

Capítulo 3

LOS MISTERIOSOS FENÓMENOS DE LA SINAPTOGÉNESIS

Los genes que contienen información de desarrollo cerebral están organizados según un programa temporal preestablecido y perfeccionado a lo largo de la evolución, de tal modo que los procesos internos de conectividad interneuronal se van sucediendo a lo largo de los primeros veinte años de la vida en formatos muy precisos y por lo tanto, predecibles. Estos procesos se organizan en secuencias que pueden seguir un patrón fásico o un patrón relativamente continuo, las que han comenzado a ser dilucidadas con un alto margen de certeza gracias a los estudios de neuroimagen, los cuales emplean técnicas cada vez más sofisticadas y precisas. Los patrones de expresión génica, de índole heterocrónica (activos en distintos momentos) son por lo tanto los responsables de la progresiva regionalización y "modularización" del cerebro humano, determinando la existencia de "períodos críticos", generadores de nuevas potencialidades y seguidos por "períodos sensibles", momentos de amplia receptividad funcional a la acción de la experiencia. Según autores rusos, en este carácter heterocrónico de la maduración cerebral residiría tanto su fuerza interna, como una gran vulnerabilidad también interna. Volveremos a este punto en el capítulo sobre Trastornos del Desarrollo.

La conectividad interneuronal cortical y subcortical es un modelo ampliamente estudiado de maduración en fases; constituye un impactante testimonio del fascinante diseño que subyace al plan de desarrollo del cerebro. Esta modalidad neuromadurativa presenta las siguientes características:

- En un determinado momento se pone en marcha en determinadas regiones cerebrales una conectividad interneuronal veloz, programada y activada por información genética especie-específica.
- El momento depende de la zona cerebral a activar: cronologías topográficas.
- La conectividad interneuronal es precedida por un período de activa eliminación de sinapsis en dicha área, lo cual puede ser interpretado como una "limpieza" del sistema operativo que deja espacio para implantar conexiones más eficientes en un sistema que se rige por la economía.
- Una vez ocurrida la secuencia "poda" sináptica/ reconectividad, el área que ha sido su escenario está lista para la emergencia de nuevas funciones, las que a su vez se expresarán en nuevas habilidades en la medida que tales funciones sean adecuadamente ejercitadas y modeladas por acción de la experiencia.

Sobre la base de esta secuencia de eventos genéticamente programados, es posible proponer la siguiente plataforma neuromadurativa:

• ETAPA DE ELIMINACIÓN DE SINAPSIS:

La hemos denominado "etapa de la poda" sináptica. Ella implica una etapa transitoria de gran vulnerabilidad cerebral, especialmente en el área funcional que está experimentando la poda. Es un momento de intenso trabajo interno, de pérdidas necesarias, de reacomodos, y toda esta intensidad neurobiológica necesariamente habrá de desestabilizar cognitiva y emocionalmente al niño.

• ETAPA DE RECONECTIVIDAD NEURONAL:

Las nuevas conexiones, regidas por el principio de la eficiencia (reducción del número y aumento de la especialización funcional), permitirán la gradual emergencia de nuevas funciones, más sofisticadas y precisas. Estas funciones emergen en forma de talentos en bruto, en espera de la acción de la experiencia que las habrá de transformar en habilidades y destrezas... o las acabará por sofocar y anular. La conectividad interneuronal acelerada es también una fase de gran vulnerabilidad neurobiológica.

• ETAPA DE MUERTE NEURONAL PROGRAMADA:

La pérdida de neuronas se denomina apoptosis y es un fenómeno genéticamente programado. Ocurre apoptosis a lo largo de todo el ciclo vital, no solamente durante la involución. De hecho, durante los primeros cinco a ocho años de la vida, la actividad apoptótica es muy intensa, ya que se eliminan no sólo sinapsis tempranas, sino también neuronas, mal denominadas "redundantes". Estas neuronas cumplen un papel crucial temprano, determinando una propiedad plástica excepcional en este período. La creciente contaminación del ambiente con toxinas diversas provoca un incremento prematuro de la apoptosis neuronal, especialmente por acción de radicales libres de oxígeno (O en vez de O₂).

• ETAPA DE MODELADO AMBIENTAL:

Una vez finalizadas las fases de eliminación sináptica y de reconectividad, se inicia una etapa de amplia apertura a la acción de la experiencia, al modo de una ventana que se abre generosamente para que ingrese el aire y el sol que dan vida. Proponemos entonces el término "ventana de oportunidades" para designar a este momento mágico que la biología ofrece a las acciones formativas provenientes tanto de la educación formal como de las oportunidades que la experiencia ofrece al niño. Esta etapa es extraordinariamente receptiva a la llegada de determinados estímulos, cuyo formato debe ser diseñado tomando en consideración la naturaleza de las funciones que emergen una vez llevada a cabo la remodelación en determinadas zonas. Por ejemplo, la activa maduración sensoriomotriz que se inicia a los tres meses de vida (cuando el niño ya es capaz de sostener su cabeza sobre el tronco) permite, medio año después, la emergencia de la postura bípeda y algunas semanas más tarde, la marcha autónoma; a partir de ese

momento, se abre la "ventana de oportunidades", para que ingresen los paseos, el columpio, trepar cerros, andar en triciclo y luego en bicicleta, nadar, bailar....

A partir de la comprensión de esta secuencia de eventos neurobiológicos que subyacen a la maduración cerebral física, podemos concluir que el cerebro infantil constituye un delicado órgano cuya indemnidad es preciso cautelar y sus asombrosas facultades es necesario estimular de modo adecuado. Por su trascendencia, volveremos insistentemente sobre este aspecto en los próximos capítulos.

La denominada "sustancia blanca", constituida por las fibras de proyección que conectan sistemas neuronales distantes entre sí, fibras largas y gruesas que deben transmitir información de modo veloz, requiere para cumplir este "principio de la eficiencia" de la mielina, una cubierta membranosa constituida por lípidos y proteínas que garantiza una transmisión altamente eficiente del impulso eléctrico. La mielinización parece ser un proceso relativamente continuo a lo largo de la maduración cerebral (sin fases de "desmielinización transitoria"), si bien los primeros cinco años de la vida es muy activa, dando origen en forma rápida a numerosos tractos (paquetes de axones) que conectan el cerebro interregionalmente y con la médula espinal. La formación de la mielina depende de información contenida en numerosos genes, hoy bien identificados; de la acción de la experiencia y de una adecuada nutrición, siendo la leche materna el alimento ideal para poner en marcha una mielinización temprana óptima.

El conjunto de procesos de eliminación sináptica, apoptosis y reconexión de neuronas que se va sucediendo regionalmente en el cerebro a lo largo de los primeros veinte años de la vida, característico de la neuromaduración en fases, posibilita la aparición de funciones cerebrales esenciales o básicas, al modo de una "obra gruesa" de diseño arquitectónico. Mientras que la etapa de modelado ambiental permite la existencia de "períodos sensibles", momentos de máxima apertura a la experiencia y a la estimulación, los que serán responsables de las "terminaciones finas" que darán un acabado perfecto al diseño arquitectónico cerebral. Resulta fácil ver que este ensamblado de improntas genéticas y ambientales sigue las leyes del constructivismo: los genes proporcionan lo básico, en el sentido de basamento, fundamento sobre el cual se ha de fundar el edificio; la altura final y la calidad de la construcción va a depender, por una parte, de la solidez de los basamentos y por otra, de la generosidad con la cual el ambiente enriquecerá dicha edificación.

ACOPLANDO LOS PASOS DE NATURA Y NURTURA: LA DANZA PERFECTA

La maduración cerebral procede en fases que siguen una sincronía precisa, determinada por la información genética, las que preparan el terreno para el ingreso del amplio influjo de la experiencia. Podemos dividir entonces cada fase en:

- **Período crítico:** los genes ponen en marcha una activa eliminación sináptica (poda dendrítica) en regiones cerebrales específicas, la que es seguida de una activa conectividad regida por los principios de la economía y de la eficiencia, vale decir, menos sinapsis pero más especializadas y de mayor sofisticación funcional. Durante el neurodesarrollo se van sucediendo diversas etapas críticas en distintas áreas cerebrales, las que determinan un permanente remodelado cerebral modular; esta sucesión heterocrónica (en distintos momentos y distintas topografías) culmina a los veinte años de edad en promedio. Para entender este fascinante proceso, imaginemos que poseemos una propiedad y hemos decidido remodelarla; la primera tarea es echar abajo muros, levantar pisos, etc., para luego dar inicio a la reconstrucción: van apareciendo nuevas habitaciones, más funcionales a nuestras necesidades. Al cabo de unos meses, nuestra casa está lista para ser habitada y habitada. Es el momento en que nos disponemos a pintar sus muros, adquirir muebles, cortinajes, alfombras, lámparas.... Es decir, nos abocaremos a las terminaciones finas. Para darle más realismo a nuestra metáfora, diremos que ampliaciones ocurrirán cada cierto número de años hasta tener nuestra casa definitiva.
- **Período sensible:** una vez producido el remodelado regional, con la consiguiente construcción de nuevas estructuras y nuevas funciones sobre la plataforma preexistente, se abre una extensa fase de perfeccionamiento de dichas funciones mediante el ejercicio y la participación sabia de la experiencia. Es importante insistir en estos dos aspectos, claves para una correcta educación para la vida: la ventana de oportunidades, representada por un extenso período sensible al influjo de la experiencia, exige ejercitación ("principio de la réplica" según la educadora y médica italiana María Montessori) y participación sabia de la experiencia, vale decir, una entrega científicamente programada de estímulos que incrementen y enriquezcan el bagaje cognitivo, afectivo y social del niño. Retornando a nuestra analogía con la propiedad remodelada, una vez finalizados los trabajos de reconstrucción, cuando ya las nuevas y flamantes habitaciones están listas, nos abocaremos con entusiasmo a su decoración y habilitación funcional; si disponemos de un presupuesto adecuado, adquiriremos los muebles, cortinajes, cuadros, alfombras, en las mejores tiendas de la plaza y nos mostraremos muy exigentes con la calidad de nuestras adquisiciones, protestando si ellas presentan alguna falla, devolviéndolas a la tienda y exigiendo su inmediata reposición, por cuanto los productos adquiridos tienen un plazo de garantía que caduca al cabo de un tiempo.

Esta analogía es muy clara en poner el dedo en la llaga: todo educador de niños -en el amplio concepto de educación que hemos elegido como marco de referencia de este libro - tiene sobre sus hombros una trascendente responsabilidad: recibir con reverente respeto ese nuevo cerebro que la naturaleza -y tras ella, la mano divina- nos entrega cada vez que se cierra un período crítico. En seguida nos abocamos de modo entusiasta, una vez iniciada la fase sensible o "ventana de oportunidades", a entregar experiencias de óptima calidad, sin escatimar esfuerzos ni sacrificios. Debemos estar permanentemente alertas a detectar cualquier falla o error en los formatos de estimulación que estamos ofreciendo a ese niño, conscientes de que el "plazo de garantía" es breve, dentro de algún tiempo caducará y entonces será ya tarde para enmendar el error. Las ventanas de oportunidades que se abren ampliamente al influjo de la experiencia son finitas y se extienden por plazos que van desde algunos meses (fase sensible vincular) a un lustro o algo más, como lo es la ventana sensible que se extiende entre los siete años y la pubertad. Volveremos a estos conceptos en el capítulo sobre desarrollo cognitivo.

Por décadas, esta danza asombrosa entre "natura": lo genético, y "nurtura", el ambiente y su impronta, fue un conocimiento intuitivo, sustentado en evidencias empíricas; el ejemplo más contundente lo tenemos en el formidable corpus teórico que construyó Jean Piaget a través de la metódica observación del desarrollo psicológico de sus pequeñas hijas. Pero en los últimos años, el aporte de las técnicas de neuroimagen aplicadas a la investigación neurobiológica ontogenética han permitido identificar fases neuromadurativas muy precisas. Por razones estrictamente didácticas, vamos a dividir artificialmente la ontogénesis de los procesos neuromadurativos en dos ámbitos: el cognitivo y el afectivo, confiando en que el lector sabrá ulteriormente reconstruir dicho desarrollo de un modo integrado.

Lecturas de referencia :

Céspedes, A. (2007). **Cerebro, Inteligencia y Emoción**
Fundación Mirame. Santiago de Chile