age. *Developmental Psychology*, 48(4), 907-917. <https://doi.org/10.1037/a0026448>.
- Cuevas, K., Raj, V. & Bell, M. A. (2012). A frequency band analysis of two-year-olds' memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 315-322. <https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2011.11.009>.
- Cuevas, K., Swingler, M. M., Bell, M. A., Marcovitch, S. & Calkins, S. D. (2012). Measures of frontal functioning and the emergence of inhibitory control processes at 10 months of age. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(2), 235-243. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.01.002>.
- D'Esposito, M., Aguirre, G., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and non-spatial working memory. *Cognitive Brain Research*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(98\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(98)00004-4).
- D'Esposito, Mark, Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S. & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378(6554), 279-281. <https://doi.org/10.1038/378279a0>.
- Diamond, A. (1990). The Development and Neural Bases of Memory Functions as Indexed by the AB and Delayed Response Tasks in Human Infants and Infant Monkeys. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608 (1 The Development), 267-317. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb48900.x>.
- Diamond, A. & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's AB task: evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 74(1), 24-40. <https://doi.org/10.1007/BF00248277>.
- Diamond, Adele & Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology*, 22(3), 271-294. <https://doi.org/10.1002/dev.420220307>.
- Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F. & Nyberg, L. (2015). Neurocognitive Architecture of Working Memory. *Neuron*, 88(1), 33-46. <https://doi.org/10.1016/J.NEURON.2015.09.020>.

- Feigenson, L. & Halberda, J. (2008). Conceptual knowledge increases infants' memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(29), 9926–9930. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709884105>.
- Ferbinteanu, J. (2019). Memory systems 2018—Towards a new paradigm. *Neurobiology of Learning and Memory*. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2018.11.005>.
- Fernandez, T., Harmony, T., Gersenowies, J., Silva-Pereyra, J., Fernández-Bouzas, A., Galán, L. & Díaz-Comas, L. (2002). Sources of EEG activity during a verbal working memory task in adults and children. *Supplements to Clinical Neurophysiology*, 54, 269–283. [https://doi.org/10.1016/S1567-424X\(09\)70461-1](https://doi.org/10.1016/S1567-424X(09)70461-1).
- Finlay-Jones, A., Varcin, K., Leonard, H., Bosco, A., Alvares, G. & Downs, J. (2019). Very Early Identification and Intervention for Infants at Risk of Neurodevelopmental Disorders: A Transdiagnostic Approach. *Child Development Perspectives*, 13(2), 97–103. <https://doi.org/10.1111/cdep.12319>.
- Fitch, A., Smith, H., Guillory, S. B. & Kaldy, Z. (2016). Off to a Good Start: The Early Development of the Neural Substrates Underlying Visual Working Memory. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10, 68. <https://doi.org/10.3389/fn-sys.2016.00068>.
- Fuster, J. M. (1973). Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: neuronal correlates of transient memory. *Journal of Neurophysiology*, 36(1), 61–78. <https://doi.org/10.1152/jn.1973.36.1.61>.
- Fuster, J. M. (2009). Cortex and Memory: Emergence of a New Paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(11), 2047–2072. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21280>.
- García-Gomar, M. L., Santiago-Rodríguez, E., Rodríguez-Camacho, M. & Harmony, T. (2013). Visuospatial Working Memory in Toddlers with a History of Periventricular Leukomalacia: An EEG Narrow-Band Power Analysis. *PLoS ONE*, 8(7), e69837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069837>.
- Goldman, P S. (1974). An alternative to developmental plasticity: heterology of CNS structures in infants and adults. In D. G. Stein, J. J. Rosen & N. Butters (Eds.), *Plasticity and Recovery of Function in the Central Nervous System* (pp. 149–174). New York: Academic Press.
- Goldman, Patricia S. (1971). Functional development of the prefrontal cortex in early life and the problem of neuronal plasticity. *Experimental Neurology*, 32(3), 366–387. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(71\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0014-4886(71)90005-7).
- Goldman, Patricia S. & Enger Rosvold, H. (1972). The effects of selective caudate lesions in infant and juvenile rhesus monkeys. *Brain Research*, 43(1), 53–66. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(72\)90274-0](https://doi.org/10.1016/0006-8993(72)90274-0).
- González-Frankenberger, B., Harmony, T., Ricardo-Garcell, J., Porras-Kattz, E., Fernández-Bouzas, A., Santiago, E. & Avecilla-Ramírez, G. (2008). Habituation of visual evoked potentials in healthy infants and in infants with periventricu-

- cular leukomalacia. *Clinical Neurophysiology*, 119(12), 2879-2886. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2008.08.020>.
- Grasby, P. M., Frith, C. D., Friston, K. J., Bench, C., Frackowiak, R. S. J. & Dolan, R. J. (1993). Functional mapping of brain areas implicated in auditory—verbal memory function. *Brain*, 116(1), 1-20. <https://doi.org/10.1093/brain/116.1.1>.
- Gutiérrez-Hernández, C. C., Harmony, T. & Carlier, M. E. M. (2018). Behavioral and Electrophysiological Study of Attention Process in Preterm Infants with Cerebral White Matter Injury. *Psychology & Neuroscience*, 11(2), 132-145. <https://doi.org/10.1037/pne0000127>.
- Harmony, Thalía (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083>.
- Harmony, Thalía, Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Díaz-Comas, L., Reyes, A., ... Rodríguez, M. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 161-171. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00053-0).
- Harmony, Thalía, Fernández, T., Gersenowies, J., Galán, L., Fernández-Bouzas, A., Aubert, E. & Díaz-Comas, L. (2004). Specific EEG frequencies signal general common cognitive processes as well as specific task processes in man. *International Journal of Psychophysiology*, 53(3), 207–216. <https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2004.04.006>.
- Hemgren, E. & Persson, K. (2002). Motor performance and behaviour in preterm and full-term 3-year-old children. *Child: Care, Health and Development*, 28(3), 219-226.
- Hunter, W. (1917). The delayed reaction in a child. *Psychological Review*, 24(1), 74-87. Retrieved from <https://insights.ovid.com/psychological-review/plrev/1917/01/000/delayed-reaction-child/5/00006832>.
- Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex—Developmental changes and effects of aging. *Brain Research*, 163(2), 195-205. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90349-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90349-4).
- Huttenlocher, P. R. & Dabholkar, A. S. (1997). Regional Differences in Synaptogenesis in Human Cerebral Cortex. *J. Comp. Neurol* (Vol. 387). Wiley-Liss, Inc. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291096-9861%2819971020%29387%3A2%3C167%3A%3AAID-CNE1%3E3.0.CO%3B2-Z>.
- Inguaggiato, E., Sgandurra, G. & Cioni, G. (2017). Brain plasticity and early development: implications for early intervention in neurodevelopmental disorders. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 65(5), 299-306.

- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J. & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *PNAS*, 105(19), 6829-6833. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.20.12061>.
- Jensen, O., Gelfand, J., Kounios, J. & Lisman, J. E. (2002). Oscillations in the Alpha Band (9-12 Hz) Increase with Memory Load during Retention in a Short-term Memory Task. *Cerebral Cortex*, 12(8), 877-882. <https://doi.org/10.1093/cercor/12.8.877>.
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S. & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, 363(6430), 623-625. <https://doi.org/10.1038/363623a0>.
- Kaldy, Z., Guillory, S. B. & Blaser, E. (2016). Delayed Match Retrieval: a novel anticipation-based visual working memory paradigm. *Developmental Science*, 19(6), 892-900. <https://doi.org/10.1111/desc.12335>.
- Kelly, J. R., Minuto, C., Cryan, J. F., Clarke, G. & Dinan, T. G. (2017). Cross talk: The microbiota and neurodevelopmental disorders. *Frontiers in Neuroscience*, 11(SEP), 1-31. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00490>.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3).
- Koenderink, M. J. T. & Uylings, H. B. M. (1995). Postnatal maturation of layer V pyramidal neurons in the human prefrontal cortex. A quantitative Golgi analysis. *Brain Research*, 678(1-2), 233-243. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(95\)00206-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(95)00206-6).
- Mesa, D. A., Kable, J. A., Coles, C. D., Jones, K. L., Yevtushok, L., Kulikovskiy, Y., ... Chambers, C. D. (2017). The Use of Cardiac Orienting Responses as an Early and Scalable Biomarker of Alcohol-Related Neurodevelopmental Impairment. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 41(1), 128-138. <https://doi.org/10.1111/acer.13261>.
- Nosarti, C. & Froudust-Walsh, S. (2016). Alterations in development of hippocampal and cortical memory mechanisms following very preterm birth. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 58, 35-45. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13042>.
- Paredes, M. F., James, D., Gil-Perotin, S., Kim, H., Cotter, J. A., Ng, C., ... Alvarez-Buylla, A. (2016). Extensive migration of young neurons into the infant human frontal lobe. *Science (New York, N.Y.)*, 354(6308), aaf7073. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7073>.
- Paulesu, E., Frith, C. D. & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 362(6418), 342-345. <https://doi.org/10.1038/362342a0>.
- Pelphrey, K. A., Reznick, S., Goldman, B. D., Sasson, N., Morrow, J., Donahoe, A. & Hodgson, K. (2004). Development of Visuospatial Short-Term Memory in the Second Half of the 1st Year. *Developmental Psychology*, 40(5), 836-851. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.5.836>.

- Peterson, B. S., Vohr, B., Staib, L. H., Cannistraci, C. J., Dolberg, A., Schneider, K. C., ... others. (2000). Regional brain volume abnormalities and long-term cognitive outcome in preterm infants. *Jama*, 284(15), 1939-1947.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child* (M. Cook, Trans.). New York, NY, US. Basic Books. <http://dx.doi.org/10.1037/11168-000>.
- Reynolds, G. D. & Romano, A. C. (2016). The Development of Attention Systems and Working Memory in Infancy. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10, 15. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00015>.
- Reznick, J. S., Fueser, J. J. & Bosquet, M. (1998). Self-Corrected Reaching in a Three-Location Delayed-Response Search Task. *Psychological Science*, 9(1), 66-70. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00012>.
- Reznick, J. S., Morrow, J. D., Goldman, B. D. & Snyder, J. (2004). The Onset of Working Memory in Infants. *Infancy*, 6(1), 145-154. https://doi.org/10.1207/s15327078in0601_7.
- Ross-Sheehy, S., Oakes, L. M. & Luck, S. J. (2003). The Development of Visual Short-Term Memory Capacity in Infants. *Child Development*, 74(6), 1807-1822. <https://doi.org/10.1046/j.1467-8624.2003.00639.x>.
- Ross-Sheehy, S., Oakes, L. M. & Luck, S. J. (2011). Exogenous attention influences visual short-term memory in infants. *Developmental Science*, 14(3), 490-501. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00992.x>.
- Rushe, T. M., Rifkin, L., Stewart, A. L., Townsend, J. P., Roth, S. C., Wyatt, J. S. & Murray, R. M. (2001). Neuropsychological outcome at adolescence of very preterm birth and its relation to brain structure. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43(04), 226. <https://doi.org/10.1017/S0012162201000433>.
- Squire, L. R. (1987). *Memory and brain*. New York: Oxford University Press. Retrieved from <https://psycnet.apa.org/record/1987-97599-000>.
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171-177. <https://doi.org/10.1016/J.NLM.2004.06.005>.
- Tanibuchi, I. & Goldman-Rakic, P. S. (2003). Dissociation of Spatial-, Object-, and Sound-Coding Neurons in the Mediodorsal Nucleus of the Primate Thalamus. *Journal of Neurophysiology*, 89(2), 1067-1077. <https://doi.org/10.1152/jn.00207.2002>.
- Van de Weijer-Bergsma, E., Wijnroks, L. & Jongmans, M. J. (2009). Maternal interactive styles and individual differences in developmental trajectories of executive functioning in infants born preterm. *GVO drukkers & vormgevers B.V.*
- Vicari, S., Caravale, B., Carlesimo, G. A., Casadei, A. M. & Allemand, F. (2004). Spatial working memory deficits in children at ages 3-4 who were low birth weight, preterm infants. *Neuropsychology*, 18(4), 673-678. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.4.673>.

- Watanabe, Y., Takeda, K. & Funahashi, S. (2009). Population Vector Analysis of Primate Mediodorsal Thalamic Activity during Oculomotor Delayed-Response Performance. *Cerebral Cortex*, 19(6), 1313-1321. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn170>.
- Woodward, L. J., Edgin, J. O., Thompson, D. & Inder, T. E. (2005). Object working memory deficits predicted by early brain injury and development in the preterm infant. *Brain*, 128(11), 2578-2587.

BASES NEURALES DE LA ADQUISICIÓN DEL LENGUAJE EN EL PRIMER AÑO DE VIDA

*Gloria Nélida Avecilla Ramírez**

Introducción

El lenguaje es una de las habilidades humanas más estudiadas, pero su evolución tanto filogenética como ontogenética resulta todavía un misterio. No existe registro del momento en el que la especie humana empezó a usar un lenguaje oral, sólo podemos hacer hipótesis o especulaciones acerca de cómo o en qué punto de nuestra historia comenzamos a comunicarnos a través de sonidos. La comunicación oral parece ser muy rara entre los primates, pues los humanos somos la única especie de primates que usamos un sistema de comunicación oral; los demás parecen ser mejores para comunicarse usando gestos manuales que vocalizaciones. Hay investigadores que incluso sostienen la hipótesis de que el lenguaje humano evolucionó desde los gestos manuales hacia la oralidad (Corballis, 2010). Varias señales son evidencia de dicha hipótesis, por ejemplo el hecho de que aun actualmente existan lenguas de señas basadas en los movimientos (mímesis) que son parcialmente icónicas (el gesto se parece a aquello que se nombra), o que las personas con audición normal movamos las manos automáticamente cuando hablamos, que el área de Broca se active tanto por hablar como por usar lengua de señas (Horwitz et al., 2003) y que una de las primeras formas de comunicación de los niños pequeños sean los gestos (Jackson-Maldonado, Thal & Muzinek, 1997). En algún momento y a través de algún proceso desconocido de

* Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro.

nuestra evolución, el lenguaje se convencionalizó y las vocalizaciones reemplazaron a los gestos manuales, aunque hay autores que piensan que el lenguaje oral sigue siendo un “gesto” generado por el sistema fonoarticulatorio (Galantucci, Fowler & Turvey 2006).

De una manera similar a nuestra historia como especie, los humanos no tenemos recuerdos en nuestra historia personal del momento de nuestra vida en el que empezamos a producir o a entender nuestra lengua materna. Si bien no podemos regresar en el tiempo a estudiar cómo los seres humanos desarrollamos la capacidad de comunicarnos a través del lenguaje, sí podemos estudiar el proceso ontogenético de la adquisición y desarrollo del lenguaje en los lactantes y niños pequeños.

En 1959, Chomsky (1991) propuso una hipótesis, por aquel entonces revolucionaria y hasta la fecha polémica, que planteaba que los niños poseen un circuito neuronal innato dedicado específicamente a la adquisición del lenguaje. La adquisición del lenguaje y el habla parece asombrosamente simple. Los niños pequeños aprenden su lengua materna rápida y eficazmente, pasando por el balbuceo de los 6 meses de edad hasta las oraciones completas a la edad de 3 años, siguiendo la misma vía de desarrollo independientemente de la cultura o la lengua. Lingüistas, psicólogos y neurocientíficos han tratado de explicar cómo los niños lo hacen y por qué el curso de adquisición es tan regular si el mecanismo de adquisición parece depender tanto del aprendizaje como de la influencia del ambiente. Resolver el código del lenguaje parece ser muy sencillo para los lactantes humanos, pero un problema muy complejo para los teóricos adultos.

Desde la época del conductismo, diversas teorías han intentado dar cuenta de cómo se da el proceso de adquisición del lenguaje. A pesar de los desacuerdos parciales entre las teorías, todas coinciden en que los humanos venimos al mundo preparados para dar inicio a la adquisición del lenguaje, lo que significa que tendríamos la tendencia a procesar la información lingüística del ambiente de una manera específica. Al parecer, los niños humanos no sólo son capaces de inferir exitosamente las reglas de la lengua a través de la mera exposición a ella, sino que son capaces de “inventar” una lengua en el caso de no haber sido expuestos a estímulos lingüísticos adecuados, siempre y cuando tengan la interacción social suficiente. Los casos de niños sordos hijos de padres oyentes que “crean” un lenguaje de señas rudimentario en ausencia de un modelo de lenguaje oral o de señas apropiado (Feldman et al., 1978) muestran que el lenguaje no se aprende por pura imitación, sino que también implica cierta capacidad de invención de estructuras lingüísticas. Diversos investigadores se han preguntado si la habilidad para adquirir el lenguaje es innata en el humano; autores como Chomsky (1991) consideran que sí y autores como Goldin-Meadow (2008) plantean que lo interesante de la adquisición del lenguaje es que ocurre a pesar de la diversidad de situaciones en las que un niño es expuesto al lenguaje, por lo que no parece haber un requisito esencial en el modelo de lenguaje que reciba un niño. La adquisición del lenguaje en niños sordos (lengua de señas) ocurre a un ritmo similar

y en el mismo orden que en niños oyentes, y también ocurre en culturas en las que los padres no se dirigen a sus hijos pequeños cuando hablan, por lo que su exposición al lenguaje es menor que en las culturas occidentales, en las que los padres interactúan y se dirigen a sus hijos menores de un año (Ochs & Schieffelin, 1995). La única condición mínima para que la habilidad de adquirir el lenguaje se desarrolle es la socialización con otros humanos, como lo muestran los casos de niños que crecieron en condiciones de aislamiento total de contacto humano y que no desarrollaron ningún lenguaje (Curtiss, 1977). Una buena aproximación acerca de lo innato de la habilidad de adquirir el lenguaje es considerar que es “resiliente”, pues si bien la adquisición del lenguaje no es inevitable, sí parece llevarse a cabo con un ritmo de desarrollo similar a pesar de la diversidad de situaciones en las que un niño es expuesto al lenguaje (Goldin-Meadow, 2008). Por tanto, el hecho de que la habilidad para adquirir el lenguaje permanezca a pesar de que no se den las condiciones ideales ambientales o de neurodesarrollo indica que es una habilidad innata que tiene muchos mecanismos por los cuales llevarse a cabo, y si alguno de esos mecanismos falla, habrá otro que lo suplirá, al menos parcialmente, haciendo posible que el niño desarrolle un lenguaje.

Los niños pequeños, entonces, parecen venir al mundo con un conjunto de habilidades y limitaciones perceptuales que los hacen especialmente hábiles para adquirir el lenguaje. El hecho de que los lactantes tengan una facilidad para aprender las regularidades de la información lingüística cuando está embebida en intercambios sociales pone el lenguaje en una red neurobiológica que recuerda el aprendizaje comunicativo en otras especies, como las aves canoras, pero que nos permite dilucidar qué es lo que compartimos con otras especies y qué es lo que hace únicos los mecanismos del cerebro humano para aprender el lenguaje. Muchos componentes de la red de lenguaje humana probablemente tengan sus precursores en los sistemas de otros animales, pero los humanos los usamos con otros fines.

Habilidades perceptuales lingüísticas en lactantes

El lenguaje humano tiene un curso de adquisición que inicia muy tempranamente. Para llegar al logro de la producción de la primera palabra, evento que en un niño con desarrollo típico ocurre alrededor de los 12 meses de edad, el niño ha pasado ya por un amplio aprendizaje de los niveles más básicos del lenguaje (como el sistema fonético de su lengua), sin dificultad y sin apenas darse cuenta. Como todo aquel que ha estado en clases de idiomas habrá experimentado, un adulto que intente aprender el sistema fonético de una lengua extranjera tendrá muchas más dificultades que las que tiene un niño pequeño. Si bien no es posible explorar la comprensión ni la expresión del lenguaje en lactantes muy pequeños, sí puede estudiarse la percepción del lenguaje incluso en recién nacidos prematuros, debido a que el sistema auditivo humano, a diferencia del sistema visual y el auditivo en otros animales, alcanza niveles funcionales muy tempranamente (Lecanuet & Schaal, 1996). El recién nacido

con un sistema auditivo funcional está expuesto al habla humana desde antes de su nacimiento, pues la cóclea es funcionalmente madura a las 20 semanas de gestación, y se han encontrado señales de mielinización del nervio auditivo en esa misma edad (Ray, Roy, Wadhwa & Roy, 2005), lo cual implica que el procesamiento de las señales auditivas puede iniciar desde antes del momento en el que un niño nace. Hay evidencias de que es posible registrar respuestas ante estímulos auditivos con magnetoencefalografía (MEG) en fetos desde las 35 semanas de gestación, y también respuestas de discriminación entre dos estímulos auditivos diferentes (Huotilainen et al., 2005).

El primer reto al que se enfrenta un lactante recién nacido es la categorización del complejo conjunto de señales acústicas emitidas por los humanos que lo rodean, el habla humana. El habla es una señal acústica que comprende múltiples frecuencias que ocurren simultáneamente. Los idiomas del mundo contienen alrededor de 600 consonantes y 200 vocales. Sin embargo, cada idioma utiliza un set o juego único de sólo cerca de 40 elementos, llamados fonemas, los cuales cambian el significado de una palabra (por ejemplo, de “pata” a “bata”). Estos fonemas son, de hecho, grupos de sonidos no-idénticos llamados también unidades fonéticas, que son funcionalmente equivalentes en el lenguaje (Dale, 1980). Mientras que los sonidos de las vocales consisten en combinaciones específicas de frecuencias temporalmente estables, las consonantes contienen tiempos de inicio variables y transiciones rápidas de frecuencias que ocurren en periodos de tiempo muy breves. La tarea de los lactantes es hacer algunos progresos en categorizar la composición de los aproximadamente 40 fonemas de su lengua materna antes de tratar de adquirir palabras, cuyo aprendizaje depende de estas unidades elementales.

Se ha descrito que los lactantes, antes de los ocho meses, son capaces de hacer discriminaciones más finas entre fonemas que los adultos, pues aún no se han establecido los procesos de modulación de la percepción acústica a lo largo del desarrollo y adquisición del lenguaje (Miyawaki et al., 1975; Eimas, 1975).

En las últimas décadas se ha avanzado en el conocimiento sobre la naturaleza de las habilidades innatas que los infantes usan en la tarea del aprendizaje fonético y acerca de la línea temporal del aprendizaje temprano. Es muy probable que los lactantes tengan una ventaja genéticamente codificada para procesar estímulos auditivos con cambios temporales muy precisos, lo que permite que los estímulos lingüísticos sean analizados de una manera muy fina (Dehaene-Lambertz, 2017). A diferencia de los adultos, los lactantes pueden discriminar virtualmente entre todas las unidades fonéticas usadas en los distintos idiomas. Las diferencias acústicas de las cuales esto depende son pequeñas. Un cambio de 10 milisegundos en el dominio del tiempo cambia una /b/ por una /p/, y una diferencia igualmente pequeña en el dominio de la frecuencia cambia una /p/ por una /k/. Los infantes pueden discriminar estas sutiles diferencias desde el nacimiento, y esta habilidad es esencial para la adquisición del lenguaje. Kuhl (2004) ha planteado que la relación entre la percepción auditiva básica y las barreras acústicas que separan las categorías fonéticas en los idiomas humanos

no es una relación fortuita. Según dicha autora, las habilidades perceptuales generales auditivas que poseemos al nacer proveerían de ciertas limitaciones que influirían en la selección de sonidos para el repertorio fonético de los idiomas del mundo. Sin embargo, dichas limitaciones sólo crean barreras primitivas; la localización exacta de las barreras fonéticas difiere entre los idiomas y la exposición a un idioma específico modela la percepción de estímulos lingüísticos en los lactantes.

La adquisición del inventario de fonemas de la lengua nativa del lactante es muy rápida. A los seis meses, los lactantes han fijado prototipos para las vocales que se usan en su idioma (Kuhl, Williams, Lacerda, Stevens & Lindblom, 1992), y empiezan a perder sensibilidad ante las vocales que no pertenecen a él (Polka & Werker, 1994). A los 12 meses, los niños pierden la capacidad de discriminar entre distintas consonantes que no pertenezcan a su lengua, o bien, las asimilan a las categorías de las consonantes que ya conocen (Best, McRoberts & Sithole, 1988; Werker & Tees, 1984). Después de esa edad, la capacidad de percibir contrastes fonéticos de lenguas no nativas permanece estable, pero es muy pobre. Por ejemplo, los adultos japoneses no pueden distinguir entre los fonemas /r/ y /l/, debido a que en su lengua ambos sonidos están categorizados en un mismo fonema, la /r/ japonesa (Miyawaki et al., 1975). Sin embargo, un lactante japonés menor a 6 meses sí podría distinguir entre ambos fonemas (Kuhl, 2004).

La habilidad para discriminar fonemas de cualquier lengua decae aproximadamente a los 12 meses de edad en niños a término de diferentes culturas. Sin embargo, cuando se trata de niños nacidos prematuramente, la edad a la que decae dicha habilidad no son los 12 meses de edad cronológica, sino que su habilidad decae hasta que los niños tienen alrededor de 12 meses de edad corregida (post-término). Lo anterior significa que no es la exposición a los sonidos de la lengua lo que “cierra” el periodo de aprendizaje de los fonemas, sino que, más bien, hay un periodo crítico en el que los lactantes están biológicamente preparados para el aprendizaje de los sonidos de su lengua, muy probablemente relacionado con la maduración del cerebro (Dehaene-Lambertz, 2017).

¿Cómo puede saberse que un bebé recién nacido es capaz de discriminar entre dos fonemas, si no es posible hacerle preguntas directas? Hay que recurrir a métodos como el paradigma de succión no nutritiva, el cual ha mostrado que la categorización de fonemas está presente en el humano desde el primer mes de vida. Este método implica la utilización de un biberón conectado a un transductor que registra la frecuencia de succión del lactante en una computadora. En un experimento de Eimas et al. (1971), la discriminación se estudió midiendo el incremento en el número de succiones ante un segundo sonido lingüístico después de haber habituado al lactante a un primer sonido. El bebé succionaba el chupón mientras se tocaba una cinta grabada que contenía una sílaba repetida /pa/. La rapidez de la succión del bebé disminuye según va acostumbrándose al sonido. Cuando esto ocurre, se toca otra cinta, por ejemplo, una con la sílaba /ba/, pero idéntica en volumen, duración y frecuencia

fundamental. Los bebés responden a este cambio succionando más rápidamente. Este incremento en la actividad puede interpretarse como prueba de que el cerebro del bebé “se ha dado cuenta” de que se trata de otra sílaba diferente y que por lo tanto es capaz de distinguir dos consonantes; también prueba que se ha interesado lo bastante en el cambio como para reanudar su actividad. Estos resultados fueron tomados como la primera evidencia de percepción categórica en lactantes de 1 a 4 meses de edad. De igual manera, los bebés distinguen entre /ba/ y /ga/, cuyas consonantes representan un contraste en cuanto al punto de articulación (Morse, 1972); /va/ y /sa/, consonantes que difieren tanto en el punto de articulación como en la sonoridad (Eilers & Minifie, 1975); y /a/ vs. /i/, un contraste vocálico (Trehub, 1973). Sin embargo, los estudios conductuales no pueden precisar las áreas del cerebro que están implicadas en la discriminación fonémica y tienen una precisión temporal muy pobre.

Los potenciales relacionados con eventos (PRE) permiten la descomposición de capacidades complejas en series de pasos de procesamiento, cuya duración e implementación cerebral pueden ser estimadas. El método, a pesar de sus limitaciones en cuanto a resolución espacial, puede aportar nuevas posibilidades de comprensión de los mecanismos cerebrales y la fina secuencia temporal de los procesos cognitivos en desarrollo. Además, los PRE nos permiten conocer el funcionamiento del cerebro humano sin causarle incomodidad a los participantes.

Usando los PRE se ha demostrado que el proceso de categorización fonémica tiene lugar muy temprano en el procesamiento de la señal, y que la memoria sensorial contiene una representación de fonemas, además de una representación para las características acústicas de los estímulos.

Indicadores electrofisiológicos del procesamiento de lenguaje en lactantes

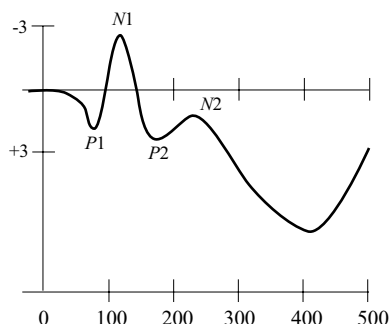
Los PRE son cambios locales de voltaje generados en el cerebro en respuesta a la presentación de algún evento externo, como un estímulo concreto o la realización de alguna tarea y reflejan la suma de la actividad post-sináptica sincrónica de grandes grupos de neuronas. Estos cambios de voltaje se superponen a la continua actividad eléctrica cerebral de fondo y son por lo general muy pequeños para ser detectados en el registro del electroencefalograma (EEG), por lo que se tiene que realizar alguna técnica de procesamiento de la señal para poder extraerlos del resto del registro electroencefalográfico. Se puede definir al EEG como las oscilaciones de voltaje originadas por las corrientes iónicas intra y extraneuronales en una gran población de células dispuestas en forma perpendicular a la superficie del cerebro y que se activan sincrónicamente.

La técnica más utilizada para su obtención es la promediación. Esta técnica supone que la actividad provocada por el evento es constante y que, en cambio, la actividad eléctrica cerebral de base varía de manera aleatoria, por lo que, si se toman varios segmentos en los cuales se presentó el mismo estímulo o el mismo tipo de estímulos,

al promediarlos esa actividad de base tenderá a disminuir. De este modo se eliminan los componentes no relacionados con el evento que se está estudiando y se hacen más ostensibles los que tienen una relación temporal con el estímulo, quedando así una onda residual que representa el potencial relacionado con el evento.

Una vez extraídos los potenciales, queda el problema de identificarlos y relacionarlos con el evento que se está probando. El análisis se enfoca en una onda determinada del potencial, llamada componente, y en que no cualquier deflexión en un potencial es un componente. Este término está reservado para ondas con características que pueden ser atribuidas a la actividad de poblaciones neuronales específicas y que se relacionan directamente con algunas manipulaciones experimentales en las que se modifique algún factor relacionado con un proceso específico (Näätänen & Picton, 1987).

Figura 1
Ejemplo de un PRE



Nota: El eje de la abscisa (x) representa el tiempo en milisegundos y el eje de la ordenada (y) representa la amplitud en microvoltios (μV).

Los componentes de los PRES deben sus nombres a dos factores: su polaridad y la latencia del pico de la onda. Así, los componentes de los PRES son deflexiones positivas o negativas que se asocian con diferentes procesos cognoscitivos y son los que constituyen los distintos patrones de PRES (véase Figura 1). De esta manera, un componente N200 sería una onda que se presenta a los 200 milisegundos después de la presentación de un estímulo y en el cual la letra N denota que tiene una polaridad negativa (Coles & Rugg, 1995).

El componente más utilizado para verificar cambios en estímulos auditivos es la *mismatch negativity* (negatividad de comparación, MMN). En los estudios de discriminación de sonidos en adultos, se ha descrito que si después de presentar una serie de sonidos iguales se introduce uno distinto, se produce el componente conocido

como MMN (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978). La MMN es un componente negativo de PRES que responde a cualquier cambio discriminable en algún aspecto (diferente) en una serie de estímulos auditivos repetitivos (estándar). Es una onda negativa que se presenta entre los 100 y los 300 milisegundos después de la presentación del estímulo diferente. La producción de la MMN está basada en la presencia de una memoria formada por los estímulos sonoros precedentes; por ejemplo, la MMN puede ser atribuida a los elementos “nuevos” o “frescos” activados por la diferencia, pero no por el estímulo estándar. (Näätänen et al., 1997). Se piensa que los primeros estímulos iguales en el comienzo de un bloque de estímulos desarrollan una traza de memoria la cual registra cada característica del estímulo, incluyendo los aspectos temporales de la estimulación e inclusive tendencias de secuencias de estímulos. De este modo, si un estímulo diferente ocurre mientras esta traza de memoria está todavía activa, entonces el proceso automático de detección de cambios genera la MMN. La MMN parece estar compuesta por al menos dos subcomponentes, uno de los cuales es generado en la corteza auditiva, y el otro es generado en la corteza frontal (Giard Perrin, Pernier & Bouchet, 1990). El generador más importante está localizado tanto en la corteza auditiva izquierda como en la derecha, pero no está completamente claro si este generador está localizado en la corteza auditiva primaria o secundaria (Zhang et al., 2018). El componente frontal ha sido asociado con la orientación involuntaria de la atención hacia el estímulo cambiante o desviación (Giard et al., 1990). Diversos estudios han mostrado que la distribución sobre el cráneo de la MMN es diferente ante cambios en frecuencia, intensidad y duración, por lo que se podría pensar que el procesamiento de distintas características de los sonidos puede ser llevado a cabo por diferentes poblaciones neuronales (Giard et al., 1994).

Diversos estudios electrofisiológicos han mostrado que la discriminación de fonemas no es una mera discriminación de las características acústicas de los sonidos, sino que se trata de un proceso específico del lenguaje. La discriminación de fonemas específica del idioma fue descrita en adultos antes de describirse en lactantes. Näätänen et al. (1997) presentaron a participantes adultos finlandeses y estonios series de estímulos sonoros en los que el estímulo estándar era la vocal /e/, que es común a ambos idiomas. Este estímulo estándar era reemplazado aleatoriamente por el estímulo desviación infrecuente, el cual podía ser cualquiera de las siguientes vocales: /õ/, /ö/, o bien, /o/. Todas estas vocales existen en el estonio y en el finlandés, excepto la /õ/, que sólo existe en idioma estonio y no en el finlandés. En los participantes estonios, se registró una respuesta MMN en respuesta a los estímulos diferentes. Su amplitud fue mayor cuando los estímulos eran más diferentes acústicamente entre ellos. En los participantes finlandeses, en cambio, se registró una respuesta MMN de baja amplitud cuando el estímulo desviación era la vocal /õ/, que no existe en su idioma, a pesar de que dicha vocal es muy distinta acústicamente al estímulo estándar /e/, y una respuesta MMN mayor cuando el estímulo desviación era la vocal /ö/, que sí existe en su idioma, pero que es más parecida al estímulo estándar /e/. Para Näätänen et al. (1997), sus resultados sugieren la presencia de trazas de memoria corticales específicas de

sonidos del lenguaje. Estas trazas servirían probablemente como patrones de reconocimiento para sonidos lingüísticos y permiten la correcta percepción de un idioma. Estos patrones de reconocimiento presumiblemente se desarrollan con la exposición al lenguaje; los datos conductuales sugieren que este desarrollo ocurre durante el primer año de vida (Kuhl et al., 1992).

Algunos investigadores consideran a la MMN como una herramienta interesante para estudiar discriminación auditiva en lactantes y en niños pequeños, ya que es un procedimiento con un bajo costo, para generarla no se requiere de ninguna respuesta conductual de parte de los niños, y ni siquiera se requiere su atención, pues puede ser registrada durante el sueño.

La respuesta MMN puede ser producida desde etapas muy tempranas en la infancia. En neonatos a término, e incluso en neonatos prematuros la MMN ha sido registrada en respuesta a cambios en la frecuencia de sonidos o cambios en vocales (Cheour et al., 1996). Alho, Sainio, Sajaniemi, Reinikainen & Näätänen (1990) fueron los primeros en obtener la MMN en lactantes. En su estudio, se presentaron estímulos estándar de 1,000 Hz y estímulos desviación de 1,200 Hz. Los estímulos desviación produjeron respuestas MMN de topografía fronto-central, con una latencia de 200-400 mseg. La amplitud promedio de la MMN en neonatos parece ser más o menos igual que en los adultos, algunos investigadores han descrito que el pico de amplitud máxima es menor que en los adultos (Cheour et al., 1998). Además, la MMN difiere en topografía en adultos y lactantes. En adultos es una respuesta fronto-central, en lactantes se ha registrado una respuesta más bien central, e incluso puede ser registrada sobre el área parietal (Cheour et al., 1998).

En los primates, las regiones corticales auditivas están organizadas de manera jerárquica en subregiones que procesan distintos elementos de los sonidos (Kaas & Hackett, 2000). En el caso del lenguaje humano, la corteza procesa de manera particular dos elementos del mensaje sonoro: la combinación de sonidos que llevan a un significado y el contexto del mensaje (quién lo emite, su ubicación, etcétera). Este proceso se lleva a cabo en regiones de la corteza temporal y en la corteza frontal inferior (Dehaene-Lambertz et al., 2006). Estas regiones se activan en respuesta a sonidos del lenguaje en lactantes de 3 meses e incluso se ha reportado en prematuros neonatos de 6 meses de gestación, a pesar de que las micro-conexiones del cerebro del bebé todavía no están maduras en esa etapa (Mahmoudzadeh et al., 2013). Por mucho tiempo se pensó que las regiones frontales en el cerebro de los lactantes eran poco funcionales a causa de su inmadurez. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que las regiones frontales inferiores están activas desde el nacimiento y participan en el procesamiento de fonemas, aunque tienen respuestas lentas. En los PRES de lactantes, las respuestas relacionadas con procesos en los que participan las regiones frontales del cerebro pueden observarse más allá de los 700 milisegundos (Kouider et al., 2013). Todavía no se sabe con claridad cuál es la contribución específica de la corteza frontal en el procesamiento del lenguaje en los lactantes, pero se piensa que puede tener que ver con el mantenimiento de la información en la memoria, lo que

permitiría a los lactantes descubrir la estructura y las reglas que subyacen a los sonidos del lenguaje (Basirat, Dehaene & Dehaene-Lambertz, 2014).

Kuhl (2004) considera que la adquisición del lenguaje involucra lo que ella llama un “compromiso neural”. Muy temprano en el desarrollo, los lactantes que están aprendiendo los sonidos de su lengua comprometen las redes neurales del cerebro en patrones que reflejan la entrada natural del lenguaje, por lo que los elementos básicos del lenguaje, que se aprenden inicialmente, son fundamentales. Cheour et al. (1998) demostraron que el desarrollo de “trazas de memoria” que permiten la categorización de los fonemas de la lengua nativa ocurren entre los 6 y los 12 meses. En su estudio, presentaron a un grupo de lactantes de seis meses finlandeses los mismos fonemas que los usados en el trabajo de Näätänen et al. (1997), en los que el estímulo estándar era la vocal /e/, que es común a ambos idiomas. Este estímulo estándar era reemplazado aleatoriamente por el estímulo desviación infrecuente, que podía ser cualquiera de las siguientes vocales: /õ/, /ø/, o bien, /o/. Todas estas vocales existen en el estonio y en el finlandés, excepto la /ø/, que sólo existe en idioma estonio y no en el finlandés. En los lactantes finlandeses de seis meses, la amplitud de su respuesta MMN fue mayor cuando el fonema distinto era /õ/ que cuando era /ø/, lo que refleja que a esa edad los cerebros de los lactantes responden más a las diferencias meramente acústicas que a las barreras fonéticas. En cambio, a los 12 meses, los mismos niños finlandeses presentaron respuestas MMN de menor amplitud para el fonema /õ/ (el que sólo existe en el estonio), y respuestas de mayor amplitud para el fonema /ø/ (que sí existe en su lengua nativa), a pesar de que la diferencia acústica es mayor entre /e/ y /õ/ que entre /e/ y /ø/. Estos hallazgos muestran que entre los 6 y los 12 meses de edad el cerebro de los lactantes deja de percibir los contrastes fonéticos de cualquier lengua para concentrarse en percibir diferencias sólo entre los fonemas de su lengua nativa (Cheour et al., 1998). Esto significa que la habilidad universal de los infantes para distinguir entre unidades fonéticas eventualmente da lugar a patrones de escucha específicos del idioma (Kuhl, 2004; Kuhl et al., 2006), lo cual permite que los niños puedan aprender palabras, sus significados, y empiecen a producirlas, evento que ocurre también alrededor de los 12 meses de edad.

Ahora bien, ¿qué mecanismo podría ser responsable del cambio en la percepción fonética entre las edades de 6 y 12 meses? Una hipótesis es que los lactantes expuestos a una lengua analizan las distribuciones estadísticas de los sonidos que escuchan en su ambiente sonoro. Cuando las características acústicas del lenguaje son analizadas, los valores promedios más frecuentes ocurren donde los idiomas sitúan categorías fonémicas, mientras que los sonidos lingüísticos que difieren de los sonidos promedio tienen bajas frecuencias de ocurrencia. Los lactantes parecen ser sensibles a las frecuencias relativas de aparición de los fonemas en la lengua que escuchan, y tienden a agrupar en una sola categoría fonémica a todos los sonidos que se parecen al fonema “promedio”. Este proceso podría ser la base del aprendizaje de las categorías de fonemas (Kuhl, 2004). Por ejemplo, en japonés no existe distinción

entre los fonemas /r/ y /l/ y los adultos nativos de japonés producen un sonido que está entre esos dos fonemas; además, no pueden discriminar entre esos dos fonemas si los escuchan en un idioma distinto al suyo. Sin embargo, los lactantes japoneses, durante sus primeros meses, son perfectamente capaces de diferenciar entre esos dos fonemas (Eimas, 1975). Al finalizar su primer año de vida los lactantes parecen haber categorizado ya los fonemas de su lengua, así que dejan de distinguir entre /r/ y /l/, que en su lengua forman una sola categoría (Werker & Tees, 1984).

Los lactantes son capaces de percibir los fonemas categóricamente y de identificar los fonemas de su lengua incluso a pesar de que sean emitidos por diferentes hablantes (Dehaene-Lambertz et al., 2006). Adquirir el código fonético requiere el procesamiento de los cambios rápidos en la señal auditiva, pero el lactante también debe aprender a reconocer a los hablantes, lo que requiere procesar variaciones más lentas del sonido. Los lactantes parecen ser mejores para discriminar entre fonemas o entre distintos idiomas, aunque sean producidos por diferentes voces, que para discriminar entre distintas voces cuando los fonemas varían. Esta ventaja para discriminar cambios entre fonemas mejor que cambios entre voces se ha observado en lactantes prematuros de 6 meses de gestación (Mahmoudzadeh, Wallois, Kongolo, Goudjil & Dehaene-Lambertz, 2017). Esta habilidad parece ser específicamente humana, pues otros mamíferos como las ratas son mejores para discriminar entre voces que para discriminar entre fonemas o entre idiomas (Toro, Trobalon & Sebastián-Gallés, 2005). Probablemente procesar cambios rápidos en los estímulos sonoros sea una ventaja genética humana que ha permitido a nuestra especie desarrollar el lenguaje oral.

Como ya habíamos mencionado, Kuhl (2004) considera que la adquisición de las categorías fonémicas de la lengua nativa implica un compromiso neural con los sonidos de la lengua, lo que permite que la percepción de los fonemas del propio idioma mejore mientras que decae la percepción de fonemas de otros idiomas. Este fenómeno parece ocurrir entre los 6 y los 12 meses de edad (Werker & Tees, 1984; Cheour et al., 1998; Kuhl et al., 2006), lo que hace pensar en la existencia de un periodo crítico que implica un límite temporal para el aprendizaje de los fonemas. ¿Ese límite temporal significa que se requieren 12 meses de experiencia escuchando los sonidos de la lengua materna para que el cerebro mapee los sonidos de su lengua nativa? Si fuera así, un lactante nacido prematuramente terminaría su proceso de aprendizaje fonético a los 12 meses de edad cronológica, sin importar cuántas semanas de gestación le hayan faltado. Sin embargo, se ha reportado que no ocurre así. Recordemos que la edad de los lactantes prematuros suele corregirse según las semanas de gestación que tuvo el lactante. Así, a un lactante prematuro que nació a los 7 meses de gestación se le corregirá la edad restándole los 2 meses de gestación que le faltaron. Por ejemplo, a sus 6 meses de edad cronológica tendrá en realidad 4 meses de edad corregida. Ese procedimiento de corrección de la edad se hace para considerar el verdadero desarrollo del lactante y evaluarlo correctamente. Los lactantes prematuros no terminan el aprendizaje fonético de su lengua nativa a los 12 meses de edad cronológica, sino

que lo hacen hasta que llegan a los 12 meses de edad corregida (lo que puede ocurrir meses después). Un lactante prematuro de 12 meses de edad cronológica, pero que su edad corregida sea de 9 meses sigue reconociendo diferencias entre fonemas de lenguas no nativas, y dejará de reconocer esas diferencias hasta que llegue a los 12 meses de edad corregida (15 meses de edad cronológica) (Pena, Werker & Dehaene-Lambertz, 2012). Este hallazgo indica que hay un periodo crítico en el aprendizaje de los fonemas y que probablemente ese periodo está determinado por la madurez de la corteza y no por la sola experiencia con el ambiente auditivo.

¿Puede servirnos el conocimiento sobre cómo los lactantes adquieren los fonemas de su lengua para predecir su posterior desarrollo de lenguaje? Avecilla-Ramírez et al. (2010) encontraron evidencia que sugiere que las respuestas electrofisiológicas ante estímulos de lenguaje registradas a las 46 semanas de edad postconcepcional (EPC) están relacionadas con el desarrollo del lenguaje, particularmente en niños con Leucomalacia Periventricular (LPV), una lesión en la sustancia blanca relativamente común en lactantes prematuros. En dicho estudio se analizaron las respuestas electrofisiológicas ante estímulos auditivos consistentes en series de tonos y de sílabas registradas en lactantes sanos y lactantes con LPV a las 46 semanas EPC. Los autores analizaron los potenciales relacionados con eventos (PRES) en 15 niños con LPV y 14 niños sanos en respuesta a cambios fonéticos y acústicos. Ambos grupos presentaron respuestas con mayor amplitud y definición ante las sílabas que ante los tonos, demostrándose así que el cerebro tiene una ligera ventaja para procesar sonidos del lenguaje que otro tipo de sonidos. El grupo con LPV y el grupo control presentaron PRES significativamente diferentes en respuesta a ambos cambios, el grupo con LPV presentó respuestas de discriminación deficientes. Meses más tarde, cuando cumplieron 14 meses de edad, los niños que habían presentado respuestas eléctricas cerebrales deficientes tuvieron también bajos puntajes de lenguaje, según el Inventario del Desarrollo de Habilidades Comunicativas McArthur, que cuenta con normas para población mexicana (CDI; Jackson-Maldonado et al., 2003).

Los autores del estudio consideran que cuando un lactante es expuesto a los sonidos del lenguaje, su primer reto sería “mapear” los patrones complejos de sonido que escucha y extraer las similitudes relevantes entre todas las variaciones acústicas irrelevantes, con el objetivo de formar las categorías de fonemas de su lengua materna. El adecuado procesamiento de los complejos patrones acústicos de los sonidos del lenguaje en la corteza auditiva es crucial para que el lactante pueda avanzar a posteriores y más sofisticadas etapas en la adquisición del lenguaje, como la asignación de significados a los sonidos que escucha (Avecilla-Ramírez et al., 2010). Entonces, una respuesta eléctrica cerebral de baja amplitud en respuesta a las sílabas estaría indicando que las áreas de la corteza que deberían estar mapeando el sonido complejo no están respondiendo de manera adecuada. Un lactante con LPV que tiene una respuesta de PRES de baja amplitud estará en riesgo de no estar procesando y mapeando los sonidos de su lengua materna, lo que retrasará su proceso de categorización de fonemas

y, por tanto, también los procesos subsecuentes, como el aprendizaje de palabras y sus significados. Estos resultados nos indican que los PRES en respuesta a estímulos lingüísticos en los primeros meses de edad podrían ser utilizados para evaluar y predecir las habilidades del lenguaje de niños pequeños que presenten factores de riesgo.

Además de estudiar las respuestas eléctricas cerebrales ante los cambios de fonemas, es posible estudiar la respuesta del cerebro ante la presentación repetitiva de sonidos de lenguaje. Se sabe que en adultos sanos la presentación de series de tonos induce una respuesta electrofisiológica mayor ante el primer estímulo y de menor amplitud ante los estímulos subsiguientes (Näätänen, 1992; Sable, Low, Maclin, Fabiani & Gratton, 2004). En lactantes normales, la amplitud de los PRES ante una serie de sílabas disminuye en amplitud gradualmente, empezando con el segundo estímulo (Dehaene-Lambertz, 1994). Estas disminuciones en la amplitud de los PRES pueden considerarse como habituación (Sable et al., 2004). La habituación ante un estímulo repetido se ha establecido en estudios perceptuales y se considera una forma básica de aprendizaje no asociativo (Rankin et al., 2009). Mantysalo & Näätänen (1987) explican las disminuciones de la amplitud de los PRES ante series de estímulos repetidos como el efecto de una traza de memoria sensorial. La memoria sensorial es la habilidad de extraer información del ambiente como resultado de la experiencia (Gibson, 1969). El desarrollo de lenguaje no es independiente del desarrollo de otros procesos cognitivos. Los lactantes que están en las primeras etapas de la adquisición del lenguaje deben aprender que los sonidos del lenguaje similares en su ambiente auditivo forman una categoría fonética y que un nuevo sonido lingüístico forma parte de otra categoría fonética. Se ha argumentado que el procesamiento de estímulos auditivos del lenguaje en los lactantes lleva a la formación de memorias de largo plazo, las cuales configurarán las categorías fonéticas que son cruciales para el desarrollo adecuado de lenguaje (Kuhl et al., 1992; 2004).

De acuerdo con Bishop (2007), los resultados de estudios en lactantes y niños pequeños basados en PRES han sido inconsistentes, con un bajo nivel de confiabilidad y no han resultado replicables, por lo que cuestiona su uso para predecir el desarrollo cognitivo. Una alternativa al uso de los PRES para estudiar el procesamiento de lenguaje en lactantes puede ser el análisis electroencefalográfico de tiempo-frecuencia-topografía. Cambios en la potencia de actividad oscilatoria sincronizada con eventos, pero no sincronizada con la fase, han sido llamados sincronización relacionada a eventos (Pfurtscheller, 1992) o desincronización relacionada con eventos (Pfurtscheller, 1977), y consiste en incrementos o disminuciones de potencia en alguna banda de frecuencia determinada. Se considera que estos cambios son causados por incrementos o disminuciones de la sincronía de las poblaciones de neuronas (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999). Algunas investigaciones recientes han utilizado los métodos tiempo-frecuencia-topografía para analizar la potencia inducida de segmentos de EEG relacionados con la presentación de estímulos, de manera similar a la aproximación que se usa en el análisis de PRES (Fuentemilla, Marco-Pallarés & Grau, 2006). Los

análisis de potencia inducida del EEG están resultando cada vez de mayor interés, pero ha sido poco usada en estudios que involucren lactantes o niños pequeños. Los pocos estudios que exploran el EEG con método tiempo-frecuencia-topografía (TFT) en lactantes se han enfocado en el análisis de la banda gamma de frecuencias.

Avecilla-Ramírez et al. (2011) realizaron un estudio en el que exploraron las respuestas eléctricas cerebrales de dos grupos de lactantes de 1 mes y medio ante la presentación de series de tres sílabas repetidas. Utilizaron un método TFT para analizar el EEG y dividieron a sus grupos basándose en el nivel de lenguaje que alcanzaran al cumplir los 14 meses de edad. Encontraron que el grupo de lactantes que más tarde desarrolló un nivel bajo de lenguaje presentó la tendencia a mostrar incrementos de potencia a lo largo de los tres estímulos de la serie al mes y medio de edad, mientras que el grupo que alcanzó niveles altos de lenguaje al crecer mostró un patrón congruente con lo encontrado en estudios de PRES, pues al mes de edad la respuesta eléctrica ante la primera sílaba de la serie fue de incrementos de potencia, mientras que la respuesta ante las sílabas siguientes de la serie fue de disminuciones de potencia. Los autores del estudio consideran que es posible que la respuesta registrada en el grupo que tuvo bajos puntajes de lenguaje a los 14 meses refleje una alteración en la formación de la representación auditiva. Aparentemente, una falla en la memoria sensorial ocasiona que un estímulo repetido sea procesado como un estímulo nuevo y entonces el proceso de habituación no se lleva a cabo.

Avecilla-Ramírez et al. (2011) argumentan que es posible que la falla de los lactantes que tuvieron un mal desarrollo de lenguaje a los 14 meses para formar trazas de memoria adecuadas lleve a un retraso en la formación de las categorías fonéticas de su lengua. La generación de categorías fonéticas tendría lugar en los primeros meses de vida y se sabe que los lactantes que no las hayan formado antes del primer año de vida presentan menores puntajes en pruebas de lenguaje que los lactantes que sí las han formado (Rivera-Gaxiola, Klarman, García-Sierra & Kuhl, 2005). Entonces, los lactantes del grupo con bajo desarrollo de lenguaje pueden presentar un problema en la generación de representaciones de memoria auditivas, lo cual puede interferir en la formación de categorías fonéticas. Al final, todo lo anterior resultará en que los lactantes tengan bajos puntajes en su desarrollo de lenguaje.

Los estudios que se llevan a cabo analizando la actividad eléctrica cerebral de lactantes adquiriendo el lenguaje, como hemos visto, pueden dar nueva luz al conocimiento de cómo el cerebro humano inicia la compleja red de eventos que llevan al lenguaje oral a ser nuestra principal forma de comunicación.

Conclusiones

En el transcurso de la evolución, el cerebro humano ha desarrollado capacidades que lo hacen único. Nuestra capacidad de desarrollar un lenguaje parece estar cincelada en el cerebro desde el nacimiento y la capacidad de procesar los sonidos del lenguaje

a temprana edad es una habilidad imprescindible para el desarrollo adecuado de un sistema de lenguaje oral. El primer año de vida, periodo que pareciera poco activo desde un punto de vista del desarrollo cognitivo, es crucial para el aprendizaje de las bases del lenguaje. Actualmente todavía no hay suficientes investigaciones que nos permitan armar un modelo teórico completo que explique cómo se da la adquisición del lenguaje y, además, la mayoría de los estudios que hay exploran preferentemente el lenguaje oral. En este trabajo hemos abordado las complejidades del aprendizaje de las bases fonéticas de la lengua, pero hacen falta más estudios sobre el desarrollo de las lenguas de señas, el bilingüismo en edades tempranas, los trastornos de lenguaje, por poner algunos ejemplos. Las futuras investigaciones develarán más a profundidad los mecanismos que el cerebro lleva a cabo para desarrollar las habilidades lingüísticas que nuestra especie posee. La electrofisiología y las técnicas de neuroimagen se presentan como oportunidades ideales para descubrir los secretos de nuestro complejo desarrollo neurocognitivo.

Bibliografía

- Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1990). Event-related brain potential of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/ Evoked Potentials*, 77(2), 151-155. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(90\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0168-5597(90)90031-8).
- Avecilla-Ramírez, G., Harmony, T., Porras-Kattz, E., Ricardo-Garcell, J., Fernández-Bouzas, A. y Santiago, E. (2010). Indicadores electrofisiológicos de la percepción fonética en lactantes con riesgo de trastornos del lenguaje". *CIENCIA@UAQ*, 3(1), 14-26.
- Avecilla-Ramírez, G. Ruiz-Correa, S. Marroquin, J. L., Harmony, T., Alba, A. & Mendoza-Montoya, O. (2011). Electrophysiological auditory responses and language development in infants. *Brain and Language*, 119, 175-183. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.06.002>.
- Basirat, A., Dehaene, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2014). A hierarchy of cortical responses to sequence violations in three-month-old infants. *Cognition*, 132(2), 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.03.013>.
- Best, C. T., McRoberts, G. W., & Sithole, N. M. (1988). Examination of Perceptual Reorganization for Nonnative Speech Contrasts: Zulu Click Discrimination by English-Speaking Adults and Infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(3), 345-360. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.3.345>.
- Bishop, D. V. M. (2007). Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: where are we, and where should we be going? *Psychological bulletin*, 133(4), 651-672. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.651>.

- Camman R. (1990). Is There a Mismatch Negativity (MMN) in the Visual Modality? *Behavioral Brain Science*, 13, 234-235. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00078420>.
- Cheour, M., Alho, K., Sainio, K., Rinne, T., Reinikainen, K., Pohjavouri, M., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O. & Näätänen, R. (1996). The ontogenetically earliest discriminative response of the human brain. *Psychophysiology*, 33, 478-481. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb01074.x>.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., & Näätänen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature neuroscience*, 1(5), 351-353. <https://doi.org/10.1038/1561>.
- Chomsky, N. (1991). Linguistics and cognitive science: problems and mysteries. En: A Kasher (Ed). *The Chomskyan Turn*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Coles, M. G. H. & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. En: M.G.H. Coles y M.D. Rugg, (Eds.) *Electrophysiology of Mind. Event-Related Potentials and Cognition* (pp. 2-26). Oxford Psychology Series. Oxford University Press.
- Curtiss, S. (1977). *Genie: A Psycholinguistic Study of a Modern-Day 'wild Child'*. Academic Press, N.Y.
- Dehaene-Lambertz, G. (2017). The human infant brain: A neural architecture able to learn language. *Psychonomic Bulletin and Review*, 24(1), 48-55. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1156-9>.
- Dehaene-Lambertz, G., & Dehaene, S. (1994). Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants. *Nature*, 370(6487), 292-295. <https://doi.org/10.1038/370292a0>.
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., Anton, J. L., Campagne, A., Ciuciu, P., Dehaene, G. P. & Poline, J. B. (2006). Functional segregation of cortical language areas by sentence repetition. *Human Brain Mapping*, 27(5), 360-371. <https://doi.org/10.1002/hbm.20250>.
- Eilers, R. E., & Minifie, F. D. (1975). Fricative discrimination in early infancy. *Journal of speech and hearing research*, 18(1), 158-167. <https://doi.org/10.1044/jshr.1801.158>.
- Eimas, P. D. (1975). Auditory and phonetic coding of the cues for speech: Discrimination of the [r-l] distinction by young infants. *Perception & Psychophysics*, 18(5), 341-347. <https://doi.org/10.3758/BF03211210>.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303-306. <https://doi.org/10.1126/science.171.3968.303>.
- Feldman, H., Goldin-Meadow, S., Gleitman, L. (1978). Beyond Herodotus: the creation of a language by linguistically deprived deaf children. En: Lock, A. (Ed.), *Action, Symbol, and Gesture: The Emergence of Language*. Academic Press, N.Y.

- Fuentemilla, L., Marco-Pallarés, J., & Grau, C. (2006). Modulation of spectral power and of phase resetting of EEG contributes differentially to the generation of auditory event-related potentials. *NeuroImage*, 30(3), 909-916. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.10.036>.
- Galantucci, B., Fowler, C. A., & Turvey, M. T. (2006). The motor theory of speech perception reviewed. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 361-377. <https://doi.org/10.3758/BF03193857>.
- Giard, M. H., Perrin, F., Echallier, J. F., Thévenet, M., Froment, J. C., & Pernier, J. (1994). Dissociation of temporal and frontal components in the human auditory N1 wave: a scalp current density and dipole model analysis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/ Evoked Potentials*, 92(3), 238-252. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0168-5597(94)90067-1).
- Giard, M. H., Perrin, F., Pernier, J., & Bouchet, P. (1990). Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: a topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27(6), 627-640. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1990.tb03184.x>.
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Meredith Corporation, NY.
- Horwitz, B., Amunts, K., Bhattacharyya, R., Patkin, D., Jeffries, K., Zilles, K., & Braun, A. R. (2003). Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: A combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis. *Neuropsychologia*, 41(14), 1868-1876. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00125-8).
- Huotilainen, M., Kujala, A., Hotakainen, M., Parkkonen, L., Taulu, S., Simola, J., Nenonen, J., Karjalainen, M. & Naatanen, R. (2005). Short-term memory functions of the human fetus recorded with magnetoencephalography. *Neuroreport*, 16, 81-84. <https://doi.org/10.1097/00001756-200501190-00019>.
- Jackson-Maldonado, D., Thal, D., Marchman, V., Newton, T., Fenson, L. y Conboy, B. (2003). *User's Guide and Technical Manual Contents*. MacArthur Inventarios. Paul Brookes Publishing Co.
- Jackson-Maldonado, D., Thal, D., & Muzinek, K. (1997). Gestos, comprensión y producción de palabras: predictores del desarrollo lingüístico. Número conmemorativo de la Nueva Revista de Filología Hispánica, El Colegio de México.
- Jansson-Verkasalo, E., Ceponiene, R., Valkama, M., Vainionpää L., Laitakari, K., Alku, P., Suominen, K. & Näätänen, R. (2003). Deficient speech-sound processing as shown by the electrophysiologic brain mismatch negativity response, and naming ability in prematurely born children. *Neuroscience Letters*, 348, 5-8. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00641-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00641-4).
- Kaas, J. H., & Hackett, T. A. (2000). Subdivisions of auditory cortex and processing streams in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(22), 11793-11799. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.22.11793>.

- Kekoni, J., Hämäläinen, H., McCloud, V., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1996). Is the somatosensory N250 related to deviance discrimination or conscious target detection? *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 100(2), 115-125. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(95\)00231-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(95)00231-6).
- Kouider, S., Stahlhut, C., Gelskov, S. V., Barbosa, L. S., Dutat, M., de Gardelle, V. & Dehaene-Lambertz, G. (2013). A Neural Marker of Perceptual Consciousness in Infants. *Science*, 340(6130), 376-380. <https://doi.org/10.1126/science.1232509>.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11), 831-843. <https://doi.org/10.1038/nrn1533>.
- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S., & Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental Science*, 9(2), F13-F21. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00468.x>.
- Kuhl, P. K., Williams, K. A., Lacerda, F., Stevens, K. N. & Lindblom, B. (1992). Linguistic experiences alter phonetic perception in infants by 6 months of age. *Science*, 255, 606-608. <https://doi.org/10.1126/science.1736364>.
- Kushnerenko, E., Eponiene, R., Balan, P., Fellman, V., Huotilainen, M., & Näätänen, R. (2002). Maturation of the auditory event-related potentials during the first year of life. *NeuroReport*, 13(1), 47-51. <https://doi.org/10.1097/00001756-200201210-00014>.
- Lecanuet, J. P., & Schaal, B. (1996). Fetal sensory competencies. *European Journal of Obstetric Gynecologie*, 68, 1-23. [https://doi.org/10.1016/0301-2115\(96\)02509-2](https://doi.org/10.1016/0301-2115(96)02509-2).
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, & J., Wallois, F. (2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(12), 4846-4851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212220110>.
- Mahmoudzadeh, M., Wallois, F., Kongolo, G., Goudjil, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2017). Functional maps at the onset of auditory inputs in very early preterm human neonates. *Cerebral Cortex*, 27(4), 2500-2512. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw103>.
- Mäntysalo, S., & Näätänen R. (1987). The duration of a neuronal trace of an auditory stimulus as indicated by event-related potentials. *Biological Psychology*, 24(3), 183-95. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(87\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0301-0511(87)90001-9).
- Miyawaki, K., Strange, W., Verbrugge, R., Liberman, A., Jenkins, J. & Fujimura, O. (1975). An effect of linguistic experience: the discrimination of (R) and (L) by native speakers of Japanese and English. *Perception and Psychophysics*, 18(5), 331-340. <https://doi.org/10.3758/BF03211209>.

- Morse, P. A. (1972). The discrimination of speech and nonspeechstimuli in early infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 14, 477-492. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(72\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0022-0965(72)90066-5).
- Näätänen R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42(4), 313-329. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(78\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(78)90006-9).
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huottilainen, M., Iivonen, A., ... Alho, K. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, 385(6615), 432-434. <https://doi.org/10.1038/385432a0>.
- Näätänen, R. & Picton, T.W. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x>.
- Ochs, E. & Schieffelin, B. (1995). The impact of language socialization on grammatical development. In: Fletcher, P., MacWhinney, B. (Eds.), *The Handbook of Child Language*. Blackwell Publishers, Oxford.
- Pena, M., Werker, J. F., & Dehaene-Lambertz, G. (2012). Earlier Speech Exposure Does Not Accelerate Speech Acquisition. *Journal of Neuroscience*, 32(33), 11159-11163. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.6516-11.2012>.
- Pfurtscheller, G. (1977). Graphical display and statistical evaluation of event-related desynchronization (ERD). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 43, 757-760. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(77\)90092-x](https://doi.org/10.1016/0013-4694(77)90092-x).
- Pfurtscheller, G. (1992). Event-related synchronization (ERS): an electrophysiological correlate of cortical areas at rest. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 83, 62-69. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(92\)90133-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(92)90133-3).
- Pfurtscheller, G. & Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842-1857. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00141-8).
- Polka, L. & Werker, J. F. (1994). Developmental changes in perception of non-native vowel contrasts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 421-435. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.2.421>.
- Rankin, C. H., Abrams, T., Barry, R. J., Bhatnagar, S., Clayton, D. F., Colombo, J., ... Thompson, R. F. (2009). Habituation revisited: an updated and revised description of the behavioral characteristics of habituation. *Neurobiology of learning and memory*, 92(2), 135-138. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.09.012>.
- Ray, B., Roy, T. S., Wadhwa, S. & Roy K. K. (2005). Development of the human fetal cochlear nerve: a morphometric study. *Hearing Research*, 202, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2004.09.013>.

- Rivera-Gaxiola, M., Klarman, L., Garcia-Sierra, A., & Kuhl, P. K. (2005). Neural patterns to speech and vocabulary growth in American infants. *Neuroreport*, 16(5), 495-498. <https://doi.org/10.1097/00001756-200504040-00015>.
- Sable, J. J., Low, K. A., Maclin, E. L., Fabiani, M., & Gratton, G. (2004). Latent inhibition mediates N1 attenuation to repeating sounds. *Psychophysiology*, 41(4), 636-642. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00192.x>.
- Toro, J. M., Trobalon, J. B., & Sebastián-Gallés, N. (2005). Effects of backward speech and speaker variability in language discrimination by rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31(1), 95-100. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.31.1.95>.
- Trehub, S. E. (1973). Infants' sensitivity to vowel and tonal contrasts. *Developmental Psychology*, 9, 91-96. <http://dx.doi.org/10.1037/h0034999>.
- Werker, J. F. y Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7, 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(84\)80022-3](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(84)80022-3).
- Zhang, Y., Yan, F., Wang, L., Wang, Y., Wang, C., Wang, Q., & Huang, L. (2018). Cortical Areas Associated with Mismatch Negativity: A Connectivity Study Using Propofol Anesthesia. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 392. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00392>.

NEURODESARROLLO Y ESTILOS PARENTALES

*Agustín Negrete Cortés
María Luisa García Gomar
Diego Armando Yáñez Olmos**

Práctica de crianza y conducta parental

La familia es el núcleo fundamental de interacción y socialización y es el medio a través del cual los niños conocen y comprenden al mundo que los rodea. Dentro de este núcleo, las interacciones madre-hijo forman la mayoría de experiencias interaccionales del primer periodo de vida del infante. Por tal motivo, el acompañamiento de los padres, dentro de una matriz interpersonal, es un factor importante en el buen desempeño del niño a lo largo de las diferentes etapas (Bigelow et al., 2010), por lo que la maternidad ejercida en forma competente, es decir, con sensibilidad a las necesidades y capacidades del niño, así como a las características del ambiente y las exigencias de la tarea, facilita a éste la obtención de sus metas. A esta maternidad competente se le conoce como sensibilidad materna, la cual es descrita en términos de intercambios diádicos sincrónicos, regulados y oportunos, propias de un cuidador hábil en adaptarse al estado, necesidades y señales de su hijo (González et al., 2017). Los niños de padres sensibles reaccionan a ellos en forma de aproximaciones positivas y cooperativas (Vite, López & Negrete, 2010).

La sensibilidad de los padres es la capacidad de reconocer y responder de manera efectiva y rápida a la angustia y las necesidades de los hijos (González et al., 2017). La investigación sobre la crianza de los hijos ha puesto un énfasis creciente en los

* Los autores están adscritos al Cuerpo Académico Psicología de las Conductas de Riesgo, Escuela de Ciencias de la Salud, Unidad Valle de las Palmas, Universidad Autónoma del Estado de Baja California.

procesos bidireccionales de las interacciones entre padres e hijos para describir con más detalle la calidad diádica de sus intercambios sociales (Kim, Boldt & Kochanska, 2015). Además, la reciprocidad entre padres e hijos, que es una cualidad bidireccional y sensible de la interacción madre-hijo, ha surgido como un importante indicador comportamental de la calidad de la relación madre-hijo (Pasiak & Menna, 2015).

Operacionalmente, la sensibilidad materna puede ser definida como la capacidad de respuesta emocional que presenta la madre frente a las demandas y necesidades del niño, y es contabilizada por medio de las respuestas pertinentes a las peticiones y emociones del niño, proporcionando un refuerzo positivo y anticipando y minimizando posibles problemas o interrupciones dentro de los intercambios sociales. Tradicionalmente, los comportamientos asociados con la sensibilidad materna suelen ser aquellos que indiquen que la madre es capaz de responder rápidamente a un grito reconocido como señal de angustia por parte del niño, es capaz de consolar al bebé cuando está molesto, muestra disposición para la interacción e interpreta las acciones del infante como significativas, etcétera (Swingler, Isbell, Zeytinoglu, Calkins & Leerkes, 2018). Asimismo, la sensibilidad materna implica la capacidad de las madres para participar con los niños en su nivel y enfoque actual para estructurar las interacciones y poder permitir que los niños logren niveles de desarrollo más allá de los que podrían lograr por sí solos (Bigelow et al., 2010).

Diversas investigaciones han relacionado el constructo de sensibilidad materna con el desarrollo de múltiples habilidades tales como el desarrollo del lenguaje (Hudson, Levickis, Down, Nicholls & Wake, 2015), desarrollo matemático (Aunola & Nurmi, 2004), el aprendizaje autorregulado (Pino-Pasternak & Whitebread, 2010), el aprendizaje de matemáticas y el desarrollo cognitivo en general (Vargas-Rubilar & Arán-Filippetti, 2014). Dichas investigaciones se han enfocado en dos constructos principales de la parentalidad: el afecto y la calidez, los cuales son representados por la sensibilidad materna, así como por la aceptación a la individualidad infantil, el soporte conductual y emocional de los padres hacia los hijos (Sleddens, Gerards, Thijs, De Vries & Kremers, 2011) y por estrategias de control conductual (Mattanah, Pratt, Cowan & Cowan, 2005).

En este mismo sentido, Chen, Dong y Zhou (1997), basados en la conceptualización de los estilos parentales de Baumrind (Baumrind, 1991; Darling & Steinberg, 2017) encontraron que el autoritarismo en los padres de niños de 8 y 9 años se asoció con mayor agresividad en los hijos y un mayor rechazo por parte de los compañeros, así como un menor rendimiento académico. Por otro lado, aquellos niños cuyos padres presentaban un estilo parental de tipo autoritativo tuvieron mayor rendimiento académico y mejor ajuste social. Particularmente, el exceso de control psicológico por parte de los padres afecta el desempeño sus hijos en tareas cognitivas de solución de problemas, en su rendimiento escolar y su adaptación socioemocional (O'Connor, 2002).

La intrusividad es otro factor importante en los procesos de interacción madre-hijo. La intrusión es definida como el grado en que la madre asume el control durante interacciones lúdicas o de juego y no permiten que el niño participe en la dirección y toma de decisiones dentro del juego, lo que socava la autonomía y la participación del niño. Los ejemplos de este comportamiento incluyen dar al niño muchas instrucciones con muy poco tiempo entre ellas para que el niño tome decisiones o tome medidas independientes, juegue el juego sin el niño o mueva físicamente la mano del niño dentro de la actividad. La intrusividad también ha mostrado evidencia de relación con el desarrollo de la cognición y las funciones ejecutivas (Swingler et al., 2018). Contrario a la intrusividad se encuentra la autonomía, que se refiere a la guía de un adulto que facilita el éxito y el sentido de dominio de un niño, en lugar de que el adulto asuma y controle la tarea o deje que el niño luche solo (Baumrind, 2012). Los adultos apoyan la autonomía de los niños tomando su perspectiva, respetando su ritmo y asegurándose de que desempeñen un papel activo en la realización de la tarea. Los adultos también pueden ofrecer a los niños diferentes opciones, sugerencias y oportunidades para solucionar un problema, en lugar de tomar decisiones por ellos, dar instrucciones y dirigir la tarea (Matte-Gagné & Bernier, 2011). De igual manera, existe evidencia de que la autonomía tiene relación con el neurodesarrollo de los niños (Meuwissen & Carlson, 2015). Otra variable importante en los estudios que relacionan la parentalidad con el neurodesarrollo de los niños es el apoyo emocional materno, el cual está conformado por la capacidad materna de respuesta emocional, menor uso de comportamiento intrusivo y menor negatividad materna (Swingler et al., 2018).

Parentalidad y las funciones ejecutivas

La función ejecutiva (FE) se refiere a los procesos cognitivos que subyacen a las respuestas flexibles dirigidas a los objetivos en situaciones nuevas; incluyen procesos cognitivos como la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva. El desarrollo de la FE es rápido durante los primeros años de vida y se cree que tiene una influencia importante en el desarrollo de la autorregulación en el periodo preescolar. En las poblaciones preescolares con desarrollo típico, existe un debate acerca de si la FE incluye distintas dimensiones relacionadas con la inhibición y la flexibilidad cognitiva, como ocurre en los niños mayores, o si la FE representa un concepto no diferenciado y unitario (Lowe et al., 2014).

La calidad de las interacciones tempranas entre padres e hijos se ha asociado positivamente con el desarrollo de FE. Varias investigaciones han identificado diferentes características de la parentalidad que pueden facilitar el desarrollo de las FE, incluida la sensibilidad (cuidado cálido y sensible), el apoyo a la autonomía (proporcionando un nivel apropiado de independencia sin controlar las tareas ni permitir intercambios aversivos), el establecimiento de expectativas consistentes para los niños, la presencia

de reglas y normas claras de convivencia familiar con sus respectivas consecuencias altamente predecibles. La sensibilidad materna proporciona una base para que los niños desarrollen expectativas de su entorno como predecible y confiable. El apoyo en la autonomía permite a los niños usar sus habilidades cognitivas para practicar sus habilidades en las FE, como planificar y monitorear sus propios errores. La estructura y el ajuste de límites les permiten a los niños una mejor oportunidad de controlar su propio comportamiento porque saben lo que se espera de ellos. Estas dimensiones de sensibilidad (Bernier, Carlson & Whipple, 2010; Brophy-Herb, Stansbury, Bocknek & Horodyski, 2012), apoyo a la autonomía (Matte-Gagné & Bernier, 2011) y la socialización de la autorregulación de las madres (Brophy-Herb et al., 2012) se han relacionado con el desarrollo de la FE a lo largo de los años preescolares. De hecho, el andamiaje verbal materno (uso de preguntas, afirmaciones y retos acorde a la edad de los niños a favor de alcanzar niveles subsecuentes de desarrollo), el apoyo a la autonomía y la sensibilidad materna se han asociado positivamente con el desarrollo de la FE en niños (Lowe, Erickson, MacLean, Schrader & Fuller, 2013). El cuidado cálido y receptivo predice una variedad de resultados cognitivos y sociales, y los padres que establecen un entorno predecible permiten que sus hijos formen expectativas organizadas del mundo, lo que se cree que es un paso temprano importante en el desarrollo de FE (Fay-Stammbach, Hawes & Meredith, 2014). Asimismo, se ha encontrado que el control y apoyo de autonomía, la cual forma parte fundamental de la crianza parental, son los factores más consistentes para predecir la FE en estudios que involucran las relaciones diádicas madre-hijo (Bernier, Carlson, Deschênes & Matte-Gagné, 2012).

De forma interesante Distefano, Galinsky, McClelland, Zelazo y Carlson (2018) encontraron que la FE de los padres y la FE de los niños estaban correlacionadas, y que ambas variables se correlacionaron con los estilos parentales que apoyaban la autonomía infantil. Sin embargo, el apoyo parental a la autonomía infantil es un factor predictivo de las habilidades derivadas de la FE infantil por encima de la FE parental. Sus resultados confirmaron que los comportamientos de apoyo a la autonomía mediaron el vínculo entre las FE de los padres y las FE de los hijos. Estos datos proporcionan evidencia inicial de la existencia de un mecanismo de transmisión intergeneracional de FE a través de los estilos de crianza caracterizados por interacciones que brindan un soporte a la autonomía infantil en tareas de solución de problemas.

Sin embargo, muchos de los estudios que relacionan las variables de parentalidad con el funcionamiento ejecutivo lo han encontrado en poblaciones con características específicas. Por ejemplo, Zvara, Keim, Boone y Anderson (2019) sugieren que los niños muy prematuros que experimentaron una crianza sensible y fueron calificados por tener una mayor mutualidad en sus interacciones con sus cuidadores obtuvieron mejores calificaciones en las tareas de la función ejecutiva. Sus hallazgos se suman a la creciente literatura sobre el papel clave que pueden desempeñar los padres sensi-

bles y las interacciones armoniosas y de respuesta mutua entre cuidadores y niños en el desarrollo de la función ejecutiva en niños muy prematuros.

El comportamiento de los padres desempeña un papel particularmente importante en el desarrollo neurológico de los niños nacidos muy prematuramente debido a que éstos presentan un mayor riesgo de déficit del desarrollo neurológico (García-Gomar, Santiago-Rodríguez, Rodríguez-Camacho & Harmony, 2013). Los estudios que examinan las asociaciones entre las conductas de crianza y FE sugieren que los comportamientos de cuidado sensibles pueden estar relacionados con niveles más altos de comportamientos orientados a metas en niños nacidos muy prematuros (Assel, Landry, Swank, Smith & Steelman, 2003; Villaseñor, Riba & Pérez, 2010).

En esta misma línea, Landry, Smith, Swank, Assel y Vellet (2001) informaron que la capacidad de respuesta materna fue un factor importante para el desarrollo cognitivo de los niños nacidos prematuros, mientras que otros encontraron que las interacciones sensibles entre la madre y el niño se asocian con una mejor autorregulación, mejor atención conjunta y menos problemas de conducta en los niños nacidos prematuramente. En contraste, los padres caracterizados por ser duros y controladores enfatizan la obediencia y el logro de metas particulares, lo cual es conocido como intrusividad. Este estilo de interacción intrusiva se ha relacionado con una FE más baja en la edad escolar para los niños nacidos muy prematuros (Clark, Woodward, Horwood, & Moor, 2008).

La importancia de la crianza sensible para la FE sugiere que la sensibilidad materna puede jugar un papel importante en la promoción del desarrollo cerebral de los niños por medio de brindar un apoyo a sus intentos posteriores de inhibición y autorregulación. Por ejemplo, una gran cantidad de evidencia sugiere que las experiencias ambientales tempranas dan forma al desarrollo cerebral. Wang et al. (2019), por medio de estudios de resonancia magnética funcional en estado de reposo, demostraron que la sensibilidad materna es un buen predictor de la conectividad funcional conformada por la red funcional hipocampal anterior derecha y la red de control cognitivo top-down de niños de 4 años de edad. Por su parte, Swingler et al. (2018) demostraron que las interacciones tempranas de los cuidadores afectan el desarrollo de los sistemas cerebrales prefrontales vinculados a las FE. Estas investigaciones son de suma importancia en términos del neurodesarrollo debido a que se ha demostrado que la corteza prefrontal es un área de desarrollo lento con una densidad neuronal que comienza a declinar aproximadamente a los 7 años de edad (Loman & Gunnar, 2010), lo que proporciona una gran ventana de plasticidad durante la cual las experiencias ambientales tempranas, incluidas las relaciones entre padres e hijos, ayudan a potencializar y estimular el neurodesarrollo (Kim, Kang, Yee, Shim & Chung, 2016). Los padres que están atentos y capacitados para identificar y comprender las señales de sus hijos crean un entorno emocionalmente coherente, caracterizado por la capacidad de respuestas oportunas y pertinentes que promueven las capacidades cognitivas y la motivación ante el desafío (Zvara et al., 2019) y pueden sentar las bases de las

habilidades reguladoras fisiológicas y de comportamiento necesarias para la función ejecutiva (Bernier et al., 2012). De forma interesante, Blair, Raver y Berry (2014) argumentan que el impacto de las prácticas de crianza sobre las FE de los niños también provoca cambios en la parentalidad, ya que niños con un mejor funcionamiento ejecutivo propicia una atención de mayor calidad por parte de los cuidadores lo que puede ser un proceso genuinamente transaccional en el neurodesarrollo.

Estilos parentales e inhibición conductual

Durante la infancia y la niñez, los cuidadores actúan como los reguladores externos más directos del comportamiento de su hijo, pero a medida que los niños ingresan en el periodo preescolar adquieren y aplican rápidamente nuevas habilidades como la Inhibición Conductual (IC), que les permite comenzar a regular y controlar su propio comportamiento en situaciones fuera del hogar (Calkins, 2011). Estas habilidades emergentes alteran la naturaleza de las interacciones entre padres e hijos en formas importantes, ya que los niños requieren una intervención menos directa de sus padres, quienes asumen un papel de apoyo para el funcionamiento independiente del niño. La IC se define como el proceso de inhibición de una respuesta bien aprendida o dominante a favor de una subdominante y es un componente central de las funciones ejecutivas (FE), un conjunto de procesos cognitivos involucrados en la regulación de los pensamientos y comportamientos (Bernier et al., 2010). Se ha demostrado que las mejoras en IC median la adquisición de otras habilidades de importancia crítica en el desarrollo, como la capacidad de retrasar la gratificación, una mayor competencia socioemocional, una transición exitosa a la educación formal y un mayor rendimiento académico (por ejemplo, Sasser, Bierman & Heinrichs, 2015). En contraste, las deficiencias en la IC están implicadas en una variedad de trastornos del desarrollo, que incluyen el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) y el trastorno obsesivo-compulsivo (Willcutt, Doyle, Nigg, Faraone & Pennington, 2005). La literatura al respecto ha establecido que los procesos de IC mejoran rápidamente en los años preescolares y en edad escolar temprana (Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006) y eso depende en gran medida del neurodesarrollo de la corteza prefrontal (Durstun et al., 2002).

Investigaciones previas han evidenciado que el rápido desarrollo del control inhibitorio en el periodo preescolar está estrechamente relacionado con el desarrollo normativo del cerebro y está influenciado por las interacciones tempranas madre-hijo (Swingler et al., 2018). Trabajos recientes han demostrado que el entorno social del niño, particularmente las relaciones madre-hijo, pueden tener una influencia importante en el desarrollo de funciones neurocognitivas como la IC y otras dimensiones de la FE en la primera infancia (Valcan, Davis & Pino-Pasternak, 2018).

Algunos trabajos han mostrado evidencia empírica de esto; por ejemplo, Spruijt, Dekker, Ziermans y Swaab (2018) encontraron que mayores conductas intrusivas de

los padres y uso más frecuente de cuestionamientos más elaborados (preguntas respecto a detalles específicos de las tareas, actividades u objetos con los que interactúe el niño) se asociaron con una disminución del control inhibitorio en los niños más pequeños, mientras que en los niños mayores no se presentaron tales asociaciones negativas. Contrariamente, encontraron una relación curvilínea entre la cantidad de preguntas abiertas y elaboradas que emiten los padres, con un mejor control inhibitorio por parte de sus hijos. La relación curvilínea indica la presencia de una cantidad óptima de preguntas cerradas y elaboradas por parte de los padres, es decir, ni muy pocas ni demasiadas, lo que está relacionado con un mayor rendimiento en el control atencional e inhibitorio en los niños. Por su parte, Roskam, Stievenart, Meunier y Noël (2014) encontraron que los autoinformes de conductas de crianza (por ejemplo, monitoreo, disciplina y autonomía) de madres y padres se han relacionado significativamente con las capacidades de inhibición infantil medidas con tareas de laboratorio. Además, Meuwissen y Carlson (2015) encontraron que el fomento de la autonomía infantil se relaciona con un mayor autocontrol, mientras que el control del padre se relaciona con una mayor impulsividad en tareas de inhibición conductual.

Asimismo, encontraron que la sensibilidad, la reciprocidad diádica y una menor intrusión severa se asociaron con un mejor funcionamiento ejecutivo en una tarea de demora de recompensa. La mayoría de los estudios que evalúan el control inhibitorio emplean esta tarea, la cual consiste en poner a los niños en una situación que involucra la elección de una tarea de autocontrol (esperar un lapso de tiempo variable para obtener un regalo) e inhibir una respuesta impulsiva (infringir una regla socialmente establecida). Para esta tarea, el niño recibe una bolsa de colores brillantes que oculta un pequeño regalo para el niño. El investigador le indica al niño que ha olvidado ponerle el moño de regalo y solicita que el niño espere y no toque la bolsa de regalo hasta que él regrese. Después de 3 minutos, el investigador regresa con el moño y el niño puede recibir el regalo. El procedimiento es videograbado para registrar si el niño es capaz de inhibir la respuesta de tocar el regalo, así como la cantidad de segundos que transcurren hasta que el niño se levanta de su asiento para tocar, recoger o abrir el regalo, si es que lo hace. Con el empleo de esta tarea, se ha identificado que los niños de padres sensibles son más capaces de inhibir sus respuestas y durar más tiempo sin tocar el regalo y esperar a que el adulto regrese. Es probable que, en este caso, la parentalidad y la inhibición conductual interactúen por medio de la susceptibilidad que presentan los niños con temperamentos más difíciles, en donde el uso de estrategias parentales de “buena calidad” sensibles y oportunas, que generen un ambiente predecible y ordenado desarrollen y fomenten la inhibición conductual y disminuyan el impacto de temperamentos mas difíciles, mientras que los padres con pocas e ineficientes habilidades de crianza fomenten escenarios impredecibles a favor de la impulsividad (Belsky & Pluess, 2009).

Importancia del andamiaje parental en el neurodesarrollo

De acuerdo con la teoría sociocultural del desarrollo (Vygotsky, 1978), el andamiaje implica procesos de apoyo y soporte cognitivo que permite a los niños alcanzar objetivos que sobrepasan sus capacidades. A medida que los padres modelan, apoyan y fomentan el desarrollo de nuevas habilidades a través del andamiaje, los niños ganan autonomía y se vuelven más capaces de resolver problemas de forma independiente. El andamiaje verbal materno, caracterizado por ser un apoyo que ayuda a los niños a resolver problemas y a entender relaciones conceptuales entre los objetos y/o actividades a través de mensajes verbales proporcionados por los padres, ha demostrado ser una importante variable parental de crianza que probablemente mejore el desarrollo de las FE, y que influye positivamente en el desarrollo de las habilidades verbales de los niños a la edad de 2 años, en las habilidades verbales evaluadas a los 3 años y sobre la FE evaluada a la edad de 4 años (Hammond, Müller, Carpendale, Bibok & Liebermann-Finestone, 2012). Landry, Smith, Swank y Guttentag (2008) encontraron que el uso de andamios verbales por parte de los padres cuando sus hijos tenían entre 2 y 3 años predijo una mayor capacidad de razonamiento verbal a los 6 años.

Sin embargo, existe evidencia de que el tiempo de gestación y el peso al nacer tienen un efecto moderador en la relación entre el andamiaje materno y el desarrollo cognitivo infantil. Por ejemplo, Lowe et al. (2013) encontraron que las madres de niños nacidos a término presentaban mayores cantidades de comportamiento de andamiaje que las mamás de niños nacidos prematuramente. Además, encontraron que el andamiaje verbal materno y el desarrollo cognitivo sólo se asociaron en niños prematuros con muy bajo peso al nacer (VLBW). Más tarde, Lowe et al. (2014) encuentran que la relación entre el andamiaje verbal materno y los puntajes de pruebas cognitivas (específicamente en tareas de inhibición conductual) sólo se presenta en niños nacidos a término. Los autores concluyen que es posible que el nivel de desinhibición demostrado en niños con muy bajo peso al nacer se asocie con una capacidad disminuida para beneficiarse del andamiaje verbal materno, por lo que el andamiaje verbal puede ser una técnica de intervención más efectiva para aquellos niños en edad preescolar que tienen una mejor autorregulación, incluida una mayor inhibición, aunque esta es un área que merece una investigación empírica adicional.

Contrariamente, Dilworth-Bart, Poehlmann, Hilgendorf, Miller y Lambert (2010) encontraron que los andamios maternos estaban relacionados con una mayor capacidad de memoria de trabajo verbal en los niños en edad preescolar nacidos con muy bajo peso. Por su parte, Erickson et al. (2013) encontraron una asociación entre el andamiaje materno y la regulación de la emoción exclusivamente para niños nacidos prematuramente.

La explicación a estas contradicciones puede encontrarse nuevamente en la relación padres-hijos por medio de la hipótesis de susceptibilidad diferencial, la cual señala que los bebés con ciertos factores de vulnerabilidad pueden ser susceptibles diferencialmente a la crianza positiva y negativa (Pluess & Belsky, 2013). Por ejemplo,

se ha demostrado que los bebés con temperamentos más reactivos o difíciles están mayormente influenciados por la atención positiva y la atención negativa, mostrando mejores resultados con la crianza positiva y resultados más negativos con la crianza menos sensible y coercitiva. Aplicando esta hipótesis a los niños nacidos prematuros, Poehlmann et al. (2011) argumentan que, dado que los bebés nacidos con muy bajo peso presentan características temperamentales difíciles tempranas, es probable que muestren una mayor vulnerabilidad a la atención negativa, siendo más propensos a la angustia y a experimentar una crianza menos óptima, lo que por consecuencia reduce las oportunidades de interacciones que propicien el andamiaje.

Por otro lado, existe poca evidencia respecto a la moderación del género en las asociaciones entre el andamiaje verbal materno y las medidas cognitivas y de FE. Por ejemplo, Lowe et al. (2014) encontraron una asociación positiva entre el andamiaje verbal materno y los puntajes de CI verbal sólo para las niñas con muy bajo peso al nacer. Los autores señalan que quizá los efectos de los esfuerzos verbales maternos se realzan para las niñas en la medida en que ellas sean más receptivas a este tipo de interacción.

Importancia de la figura paterna en el neurodesarrollo

Aunque la mayoría de las investigaciones han demostrado la relevancia de las conductas de crianza ejercidas por la madre, es probable que otras figuras de cuidado también influyan en el niño. Tener un padre unido, emocionalmente involucrado, se asocia con un mejor bienestar, desarrollo cognitivo y competencia social y puede ser especialmente beneficioso para el desarrollo de las FE porque estas relaciones proporcionan experiencias diversas para el niño (Cabrera & Bradley, 2012). Por ejemplo, Jackson (2017) demuestran que los beneficios de la participación temprana del padre y el desarrollo neurológico del bebé depende del grado de involucramiento durante las etapas prenatal y perinatal, así como del estado médico de los hijos al nacer, en donde el desarrollo neurológico de los recién nacidos con riesgo médico se mejoró cuando los padres estuvieron involucrados durante el periodo gestacional y en el momento de su nacimiento. Sin embargo, esta relación no se encontró en los casos en los que los niños no experimentaron riesgos médicos. La posible relevancia de la participación del padre sobre el desarrollo cognitivo y neurológico del hijo puede deberse a su asociación con el estrés materno, que puede aumentar durante un embarazo y/o parto de alto riesgo (Kingston, Tough & Whitfield, 2012; Tarabulsky et al., 2014). Los pocos estudios que relacionan la participación del padre durante el embarazo y el parto con los resultados infantiles han detectado reducciones en el cortisol infantil asociado a la reactividad y angustia (Luecken et al., 2013) y reducción en la reactividad negativa asociada al temperamento (Sawada et al., 2015) conforme aumenta el grado de involucramiento del padre, lo que sugiere que la participación y el apoyo del padre durante el embarazo y/o el parto pueden jugar un papel en el desarrollo neuro-

lógico infantil. Sin embargo, tales beneficios cognitivos se observan exclusivamente cuando las interacciones e involucramiento se dan de forma compartida entre madre y padre que cuando se dan por separado (Gueron-Sela, Atzaba-Poria, Meiri & Marks, 2015). Por su parte, Meuwissen y Carlson (2015) encontraron que los estilos paternales controladores de los padres estaban significativamente relacionados de manera inversa con el compuesto del funcionamiento ejecutivo del niño, por encima y más allá del ingreso familiar y la capacidad verbal del niño.

Estructuras cerebrales infantiles asociadas a las prácticas parentales

Sólo unos pocos estudios (Rifkin-Graboi et al., 2015; Wang et al., 2019; Wen et al., 2017) han comenzado a explorar la influencia de la sensibilidad materna en las redes cerebrales funcionales en la primera infancia. Particularmente, se ha encontrado que a la edad de 4 años, la sensibilidad materna se asoció positivamente con la conectividad funcional conformada por la red del hipocampo anterior (aHPC) derecha y el giro precentral derecho. De igual manera la sensibilidad materna se asoció negativamente con la conectividad funcional entre la aHPC derecha y la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (dlPFC). En niños de 6 años, la sensibilidad materna se asoció positivamente con la conectividad funcional aHPC derecha y los aspectos de la red de procesamiento visual, incluida la calcarina izquierda, calcarina derecha y regiones del cuneus izquierdo. Estos datos sugieren que la sensibilidad materna en la infancia tiene un impacto a largo plazo en la red funcional del hipocampo anterior en niños preescolares, lo que implica un papel potencial del cuidado materno en la configuración del desarrollo del cerebro infantil en la vida temprana (Wang et al., 2019).

Estudios de imagen en niños han encontrado que la atención materna se asocia con un mayor volumen del hipocampo en el período preescolar (Luby, Belden, Harms, Tillman & Barch, 2016). Asimismo, estudios con niños de 6 meses demuestran la relación de la sensibilidad materna con el volumen del hipocampo, así como la conectividad funcional de éste con las regiones del cerebro involucradas en la flexibilidad cognitiva, como la corteza prefrontal dorsolateral (dlPFC) y la memoria autobiográfica, como el giro lingual (Rifkin-Graboi et al., 2015). El mecanismo propuesto de por qué la sensibilidad materna influye en dichos cambios neuronales implica el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal (HPA) y la sensibilidad al estrés. Es decir, la baja sensibilidad materna puede ser una fuente importante de estrés en los niños durante el desarrollo temprano, y como tal puede alterar la reactividad del HPA, con lo que eventualmente se puede ver afectada la forma de reaccionar a las experiencias emocionales de los niños y con ello, el desarrollo neurocognitivo (Blair, Granger, Willoughby & Kivlighan, 2006; Matsudaira et al., 2019). Esto puede sugerir que el estrés relacionado con el entorno de cuidado tiene un mayor impacto sobre las redes funcionales del hipocampo anterior, que involucra la red sensoriomotora y las redes de procesamiento visual. Además, se encontró que los adultos jóvenes con antecedentes de privación

de cuidados y negligencia emocional exhiben una mayor activación anterior, pero no posterior, del hipocampo durante el procesamiento de información amenazadora, como caras temerosas (Maheu et al., 2010). En este mismo sentido, Heim y Nemeroff (2001) describen los efectos de la neurotransmisión del factor liberador de corticotropina (CRF) en el hipotálamo, el hipocampo y el sistema nervioso autónomo, mientras que Diseth (2005) incluye el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, los sistemas nervioso simpático y parasimpático, y los efectos de los glucocorticoides en su modelo de respuesta al estrés traumático.

Otra estructura cerebral que ha recibido especial atención en la literatura de la parentalidad, en específico en el maltrato infantil, es la corteza prefrontal, la cual continúa desarrollándose hasta la edad adulta temprana y, por tanto, tiene un prolongado periodo de sensibilidad a las influencias medioambientales. Milani, Hoffmann, Fosaluza, Jackowski y Mello (2017) reportan diferencias en el volumen de materia gris de la corteza prefrontal en niños con trastorno de estrés postraumático resultante de abuso físico, abuso sexual, negligencia física y abuso emocional de los padres comparado con niños sanos. Las alteraciones en el tamaño y/o funcionamiento de la corteza prefrontal se han relacionado tanto con experiencias traumáticas en la infancia como con deficiencias en el funcionamiento ejecutivo (Wilson, Hansen & Li, 2011).

Por su parte, Swingle et al. (2018) demostraron que el apoyo emocional materno en las interacciones madre-hijo en el periodo preescolar está asociado con la actividad eléctrica cerebral del hemisferio derecho vinculadas a respuestas correctas en tareas de inhibición conductual, lo que sugiere que el comportamiento materno influye en el desarrollo cerebral del control inhibitorio del niño durante el periodo escolar. Los autores resaltan que las madres que apoyaban más emocionalmente la tarea de inhibición ejecutada por sus hijos presentaban mayor compromiso y sensibilidad con las respuestas de sus hijos, empleaban más el refuerzo positivo, hacían uso de un comportamiento menos intrusivo o negativo, permitían con mayor frecuencia que el niño tuviera más autonomía para realizar la tarea y le brindaban orientación sobre la mejor manera de completarla, por lo que generaban un contexto ambiental en el cual el niño podía practicar la inhibición conductual, fortaleciendo así las conexiones sinápticas en áreas que apoyan las conductas de inhibición.

Por otro lado, algunos investigadores describen que el hipocampo, la corteza prefrontal y el cuerpo calloso son altamente vulnerables a las prácticas de crianza negativas, por medio de la evidencia encontrada sobre la disregulación neuroendocrina de la respuesta al estrés traumático en niños maltratados. Por ejemplo, Cicchetti y Rogosch (2001) y Şimşek, Yüksel, Kaplan, Uysal y Alaca (2015) encontraron que los niños maltratados que habían sido abusados física y sexualmente exhibieron niveles más altos de estrés, medido a través del cortisol matutino, mientras que los niños que habían sido expuestos a maltrato físico exclusivamente mostraron un nivel más bajo de cortisol matutino y tuvieron una disminución menor desde el cortisol matutino hasta el vespertino. Varios investigadores han planteado la hipótesis de que la disregulación

del cortisol en los niños después del maltrato depende de la naturaleza del maltrato, ya que evoca la respuesta traumática inicial al estrés, pero también está influida por los efectos neurotóxicos del cortisol elevado en las regiones del cerebro en desarrollo durante sus periodos sensibles (Bernard, Frost, Bennett & Lindhiem, 2017).

Sin embargo, los niños que son maltratados durante la infancia son susceptibles a los beneficios y detrimentos de los efectos del cortisol en un hipocampo que se encuentra en un periodo sensible para el desarrollo. Wilson et al. (2011) resaltan que el hipocampo sigue experimentando una alta tasa de neurogénesis durante la infancia, lo que puede ayudar a disminuir la pérdida celular inicial y la reducción del volumen causada por el maltrato si éste se detiene durante este periodo sensible.

Conclusión

Existe múltiple evidencia del impacto de las conductas parentales sobre el desarrollo cognitivo y neurocognitivo del niño. Particularmente se identifican algunas conductas parentales que impactan negativamente en el neurodesarrollo de los niños como lo es la incapacidad de las madres para poder detectar las señales y necesidades de sus hijos, la falta de sincronía y predictibilidad del ambiente que rodea las interacciones, el uso excesivo de un lenguaje inapropiado o elevado a la etapa del desarrollo del niño, así como el uso de la violencia y la agresión como estrategias disciplinarias que generan un ambiente estresante. Desgraciadamente, estas deficiencias en el neurodesarrollo, particularmente en las funciones ejecutivas, causadas por las prácticas de crianza inapropiadas, crean nuevas condiciones de empobrecimiento de las interacciones parentales que poco a poco empeoran el escenario conforme el niño avanza en su desarrollo. Resulta importante, por tanto, poner énfasis en estrategias de intervención enfocadas en mejorar las conductas relacionadas a la crianza y reducir el estrés materno, por medio de la adquisición de habilidades tanto cognitivas como conductuales para el empleo de prácticas parentales más efectivas que favorezcan escenarios que estimulen las funciones ejecutivas y propicien condiciones de andamiaje para las habilidades cognitivas de los niños.

La investigación clínica al respecto señala que los patrones interactivos entre madre e hijo pueden reestructurarse por medio del entrenamiento conductual en habilidades parentales (Wahler & Bellamy, 1997; Ward, Theule & Cheung, 2016). Al respecto, Wahler y Meginnis (1997) indican que la sensibilidad materna puede fomentarse a través de enseñar a las madres a proporcionar respuestas específicas que contengan aprobaciones y/o información de manera selectiva posterior al comportamiento prosocial de sus hijos generando una forma específica de retroalimentación social para las conductas prosociales infantiles, lo cual le permite a la madre estar en posibilidad de generar sincronía a través del arreglo de otras contingencias sociales apropiadas al amplio repertorio del comportamiento infantil. En este sentido, la evidencia empírica de estudios que han empleado como técnica de intervención los Parent Child Interac-

tion Therapy (Strand, 2000) que es a la terapia efectiva más ampliamente usada en diadas con historia de maltrato infantil y problemas de conducta, destacando reducciones significativas en índices de estrés parental, reducción en abuso físico infantil, así como el abuso potencial infantil, mostrando evidencia sobre su efectividad a largo plazo (Kennedy, Kim, Tripodi, Brown & Gowdy, 2016). Sin embargo, resultaría importante que investigaciones futuras determinaran el impacto de las estrategias de intervención parental encargadas de mejorar la sensibilidad materna, la reducción de la intrusividad, el aumento de la predictibilidad y la consistencia disciplinar sobre el desarrollo cognitivo de los niños en edades tempranas.

Referencias

- Assel, M. A., Landry, S. H., Swank, P., Smith, K. E., & Steelman, L. M. (2003). Precursors to mathematical skills: Examining the roles of visual-spatial skills, executive processes, and parenting factors. *Applied Developmental Science*, 7(1), 27-38. https://doi.org/10.1207/S1532480XADS0701_3.
- Aunola, K., & Nurmi, J. E. (2004). Maternal affection moderates the impact of psychological control on a child's mathematical performance. *Developmental Psychology*, 40(6), 965-978. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.6.965>.
- Baumrind, D. (1991). The Influence of Parenting Style on Adolescent Competence and Substance Use. *The Journal of Early Adolescence*, 11(1), 56-95. <https://doi.org/10.1177/0272431691111004>.
- Baumrind, D. (2012). Differentiating between confrontive and coercive kinds of parental power-assertive disciplinary practices. *Human Development*, 55(2), 35-51. <https://doi.org/10.1159/000337962>.
- Belsky, J., & Pluess, M. (2009). Beyond Diathesis Stress: Differential Susceptibility to Environmental Influences. *Psychological Bulletin*, 135(6), 885-908. <https://doi.org/10.1037/a0017376>.
- Bernard, K., Frost, A., Bennett, C. B., & Lindhiem, O. (2017). Maltreatment and diurnal cortisol regulation: A meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, 78, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.01.005>.
- Bernier, A., Carlson, S. M., Deschênes, M., & Matte-Gagné, C. (2012). Social factors in the development of early executive functioning: a closer look at the caregiving environment. *Developmental Science*, 15(1), 12-24. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01093.x>.
- Bernier, A., Carlson, S. M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Development*, 81(1), 326-339. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x>.
- Bigelow, A. E., MacLean, K., Proctor, J., Myatt, T., Gillis, R., & Power, M. (2010). Maternal sensitivity throughout infancy: Continuity and relation to attach-

- ment security. *Infant Behavior and Development*, 33(1), 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2009.10.009>.
- Blair, C., Granger, D., Willoughby, M., & Kivlighan, K. (2006). Maternal sensitivity is related to hypothalamic-pituitary-adrenal axis stress reactivity and regulation in response to emotion challenge in 6-month-old infants. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1094, pp. 263-267). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1196/annals.1376.031>.
- Blair, C., Raver, C., & Berry, D. J. (2014). Two approaches to estimating the effect of parenting on the development of executive function in early childhood. *Developmental Psychology*, 50(2), 554-565. <https://doi.org/10.1037/a0033647>.
- Brophy-Herb, H. E., Stansbury, K., Bocknek, E., & Horodyski, M. A. (2012). Modeling maternal emotion-related socialization behaviors in a low-income sample: Relations with toddlers' self-regulation. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 352-364. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2011.11.005>.
- Cabrera, N. J., & Bradley, R. H. (2012). Latino Fathers and Their Children. *Child Development Perspectives*, 6(3), 232-238. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00249.x>.
- Calkins, S. D. (2011). Caregiving as Coregulation: Psychobiological Processes and Child Functioning (pp. 49-59). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7361-0_3.
- Chen, X., Dong, Q., & Zhou, H. (1997). Authoritative and Authoritarian Parenting Practices and Social and School Performance in Chinese Children. *International Journal of Behavioral Development*, 21(4), 855-873. <https://doi.org/10.1080/016502597384703>.
- Cicchetti, D., & Rogosch, F. A. (2001). Diverse patterns of neuroendocrine activity in maltreated children. *Development and Psychopathology*, 13(3), 677-693. <https://doi.org/10.1017/S0954579401003145>.
- Clark, C. A. C., Woodward, L. J., Horwood, L. J., & Moor, S. (2008). Development of emotional and behavioral regulation in children born extremely preterm and very preterm: Biological and social influences. *Child Development*, 79(5), 1444-1462. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2008.01198.x>.
- Darling, N., & Steinberg, L. (2017). Parenting Style as Context: An Integrative Model. In *Interpersonal Development* (pp. 161-170). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351153683-8>.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>.
- Dilworth-Bart, J., Poehlmann, J., Hilgendorf, A. E., Miller, K., & Lambert, H. (2010). Maternal Scaffolding and Preterm Toddlers' Visual-Spatial Processing and Emerging Working Memory. *Journal of Pediatric Psychology*, 35(2), 209-220. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsp048>.

- Diseth, T. H. (2005). Dissociation in children and adolescents as reaction to trauma—An overview of conceptual issues and neurobiological factors. *Nordic Journal of Psychiatry*. <https://doi.org/10.1080/08039480510022963>.
- Distefano, R., Galinsky, E., McClelland, M. M., Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2018). Autonomy-supportive parenting and associations with child and parent executive function. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 58(April), 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2018.04.007>.
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Uluğ, A. M., Zimmerman, R. D., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, 5(4). <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00235>.
- Erickson, S. J., Duvall, S. W., Fuller, J., Schrader, R., MacLean, P., & Lowe, J. R. (2013). Differential associations between maternal scaffolding and toddler emotion regulation in toddlers born preterm and full term. *Early Human Development*, 89(9), 699-704. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2013.05.003>.
- Fay-Stammbach, T., Hawes, D. J., & Meredith, P. (2014). Parenting Influences on Executive Function in Early Childhood: A Review. *Child Development Perspectives*, 8(4), 258-264. <https://doi.org/10.1111/cdep.12095>.
- García-Gomar, M. L., Santiago-Rodríguez, E., Rodríguez-Camacho, M., & Harmony, T. (2013). Visuospatial Working Memory in Toddlers with a History of Periventricular Leukomalacia: An EEG Narrow-Band Power Analysis. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069837>.
- González, G., Moraes, M., Sosa, C., Umpierrez, E., Duarte, M., Cal, J., & Ghione, A. (2017). Depresión materna postnatal y su repercusión en el neurodesarrollo infantil: Estudio de cohorte. *Revista Chilena de Pediatría*, 88(3), 360-366. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062017000300008>.
- Gueron-Sela, N., Atzaba-Poria, N., Meiri, G., & Marks, K. (2015). The Caregiving Environment and Developmental Outcomes of Preterm Infants: Diathesis Stress or Differential Susceptibility Effects? *Child Development*, 86(4), 1014-1030. <https://doi.org/10.1111/cdev.12359>.
- Hammond, S. I., Müller, U., Carpendale, J. I. M., Bibok, M. B., & Liebermann-Finestone, D. P. (2012). The effects of parental scaffolding on preschoolers' executive function. *Developmental Psychology*, 48(1), 271-281. <https://doi.org/10.1037/a0025519>.
- Heim, C., & Nemeroff, C. B. (2001, June 15). The role of childhood trauma in the neurobiology of mood and anxiety disorders: Preclinical and clinical studies. *Biological Psychiatry*. Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01157-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01157-X).
- Hudson, S., Levickis, P., Down, K., Nicholls, R., & Wake, M. (2015). Maternal responsiveness predicts child language at ages 3 and 4 in a community-based sample of slow-to-talk toddlers. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 50(1), 136-142. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12129>.

- Jackson, D. B. (2017). The Interplay Between Early Father Involvement and Neonatal Medical Risk in the Prediction of Infant Neurodevelopment. *Prevention Science*, 18(1), 106-115. <https://doi.org/10.1007/s11121-016-0734-4>.
- Kennedy, S. C., Kim, J. S., Tripodi, S. J., Brown, S. M., & Gowdy, G. (2016). Does Parent-Child Interaction Therapy Reduce Future Physical Abuse? A Meta-Analysis. *Research on Social Work Practice*, 26(2), 147-156. <https://doi.org/10.1177/1049731514543024>.
- Kim, M., Kang, S.-K., Yee, B., Shim, S.-Y., & Chung, M. (2016). Paternal involvement and early infant neurodevelopment: the mediation role of maternal parenting stress. *BMC Pediatrics*, 16(212), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12887-016-0747-y>.
- Kim, S., Boldt, L. J., & Kochanska, G. (2015). From parent-child mutuality to security to socialization outcomes: developmental cascade toward positive adaptation in preadolescence. *Attachment and Human Development*, 17(5), 472-491. <https://doi.org/10.1080/14616734.2015.1072832>.
- Kingston, D., Tough, S., & Whitfield, H. (2012, October). Prenatal and postpartum maternal psychological distress and infant development: A systematic review. *Child Psychiatry and Human Development*. <https://doi.org/10.1007/s10578-012-0291-4>.
- Landry, S. H., Smith, K. E., Swank, P. R., Assel, M. A., & Vellet, S. (2001). Does early responsive parenting have a special importance for children's development or is consistency across early childhood necessary? *Developmental Psychology*, 37(3), 387-403. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.3.387>.
- Landry, Susan H., Smith, K. E., Swank, P. R., & Guttentag, C. (2008). A Responsive Parenting Intervention: The Optimal Timing Across Early Childhood for Impacting Maternal Behaviors and Child Outcomes. *Developmental Psychology*, 44(5), 1335-1353. <https://doi.org/10.1037/a0013030>.
- Loman, M. M., & Gunnar, M. R. (2010, May). Early experience and the development of stress reactivity and regulation in children. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.05.007>.
- Lowe, J., Erickson, S. J., MacLean, P., Duvall, S. W., Ohls, R. K., & Duncan, A. F. (2014). Associations between maternal scaffolding and executive functioning in 3 and 4year olds born very low birth weight and normal birth weight. *Early Human Development*, 90(10), 587-593. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2014.07.009>.
- Lowe, J. R., Erickson, S. J., MacLean, P., Schrader, R., & Fuller, J. (2013). Association of maternal scaffolding to maternal education and cognition in toddlers born preterm and full term. *Acta Paediatrica*, 102(1), 72-77. <https://doi.org/10.1111/apa.12037>.
- Luby, J. L., Belden, A., Harms, M. P., Tillman, R., & Barch, D. M. (2016). Preschool is a sensitive period for the influence of maternal support on the trajectory of

- hippocampal development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(20), 5742-5747. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601443113>.
- Luecken, L. J., Lin, B., Coburn, S. S., MacKinnon, D. P., Gonzales, N. A., & Crnic, K. A. (2013). Prenatal stress, partner support, and infant cortisol reactivity in low-income Mexican American families. *Psychoneuroendocrinology*, 38(12), 3092-3101. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.09.006>.
- Maheu, F. S., Dozier, M., Guyer, A. E., Mandell, D., Peloso, E., Poeth, K., ... Ernst, M. (2010). A preliminary study of medial temporal lobe function in youths with a history of caregiver deprivation and emotional neglect. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 10(1), 34-49. <https://doi.org/10.3758/CABN.10.1.34>.
- Matsudaira, I., Oba, K., Takeuchi, H., Sekiguchi, A., Tomita, H., Taki, Y., & Kawashima, R. (2019). rs1360780 of the FKBP5 gene modulates the association between maternal acceptance and regional gray matter volume in the thalamus in children and adolescents. *PLOS ONE*, 14(8), e0221768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221768>.
- Mattanah, J. F., Pratt, M. W., Cowan, P. A., & Cowan, C. P. (2005). Authoritative parenting, parental scaffolding of long-division mathematics, and children's academic competence in fourth grade. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 26(1), 85-106. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2004.10.007>.
- Matte-Gagné, C., & Bernier, A. (2011). Prospective relations between maternal autonomy support and child executive functioning: Investigating the mediating role of child language ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 611-625. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.06.006>.
- Meuwissen, A. S., & Carlson, S. M. (2015). Fathers matter: The role of father parenting in preschoolers' executive function development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 140, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.06.010>.
- Milani, A. C. C., Hoffmann, E. V., Fossaluza, V., Jackowski, A. P., & Mello, M. F. (2017, March 1). Does pediatric post-traumatic stress disorder alter the brain? Systematic review and meta-analysis of structural and functional magnetic resonance imaging studies. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1111/pcn.12473>.
- O'Connor, T. G. (2002, July). Annotation: The "effects" of parenting reconsidered: Findings, challenges, and applications. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00046>.
- Pasiak, C., & Menna, R. (2015). Mother-Child Synchrony: Implications for Young Children's Aggression and Social Competence. *Journal of Child and Family Studies*, 24(10), 3079-3092. <https://doi.org/10.1007/s10826-015-0113-y>.
- Pino-Pasternak, D., & Whitebread, D. (2010). The role of parenting in children's self-regulated learning. *Educational Research Review*. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.07.001>.

- Pluess, M., & Belsky, J. (2013). Vantage sensitivity: Individual differences in response to positive experiences. *Psychological Bulletin*, 139(4), 901-916. <https://doi.org/10.1037/a0030196>.
- Poehlmann, J., Schwichtenberg, A. J. M., Schlafer, R. J., Hahn, E., Bianchi, J. P., & Warner, R. (2011). Emerging self-regulation in toddlers born preterm or low birth weight: Differential susceptibility to parenting? *Development and Psychopathology*, 23(1), 177-193. <https://doi.org/10.1017/S0954579410000726>.
- Rifkin-Graboi, A., Kong, L., Sim, L. W., Sanmugam, S., Broekman, B. F. P., Chen, H., ... Qiu, A. (2015). Maternal sensitivity, infant limbic structure volume and functional connectivity: A preliminary study. *Translational Psychiatry*, 5(10). <https://doi.org/10.1038/tp.2015.133>.
- Roskam, I., Stievenart, M., Meunier, J. C., & Noël, M. P. (2014). The development of children's inhibition: Does parenting matter? *Journal of Experimental Child Psychology*, 122(1), 166-182. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.01.003>.
- Sasser, T. R., Bierman, K. L., & Heinrichs, B. (2015). Executive functioning and school adjustment: The mediational role of pre-kindergarten learning-related behaviors. *Early Childhood Research Quarterly*, 30(PA), 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2014.09.001>.
- Sawada, N., Gagné, F. M., Séguin, L., Kramer, M. S., McNamara, H., Platt, R. W., ... Lydon, J. E. (2015). Maternal prenatal felt security and infant health at birth interact to predict infant fussing and crying at 12 months postpartum. *Health Psychology*, 34(8), 811-819. <https://doi.org/10.1037/hea0000152>.
- Şimşek, Ş., Yüksel, T., Kaplan, I., Uysal, C., & Alaca, R. (2015). Examining the levels of BDNF and cortisol in children and adolescent victims of sexual abuse—a preliminary study. *Comprehensive Psychiatry*, 61, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2015.04.013>.
- Sleddens, E. F. C., Gerards, S. M. P. L., Thijs, C., De Vries, N. K., & Kremers, S. P. J. (2011, June). General parenting, childhood overweight and obesity-inducing behaviors: A review. *International Journal of Pediatric Obesity*. <https://doi.org/10.3109/17477166.2011.566339>.
- Spruijt, A. M., Dekker, M. C., Ziermans, T. B., & Swaab, H. (2018). Attentional control and executive functioning in school-aged children: Linking self-regulation and parenting strategies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 340-359. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.09.004>.
- Strand, P. S. (2000). A modern behavioral perspective on child conduct disorder: Integrating behavioral momentum and matching theory. *Clinical Psychology Review*, 20(5), 593-615. [https://doi.org/10.1016/S0272-7358\(99\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0272-7358(99)00010-0).
- Swingler, M. M., Isbell, E., Zeytinoglu, S., Calkins, S. D., & Leerkes, E. M. (2018a). Maternal behavior predicts neural underpinnings of inhibitory control in preschoolers. *Developmental Psychobiology*, 60(6), 692-706. <https://doi.org/10.1002/dev.21742>.

- Swingler, M. M., Isbell, E., Zeytinoglu, S., Calkins, S. D., & Leerkes, E. M. (2018b). Maternal behavior predicts neural underpinnings of inhibitory control in preschoolers. *Developmental Psychobiology*, 60(6), 692-706. <https://doi.org/10.1002/dev.21742>.
- Tarabulsky, G. M., Pearson, J., Vaillancourt-Morel, M. P., Bussi eres, E. L., Madigan, S., Lemelin, J. P., ... Royer, F. (2014). Meta-analytic findings of the relation between maternal prenatal stress and anxiety and child cognitive outcome. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 35(1), 38-43. <https://doi.org/10.1097/DBP.0000000000000003>.
- Valcan, D. S., Davis, H., & Pino-Pasternak, D. (2018). Parental Behaviours Predicting Early Childhood Executive Functions: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 30(3), 607-649. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9411-9>.
- Vargas-Rubilar, J., & Ar n-Filippetti, V. (2014). The importance of parenthood for the child's cognitive development: a theoretical revision. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ni ez y Juventud*, 12(1), 171-186. <https://doi.org/10.11600/1692715x.1219110813>.
- Villaseñor,  . B., Riba, S. S. I., & Pérez, E. E. (2010). Executive function in early childhood and Generalizability Theory: Typical babies and preterm babies. *Psicothema*, 22(2), 221-226.
- Vite, A., López, F., & Negrete, A. (2010). Sensibilidad materna y maltrato infantil. *Acta Colombiana de Psicología*, 13(2), 11-18.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wahler, R. G., & Meginnis, K. L. (1997). Strengthening child compliance through positive parenting practices: what works? *Journal of Clinical Child Psychology*, 26(4), 433-440. https://doi.org/10.1207/s15374424jccp2604_12.
- Wahler, Robert G., & Bellamy, A. (1997). Generating reciprocity with conduct problem children and their mothers: The effectiveness of compliance teaching and responsive parenting. *Journal of Social and Personal Relationships*, 14(4), 549-564. <https://doi.org/10.1177/0265407597144009>.
- Wang, Q., Zhang, H., Wee, C. Y., Lee, A., Poh, J. S., Chong, Y. S., ... Qiu, A. (2019). Maternal sensitivity predicts anterior hippocampal functional networks in early childhood. *Brain Structure and Function*, 224(5), 1885-1895. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01882-0>.
- Ward, M. A., Theule, J., & Cheung, K. (2016). Parent-Child Interaction Therapy for Child Disruptive Behaviour Disorders: A Meta-analysis. *Child and Youth Care Forum*, 45(5), 675-690. <https://doi.org/10.1007/s10566-016-9350-5>.
- Wen, D. J., Soe, N. N., Sim, L. W., Sanmugam, S., Kwek, K., Chong, Y. S., ... Qiu, A. (2017). Infant frontal EEG asymmetry in relation with postnatal maternal depression and parenting behavior. *Translational Psychiatry*, 7(3). <https://doi.org/10.1038/tp.2017.28>.

- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005, June 1). Validity of the executive function theory of attention-deficit/ hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Biological Psychiatry*. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>.
- Wilson, K. R., Hansen, D. J., & Li, M. (2011). The traumatic stress response in child maltreatment and resultant neuropsychological effects. *Aggression and Violent Behavior*, 16(2), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2010.12.007>.
- Zvara, B. J., Keim, S. A., Boone, K. M., & Anderson, S. E. (2019). Associations between parenting behavior and executive function among preschool-aged children born very preterm. *Early Childhood Research Quarterly*, 48, 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2019.01.012>.