

## APORTES DE LA NEUROCIENCIA AL ENTENDIMIENTO DEL DESARROLLO EN LOS PRIMEROS AÑOS DE VIDA

La Neurociencia estudia el sistema nervioso a través de un enfoque interdisciplinario y utilizando el método científico (Redolar, 2002). El conocimiento se genera gracias a profesionales de distintas especialidades, quienes convergen en el análisis de un objeto determinado. Estos grupos de investigación usan diversas metodologías, como experimentos y contraste de hipótesis, para profundizar en el funcionamiento de las diferentes estructuras que conforman el sistema nervioso, entre las que destaca el cerebro como una de las más complejas y enigmáticas (Springer y Deutsch, 2001). Entre sus múltiples funciones y mecanismos, el cerebro está involucrado en algunos procesos de gran relevancia para las ciencias educativas y del desarrollo humano: aprendizaje, memoria, cálculo y percepción, tópicos que la Neurociencia viene abordando de manera sistemática desde hace más de medio siglo (Toro, 2000)<sup>1</sup>. A continuación se consignan algunos hallazgos de esta disciplina a nivel internacional y en Costa Rica, que aportan al estudio de los procesos educativos, especialmente en el nivel preescolar.

**Hallazgos internacionales:  
diferencias entre los períodos de  
maduración cerebral ayudan a  
comprender las características del  
desarrollo en los primeros años**

*Inmadurez cerebral, plasticidad  
y procesos de aprendizaje*

Nuevas evidencias científicas revelan notables diferencias entre los períodos de maduración de algunas regiones cerebrales. Hoy se reconoce que el proceso de maduración cerebral no es uniforme, sino que el desarrollo de sus diferentes áreas acontece en distintos momentos de la vida. De este modo, mientras algunos circuitos cerebrales ya han alcanzado la madurez estructural durante la gestación, otros solo la alcanzan hasta que la persona supera los 20 años de edad (Kagan y Baird, 2004).

Las regiones denominadas corteza visual y corteza prefrontal son un ejemplo de lo anterior. La corteza visual, región encargada de las primeras fases del procesamiento visual, atraviesa algunas etapas de maduración muy temprano en el desarrollo. Para la semana 28 de gestación, todas las neuronas se encuentran ya en su lugar, y a partir de entonces comienzan a establecer conexiones entre sí, alcanzando su grado máximo de conectividad entre los meses cuarto y quinto después del nacimiento

(Huttenlocher, 1990). El establecimiento de conexiones entre neuronas (llamadas sinapsis) es muy importante, pues permite que se conformen redes de comunicación entre las células y regiones cerebrales, lo que hace más eficiente el procesamiento de la información. En contraste con la corteza visual, la corteza prefrontal es una de las últimas regiones en alcanzar su pleno desarrollo estructural (Kanemura et al., 2003). La totalidad de sus neuronas se encuentra en posición solo después del nacimiento, alrededor del tercer mes postnatal (Risberg y Grafman, 2006) y el grado máximo de conectividad entre ellas se produce alrededor de los 4 años de edad. Se estima que las regiones prefrontales llegarían su madurez estructural alrededor de los 20 años de edad (Kagan y Baird, 2004).

Esta inmadurez característica de algunas regiones cerebrales al momento del nacimiento es considerada una de las claves fundamentales para comprender el notable desarrollo posterior del ser humano, así como su capacidad de aprendizaje. La tendencia a mantener algunos rasgos de inmadurez, aun en etapas avanzadas del desarrollo, se llama neotenia, y representa un importante beneficio para la especie en términos de neurodesarrollo (Brüne, 2000). A diferencia de algunos animales<sup>2</sup>,

la inmadurez del sistema nervioso de los humanos al nacer los hace más dependientes del cuidado de los adultos, situación que se prolonga por varios años.

Cuanto más avanzado sea el estado de madurez del sistema nervioso al momento del nacimiento, menor será su plasticidad, es decir su capacidad de organizar y reorganizar sus conexiones de acuerdo con las nuevas experiencias (Hernández-Muela et al., 2004). En otras palabras, la inmadurez en algunas regiones cerebrales específicas hace que éstas tengan mayor plasticidad durante más tiempo. Esto es lo que evidencian múltiples estudios recientes (Sowell et al., 2007), en las que se ha comprobado que, a diferencia de la corteza visual, la corteza prefrontal sí mantiene un gran nivel de plasticidad aún entre los 4 y los 7 años de edad (edad preescolar), gracias al enorme número de sinapsis fácilmente transformables, cuya conectividad en esta etapa se encuentra todavía en plena efervescencia (Huttenlocher, 1990; Benes, 2001). Estos nuevos descubrimientos son importantes porque ayudan a comprender mejor los cambios en la conducta de los niños y niñas durante sus primeros años de vida y proporcionan información para procurar su bienestar y optimizar su experiencia en los centros educativos (Bezerra, 2007). La clave radica en vincular los acontecimientos de maduración que ocurren en el cerebro, con los cambios funcionales que estos propician sobre el comportamiento (Rueda et al., 2007). A continuación se abordan algunos de estos cambios funcionales.

#### *Maduración de la corteza prefrontal entre los 4 y los 7 años se vincula con mejoras cognitivas en el funcionamiento de la memoria de trabajo y el control inhibitorio*

Entre las funciones asociadas con la corteza prefrontal destacan la memoria de trabajo y el control inhibitorio, dos procesos cognitivos que han sido ampliamente vinculados con el funcionamiento e integridad de los circuitos neuronales localizados en esta región, y que han llamado la atención debido a que evidencian importantes avances en sincronía con las fases de maduración nerviosa (Trujillo y Pineda, 2008). La memoria de trabajo

es el sistema que permite tener muchas cosas en mente a un mismo tiempo, así como manipularlas para resolver tareas específicas (Padilla-Mora et al., 2009a); el control inhibitorio es la habilidad básica para contener el impulso de hacer, decir o prestar atención a alguna cosa (Padilla-Mora et al., 2010a). Ambos procesos se ven involucrados en muchas tareas cotidianas, e interactúan cuando los niños y niñas deben resolver problemas que demandan la organización de acciones de manera voluntaria. Entre los 4 y los 7 años, en sincronía con el incremento de la conectividad en la región prefrontal, ocurre un aumento significativo en la capacidad de memoria de trabajo, así como una mejora notable del control inhibitorio. Por tanto, a partir de estas edades, pueden mantener en mente más cosas a la vez y controlar mejor algunos impulsos inconvenientes según determinadas situaciones, lo cual les permite mostrar un mejor desempeño en comportamientos cada vez más complejos. Tomando en cuenta que la mayor conectividad en las regiones cerebrales ha sido propuesta como el sustrato de este desarrollo (Emes et al., 2008), se han promovido iniciativas que proponen sincronizar los currículos educativos para que sean acordes con los cambios, progresos y limitaciones de los niños y niñas en sus diferentes etapas evolutivas.

#### *El cuidado materno puede afectar la estructura del material genético y así modificar algunas dimensiones del desarrollo*

En las últimas décadas, muchos debates relacionados con el desarrollo neurocognitivo entre los 0 y los 7 años estuvieron enfocados en la disyuntiva ¿naturaleza o crianza? (Neville y Bavelier, 2002). Esta posición destacaba la posibilidad de discriminar entre aquellas variaciones del desarrollo enteramente atribuibles a la herencia genética de los individuos (su naturaleza) y otras variaciones solo comprensibles por el efecto de las experiencias vitales durante los primeros años (su crianza) (Plomin et al., 2002). No obstante, gracias a la introducción de nuevas metodologías científicas y la acumulación de evidencias recientes, hoy se reconoce que pocas de esas dinámicas pueden explicarse de modo satisfactorio enfatizando en el rol de

la naturaleza o en el de la crianza de manera independiente. En cambio, comprender las interacciones entre ambas dimensiones parece ser la clave para descifrar la verdadera complejidad del desarrollo de los organismos de las diferentes especies (Rutter, 2006).

Gran parte de los nuevos hallazgos ha derivado del estudio de la epigenética, área del conocimiento que intenta relacionar la evidencia de investigaciones del área genética, con otros resultados sobre la incidencia de aspectos ambientales en el desarrollo (Holliday, 2006), para proveer elementos que mejoren la comprensión de la interacción de diferentes dimensiones del proceso de maduración de los organismos. Las evidencias de la epigenética han comprobado la importancia del código genético como código de almacenamiento de información, pero, más importante aun, han destacado que múltiples y diferentes señales del medioambiente deben incidir sobre ese código para que su información realmente se traduzca en efectos sobre el desarrollo (Korochkin, 2006). Sin las señales adecuadas desde el medio circundante, algunas secciones de la información del código genético podrían permanecer inactivas y no participar en el desarrollo del organismo. Un ejemplo para ilustrar las interacciones entre factores genéticos, epigenéticos y las señales ambientales sobre el desarrollo de los seres vivos, es el caso de los efectos del cuidado materno en algunas especies de mamíferos (Weaver, 2009). Distintos niveles de cuidado materno han sido vinculados con diferencias individuales en el desarrollo de conductas ansiosas y con la capacidad para responder ante el estrés (Meaney, 2001). En épocas recientes se ha empezado a demostrar que algunos estilos de crianza pueden representar factores ambientales capaces de inducir señales que, a nivel celular, modifican el funcionamiento de algunos genes (Weaver, 2009). Estos hallazgos no solo han enriquecido el conocimiento sobre el ciclo vital, sino que han aportado alternativas de tratamiento para mejorar la calidad de vida.

Ciertas secciones del ADN<sup>3</sup> pueden tener pequeñas moléculas adheridas a su alrededor. Estas moléculas son llamadas metilos y, en ocasiones, pueden llegar a inactivar el funcionamiento del segmento de

ADN sobre el cual se encuentran adheridos (Tchurikov, 2005). Consecuentemente, una célula con metilos adheridos en sitios clave de su ADN puede funcionar de modo distinto que otra que no está “metilada”, al menos en relación con algunos parámetros específicos (Korochkin, 2006). La unión o desunión de metilos, entre otros elementos que sin ser parte estricta del ADN pueden alterar su estado funcional, son llamados modificadores epigenéticos. Esta información permite comprender una de las formas en que naturaleza y crianza interactúan, propiciando que el cuidado materno module el neurodesarrollo. Según múltiples investigaciones, altas frecuencias de cuidado materno provocan la activación de un mecanismo epigenético que remueve los metilos adheridos en algunas secciones del ADN, y las células en cuyo núcleo acontece este tipo de alteración cambian su funcionamiento (Weaver, 2009). En el caso del cuidado materno en roedores, este efecto es apreciable en las neuronas del hipocampo. El hipocampo es una de las estructuras cerebrales vinculadas con la regulación del enfrentamiento al estrés, y animales que han experimentado altos niveles de cuidado materno muestran menos “metilación” en el ADN de las neuronas de su hipocampo, que aquellos que han tenido bajos niveles de cuidado<sup>4</sup>.

La investigación relacionada con el neurodesarrollo y sus consecuencias sobre el comportamiento, ha sido una excelente ventana para comprender la manera en que los niveles de la bioquímica, genética, cognición y comportamiento interactúan entre sí para moldear el desarrollo de los seres vivos. Recientemente este enfoque multidimensional se trasladó al estudio de otras especies, como los monos y los humanos, enfatizando en el rol de la crianza sobre el neurodesarrollo en los primeros años (Gunnar, 2007). Los estudios han comenzado a identificar diferencias entre niños que han sufrido maltrato infantil y niños sin este tipo de antecedentes, en relación con el número de “metilaciones” en regiones del ADN también encargadas de producir los receptores de las neuronas del hipocampo (McGowan et al., 2009). Conforme a lo esperado, los niños con historias de maltrato evidencian más

“metilaciones” en su ADN (McGowan et al., 2009). Otros trabajos completan el panorama mostrando que, igual que en otras especies, niños con indicadores de menor “metilación” en las neuronas de su hipocampo regulan más rápido sus reacciones ante el estrés (Oberlander et al., 2008). El entusiasmo generado por estos hallazgos ha propiciado un abordaje más integral del desarrollo humano<sup>5</sup>.

#### Hallazgos nacionales: memoria de trabajo y control inhibitorio

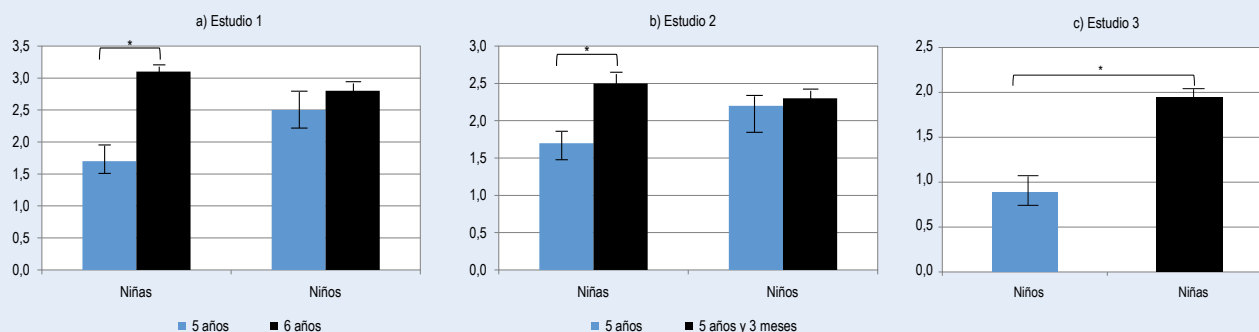
En sus dos ediciones anteriores, este Informe recalcó que el fortalecimiento de la investigación es uno de los desafíos centrales para mejorar la calidad del sistema educativo costarricense. Estas llamadas de atención promovieron la articulación de esfuerzos de diversos actores relacionados con la atención a la niñez, entre ellos el Programa de Investigación en Neurociencias de la UCR y el Departamento de Educación Preescolar del MEP, para estudiar el desarrollo neurocognitivo de niños y niñas durante la edad preescolar, con el fin de producir conocimiento que pueda servir como insumo en la toma de decisiones sobre políticas en la materia. Esta alianza tiene más de tres años de dar seguimiento al desarrollo de procesos cognitivos asociados al funcionamiento de la corteza prefrontal (control inhibitorio y memoria de trabajo) durante la edad preescolar y sus resultados ya comenzaron a ser publicados a nivel nacional e internacional (Padilla-Mora et al., 2009a, 2009b, 2010a y 2010b; Rodríguez et al., 2010). El proyecto incluye la capacitación de maestros y maestras de preescolar en investigación científica, así como la generación de nuevas tecnologías para enriquecer la experiencia y la evaluación en los dos ciclos de la educación preescolar pública. En las instituciones participantes<sup>6</sup>, esta iniciativa ha involucrado a 141 familias y 46 docentes, y se mantiene gracias al trabajo conjunto de investigadores y asistentes, asesores nacionales de preescolar, directores, docentes, niños y niñas, padres y madres de familia. Hasta ahora las investigaciones han mostrado interesantes diferencias en el desempeño de las y los alumnos en ejercicios de teoría de la mente que, al igual que la memoria de trabajo y el

control inhibitorio, es un proceso cognitivo ligado al funcionamiento de la corteza prefrontal (Saxe y Baron-Cohen, 2007). Es la capacidad que desarrollan los niños y niñas para comprender que el comportamiento de las personas se relaciona con los deseos, creencias y objetivos particulares que cada quien posee (Repacholi et al., 2003). Un niño va desarrollando su teoría de la mente conforme va mejorando su capacidad para explicar y predecir las motivaciones particulares que están detrás de los actos de los demás.

Cuando preescolares costarricenses de los ciclos materno-infantil y de transición de las instituciones públicas seleccionadas fueron evaluados con tareas diseñadas para medir su desempeño en teoría de la mente, se constató una notable mejora en sus habilidades de un año al siguiente y se observaron diferencias en los ritmos de desarrollo entre ambos sexos. Las niñas y niños de 5 años obtuvieron promedios menores que las niñas y niños de 6 años y, en el caso específico de las niñas de 5 y 6 años, se evidenció una diferencia estadísticamente significativa en favor de las últimas (gráfico 2.20a), la cual no se registró entre los niños. Estudios posteriores han verificado estas disparidades en el desarrollo entre ambos sexos, evaluando a una misma muestra a través del tiempo (gráfico 2.20b) y utilizando diferentes tareas de medición (gráfico 2.20c). Estos hallazgos reiteran progresos y diferencias de maduración en el desarrollo de algunos procesos cognitivos durante los primeros años de vida, al tiempo que invitan a considerar las particularidades en los ritmos de ese desarrollo entre los sexos.

Las investigaciones nacionales reiteran además que las muestras de niños y niñas también exhiben progresos significativos durante la edad preescolar, en otros procesos cognitivos como la memoria de trabajo (Padilla-Mora et al., 2009b) y el lenguaje verbal (Padilla-Mora et al., 2009a). Por otra parte, y en contra de lo esperado, cuando estas mismas investigaciones han evaluado el desempeño de alumnos de los ciclos materno-infantil y de transición en tareas de control inhibitorio, no se ha observado el mismo tipo de progresos (Padilla-Mora y Cerdas, 2010). Utilizando

## Gráficos 2.20

Promedio de puntaje en pruebas de teoría de la mente<sup>a/</sup>

a/ Los estudios 1 y 2 evaluaron la habilidad para resolver tareas de teoría de la mente. El estudio 3 evaluó la habilidad para resolver tareas de teoría de la mente con alta dificultad. El nivel de significancia es de 0,05.

Fuente: Padilla-Mora et al., 2009a.

diferentes pruebas y en diversos estudios, los resultados no permiten reconocer que las muestras de preescolares costarricenses manifiesten mejoría en su desempeño en tareas de control inhibitorio, como sí ha sido característico en muestras de niños y niñas preescolares de países como Alemania y China (Schneider et al., 2005; Sabbagh et al., 2006).

Esta evidencia ha sido analizada en foros de discusión y ha dado lugar a consideraciones importantes. Al revisar los hallazgos a la luz del currículo actual, ha llamado la atención que, del conjunto de procesos cognitivos abordados por las investigaciones nacionales, el control inhibitorio es justamente uno de los menos involucrados en las actividades diarias del currículo, la investigación y las políticas educativas. Por tanto, la pertinencia de fortalecer el currículo en este y otros aspectos en los que pueda encontrarse debilitado, ha comenzado a ser valorada por equipos interdisciplinarios y ha mostrado un camino para la cooperación entre las y los investigadores y los responsables de las políticas educativas.

### Desafíos del currículo de la educación preescolar en Costa Rica

En su informe parcial de labores, de mediados del 2010, el Programa de Investigación en Neurociencias de la UCR y el Departamento de Educación Preescolar del MEP señalaron algunos retos puntuales para el mejoramiento del currículo en la educación preescolar costarricense, entre los cuales destacan: i) la introducción de actividades dirigidas a estimular el desarrollo de funciones ejecutivas de control inhibitorio y memoria de trabajo, ii) la introducción de actividades dirigidas al desarrollo de habilidades sociocognitivas, iii) el aprovechamiento de las tecnologías de información para apoyar los contenidos curriculares, iv) la realización de actividades de actualización para docentes relacionados con el neurodesarrollo y el aprendizaje, así como la organización de foros bianuales para la presentación de resultados de investigación y el debate sobre la orientación de las políticas en el ámbito de la educación preescolar. También se ha propuesto la capacitación de docentes en algunas tecnologías informáticas basadas en *software* libres y útiles para el enriquecimiento de su labor pedagógica y el

mantenimiento de una plataforma intersectorial para el desarrollo curricular, por medio de procesos sistemáticos de investigación.

La principal contribución que la Neurociencia puede brindar a la educación se vincula con la producción de insumos para el diseño de currículos más acordes con el estado de madurez de los y las estudiantes. Este aporte debe ser visualizado en el contexto de las contribuciones que puedan generar a su vez muchas otras disciplinas. Ni la Neurociencia, ni cualquier otra disciplina, deberían asumir en solitario la orientación de un sistema tan importante como lo es la educación pública. Los mismos conocimientos que abren un nuevo panorama sobre el desarrollo humano señalan la necesidad de revalorar las prácticas actuales a la luz de la evidencia recién obtenida. Esto, inevitablemente, requiere la colaboración entre comunidades dedicadas a la investigación, a su sistematización y al estudio de su aplicabilidad. Tal como lo ha demostrado la experiencia internacional, se trata de una responsabilidad compartida entre la comunidad científica y los gestores de la política educativa.

**Elaborado por** Michael Padilla-Mora, Ana Isabel Cerdas, Rosemary Alfaro, Alejandra Rodríguez, Johanna Sibaja y Jaime Fornaguera.

### Notas

- 1 Varias disciplinas están cada vez más interesadas en incorporar a su propio marco de referencia algunos de los nuevos conocimientos y hallazgos de la investigación neurocientífica. No obstante, estos resultados no siempre provienen de líneas de investigación suficientemente consolidadas, lo que puede hacer difícil distinguir entre aquellos referentes fiables para orientar el entendimiento sobre procesos relativos al desarrollo humano, y otros resultados preliminares que aún requieren mayor verificación.
- 2 Algunos animales nacen con cerebros y sistemas nerviosos más maduros que el ser humano. Esto les permite levantarse rápidamente, caminar e incluso escapar de depredadores desde el primer día de vida, lo cual no ocurre con los humanos.
- 3 El ADN (molécula con forma de doble hélice que contiene el código genético) se encuentra en el interior de los cromosomas.
- 4 Esta diferencia en la "metilación" lleva a que las neuronas se diferencien en cuanto a su estructura. Las neuronas con menos "metilaciones" tienen mayor cantidad de las moléculas llamadas receptores, que las neuronas con más cantidad de "metilaciones". Esta diferencia estructural en las neuronas de esta región hace que el hipocampo de animales con alto y bajo cuidado materno funcione de manera distinta (Meaney, 2001). Así, debido a la actividad de su hipocampo, las ratas con alto cuidado materno regulan más rápido su reacción ante el estrés que las ratas de bajo cuidado materno (Meaney, 2001).
- 5 Algunas nuevas iniciativas buscan establecer tratamientos para mejorar las condiciones de vida de las personas (Gunnar, 2007), como algunos programas que utilizan el conocimiento sobre la asociación entre maltrato y respuesta al estrés, para mejorar la intervención psicológica que reciben niños y niñas con estos antecedentes (Fisher et al., 2000). Otros tratamientos capaces de revertir el efecto de la "metilación" sobre el ADN se han comenzado a probar en animales de laboratorio, con resultados muy satisfactorios (Weaver et al., 2005).
- 6 Actualmente, la implementación de estos proyectos se desarrolla en las siguientes instituciones: Jardín de Niños y Niñas Inglaterra (Montes de Oca), Jardín de Niños y Niñas José Ana Marín (Coronado), Jardín de Niños y Niñas Maternal Montessoriano (centro de San José) y Jardín de Niños y Niñas Miguel Obregón (Tibás).