

COORDINACIÓN EDUCATIVA Y CULTURAL CENTROAMERICANA

Colección Pedagógica Formación Inicial de Docentes
Centroamericanos de Educación Primaria o Básica

Aprendizaje, Coevolución Neuroambiental



Viviana Carazo Vargas
Luis Fernando López Molina

VOLUMEN 43

COORDINACIÓN EDUCATIVA Y CULTURAL CENTROAMERICANA

Colección Pedagógica Formación Inicial de Docentes
Centroamericanos de Educación Primaria o Básica

Aprendizaje, Coevolución Neuroambiental



Viviana Carazo Vargas
Luis Fernando López Molina

VOLUMEN 43

371.39

C262a

Carazo Vargas, Viviana

Aprendizaje, coevolución neuroambiental / Viviana Carazo Vargas,
Luis Fernando López Molina. – 1ª. ed. – San José, C.R. : Coordinación Educativa
y Cultural Centroamericana, CECC/SICA, 2009.

166 p. : il. ; 28 x 21 cm. – (Colección Pedagógica Formación Inicial de
Docentes Centroamericanos de Educación Básica ; N° 43)

ISBN 978-9968-818-97-1

1. Educación – Aprendizaje. 2. Educación ambiental.
I. López Molina, Luis Fernando. II. Título.

CRÉDITOS

La elaboración y publicación de esta colección fueron realizadas con la contribución económica del Gobierno Real de los Países Bajos, en el marco del **Proyecto Consolidación de las Acciones del Mejoramiento de la Formación Inicial de Docentes de la Educación Primaria o Básica, CECC/SICA**

María Eugenia Paniagua Padilla
Secretaria General de la CECC/SICA

Juan Manuel Esquivel Alfaro
Director del Proyecto

Viviana Carazo Vargas
Luis Fernando López Molina
Autores del libro

Luis Fernando López Molina
Autor de imágenes internas

Soledad Chavarría Navas
Revisión del Contenido

Cecilia Carvajal Gatgens
Sonia Vargas Mata
Revisión Filológica y de Estilo

Melvyn Aguilar Delgado
Diagramación y Digitalización
de imágenes

Arnobio Maya Betancourt
Coordinador y Asesor de la Edición
Final

Impresión Litográfica
Editorama, S.A.

Para la realización de esta publicación, se ha respetado el contenido original, la estructura lingüística y el estilo utilizado por los autores, de acuerdo con el contrato firmado para su producción por éstos y la Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana, CECC/SICA.

DE CONFORMIDAD CON LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS ES PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, TRANSMISIÓN, GRABACIÓN, FILMACIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL CONTENIDO DE ESTA PUBLICACIÓN, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CUALQUIER SISTEMA DE REPRODUCCIÓN, INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO. LA VIOLACIÓN A ESTA LEY POR PARTE DE CUALQUIER PERSONA FÍSICA O JURÍDICA, SERÁ SANCIONADA PENALMENTE.



Introducción

Nosotros, usted y yo, tenemos cada uno un cerebro, nuestros estudiantes también. Es precisamente ese sistema complejo, el cerebro, el que nos permite aprender y enseñar a otros, o al menos intentarlo.

Sin embargo, y a pesar de la obviedad de las afirmaciones anteriores, el conocimiento acerca de las bases neurobiológicas del proceso de aprendizaje ha estado ausente durante largo tiempo en la formación universitaria de los actuales y futuros docentes.

Es de dicho vacío, que surge la razón de ser de este libro: con él, buscamos facilitar un texto con solidez científica, actualizado y didáctico que le permita al estudiante y/o profesional en educación acceder de manera fluida y sencilla al conocimiento acerca de las bases neurobiológicas del aprendizaje. A la vez, procuramos promover la incorporación del conocimiento neurocientífico a los procesos de formación docente.

Los avances en el área de las neurociencias son extensos y se dan a un ritmo vertiginoso. Cada vez se conoce más acerca de los elementos moleculares, genéticos, estructurales y funcionales que le permiten al ser humano asimilar y/o desarrollar hábitos, destrezas, conceptos y contenidos académicos, entre otros muchos aspectos.

Sin embargo, somos conscientes de que las publicaciones y los textos acerca de la neurobiología del aprendizaje suelen plantear, entre otros, dos retos importantes: suponen que el lector domina tanto la jerga neurocientífica como una serie de conceptos de biología, química y física que no suelen ser parte de la formación universitaria de los docentes o futuros profesionales en educación. También, los libros suelen plantear en apartados distintos, temas relacionados con el sistema nervioso, con el aprendizaje y con las implicaciones prácticas y cotidianas que este conocimiento tiene.

Nuestra experiencia docente evidencia que esto dificulta el que aquellas personas que trabajan o trabajarán cotidianamente con seres humanos, comprendan cómo funcionan y aprenden sus cerebros y los de sus estudiantes, además de que los alcances de dicho conocimiento no son fáciles de abstraer si se visualizan ambos aspectos como temas separados.

Por ello, de la misma forma que creemos que los fundamentos neurobiológicos del aprendizaje no son, ni deben ser un tema o asignatura aislada, sino que constituyen el centro y punto de partida de todo aquel profesional que labora o interactuará con niños, jóvenes o adultos dentro de un proceso de enseñanza y aprendizaje, en este libro procuramos que la integralidad y coherencia sean también características básicas en el formato y estructura de la obra.

A lo largo del texto, iremos estableciendo una relación directa entre las bases neuroestructurales, neurobioquímicas y neurofuncionales del sistema nervioso central, lo que es el proceso de aprendizaje en sí y lo que esto significa para el proceso de enseñanza.

No es nuestra intención discutir sobre las teorías epistemológicas acerca del aprendizaje, sobre qué es lo que se aprende, ni si es significativo o no; tampoco es nuestro objetivo el plantear una forma o método de enseñanza, ni mucho menos una nueva teoría al respecto. Nuestro interés es explorar en conjunto con el lector ¿qué es lo que sucede en el cerebro, que se manifiesta como eso que llamamos aprendizaje?, y desde ese punto de vista, destacar la importancia de fundamentar la intervención de los profesionales en educación, sobre una base sólida de conocimiento acerca del funcionamiento del cerebro.

Al tratarse de un texto que cumple con la rigurosidad y solidez científica que asegura la veracidad de su contenido, el lector encontrará que la información sobre las bases genéticas, embriológicas, unidades estructurales y funcionales del sistema nervioso central, subsistemas, sistemas y macrosistemas del mismo, se apega estrictamente al cuerpo de conocimiento producto de la investigación científica que ha sido publicada en numerosos textos y artículos.

Las ilustraciones son de nuestra autoría y reflejan el conocimiento actual acerca de las estructuras y procesos que conforman y ocurren en el sistema nervioso, concordando por lo tanto, de manera general, con las que es posible encontrar en otros textos sobre neurociencias.

Esperamos que el lector identifique, desde las primeras páginas, la relevancia que tiene el conocimiento de las ciencias básicas tanto con respecto a su propio desarrollo y aprendizaje, como con el de los y las estudiantes con quienes interactúa o se relacionará en el futuro.

Dentro de la estructura de los capítulos, incluimos "encuadros conceptuales" que clarifican el vocabulario "técnico" utilizado en el texto, esto, dado que existen conceptos que van a conformar una especie de lenguaje universal al hablar de las bases neurobiológicas del aprendizaje y que consideramos fundamental que el lector los comprenda.

Concluimos cada capítulo con un apartado de “deliberaciones”, en él enfatizamos acerca de las repercusiones que tiene en la escritura de vida de un ser humano, el conocimiento que se expone.

Es inevitable señalar que todo el proceso de aprendizaje, involucra estructuras y procesos compartidos de manera general por todas las personas, desde sus bases neuroestructurales y fisiológicas más básicas es un proceso individual e individualizante. Este hecho, dadas sus repercusiones en los procesos de enseñanza, lo retomamos en cada sección de deliberaciones.

Por último, al final de cada capítulo planteamos una serie de "preguntas de repaso y análisis", cuya intención es facilitar el proceso de asimilación del contenido del texto e invitarle a usted a analizar e inferir acerca de lo leído.



CAPÍTULO 1

Desarrollo temprano del ser humano

Cuando empezamos a explorar las bases neurobiológicas del proceso de aprendizaje, es indispensable que nos remontemos al desarrollo mismo del sistema nervioso. Como veremos en las páginas siguientes, surgimos de una sola célula que contiene todo el legado genético propio de la especie humana y, sin duda, aunque a veces nos cueste aceptarlo, gran parte de nuestro genoma lo compartimos con los otros miembros del reino animal.

El ambiente nunca permite ser excluido de su participación en el proceso de desarrollo, aún en etapas primordiales como lo serían el período preconcepcional y el de la misma concepción. Sin embargo en las fases iniciales del desarrollo, el componente genético es dominante y continuará jugando un papel relevante tanto en la construcción de cada **biografía** humana como en el prototipo de aprendizaje que nos caracteriza y al que como especie estamos, biológicamente, predispuestos.

Desde la concepción, y de forma progresivamente más directa, conforme el organismo va evolucionando en su historia de vida, se mantiene ese proceso dinámico de relación con el entorno, al principio éste será con el organismo materno y a través de él, con el ambiente que rodea a la madre, pero una vez que el nacimiento tiene lugar, el ser humano va adquiriendo un rol cada vez más activo en esta interacción.

A este proceso de relación constante e inevitable entre el organismo y su entorno, que no es meramente una relación de influencia o de interacción, sino más bien de orden co-constructivo, le denominamos **coevolución**.

Coevolución: mecanismo y proceso de la evolución mediante el cual el ambiente y el organismo se influyen y modelan mutua y dinámicamente.

Biografía: historia de vida donde se plasman y reflejan los procesos intrínsecos y extrínsecos de lo que el cerebro de cada ser humano aprende. Cualquier momento o espacio en la vida de una persona evidencia una biografía única e irrepetible.

Así, la coevolución es un rasgo de carácter determinante en los procesos generales de desarrollo de todos los seres humanos, y aunque particular, indisoluble de las leyes naturales que rigen la evolución de las especies.

Mediante la coevolución, gracias a las características que la naturaleza ha ido delineando internamente en nosotros, y a las vivencias que vamos experimentando, poseemos el potencial de modificarnos y de modificar al entorno. Este es un proceso básico para el aprendizaje.

En este punto, podemos afirmar no sólo que la coevolución es fundamental para el aprendizaje, sino que, en sí misma, es aprendizaje.

En este primer capítulo, el lector accederá a información acerca del desarrollo inicial del ser humano, abordaremos procesos que, salvo excepciones, son compartidos por todas las personas y que deben de tenerse claros, indistintamente de hacia cuál sujeto o población se dirige nuestra inquietud en relación con el aprendizaje.

1.1. La célula, unidad fundamental de la materia viva

Cada uno de nosotros estamos conformados por células. Éstas constituyen la unidad fundamental de la materia viva y de hecho, iniciamos nuestra vida como una de ellas.

Todas las células animales, como parte de su estructura básica cuentan con dos compartimentos, el núcleo en el interior, y una materia gelatinosa que lo rodea, el citoplasma. Ambos están contenidos en una membrana.

La membrana celular tiene un papel de gran importancia pues es la que separa el interior de la célula del entorno que la rodea. Además, es la que permite la interacción de la célula con el medio, facilitando, regulando e incluso limitando su intercambio con el ambiente. La membrana es la interfase interactiva entre la célula y su entorno.

Es en estos niveles microscópicos donde podemos empezar a distinguir que la coevolución con el ambiente es un rasgo característico de nuestro organismo.

Al interior de la célula, en el soma o cuerpo celular, es posible distinguir estructuras importantes: entre la membrana y el núcleo se ubica el citoplasma, compuesto por varias organelas dentro de las que destacan el Aparato de Golgi, las mitocondrias y los ribosomas.

El núcleo celular posee el **ADN**, que es el almacén genético de los seres vivos.

En una persona, todas las células poseen una estructura idéntica de ADN, independientemente de las características y funciones de cada una de estas células.

En el núcleo de todas nuestras células, se encuentran los cromosomas, que contienen los genes, y en ellos, se encuentra el material hereditario o **ADN (ácido desoxirribonucleico)** que es transmitido por los progenitores en el momento de la concepción y provee, tanto las instrucciones que determinan nuestra identidad como especie humana, como la línea base de los procesos de desarrollo y maduración.

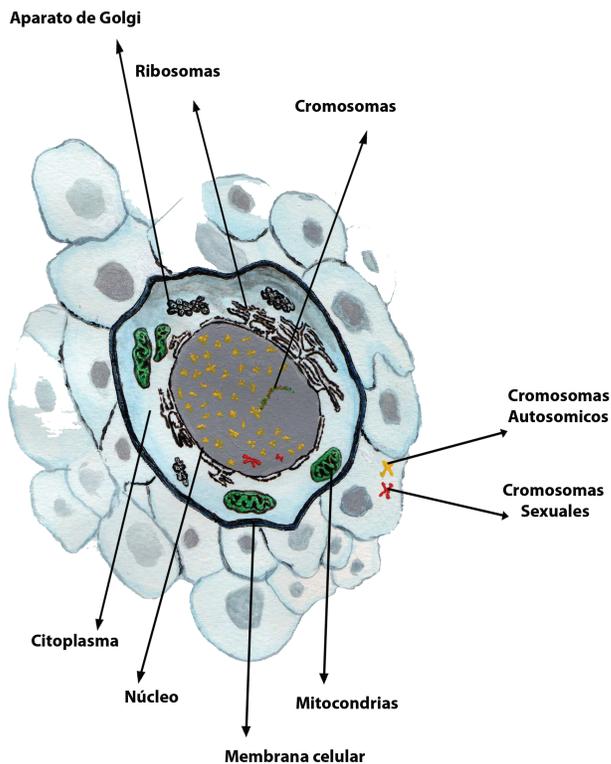


Fig. 1.1. Estructura de la célula.

Puesto que el ADN nunca abandona el núcleo, es preciso que exista un intermediario que conduzca el código genético a los ribosomas (de manera que las “instrucciones” del ADN puedan ser interpretadas por estructuras contenidas en el citoplasma); de esto se encarga el ácido ribonucleico mensajero (ARNm), es una larga molécula que, en el núcleo copia el código contenido en el ADN, posteriormente abandona el núcleo y se une al ribosoma, en donde otro tipo de ácido ribonucleico, conocido como de transferencia (ARNt) dirigirá la síntesis protéica dentro del ribosoma, acorde con la secuencia específica de nucleótidos. La molécula producida en el ribosoma se almacenará en el Aparato de Golgi y luego será liberada por la célula a través de la membrana.

Es mediante este mecanismo, que la serie de instrucciones contenidas en el ADN del núcleo, se transmite y empieza a concretarse en materiales que permitirán la estructura y función del organismo.

Dada la importancia del ADN como el contenedor de la herencia de nuestros progenitores y director de todos los mecanismos de ingeniería genética, necesarios para la ocurrencia de los procesos del desarrollo, en los siguientes párrafos profundizaremos un poco más en él.

1.2. Bases genéticas, una ruleta modelada por la historia

Como mencionamos, dentro del núcleo de las células se encuentran los **cromosomas**, que a su vez están compuestos por **genes**.

Nuestros genes están conformados por el ácido desoxirribonucleico (ADN), que es una larga estructura en forma de doble hélice compuesta por fosfatos, ácido desoxirribonucleico y un código de cuatro nucleótidos con las letras (A-T-G-C). Cada una de estas letras representa lo que se denomina una base nitrogenada: adenina y timina (purinas), guanina y citosina (pirimidinas); las cuatro bases pueden combinarse entre sí pero de forma específica (adenina con timina y guanina con citosina). Así, una especie de alfabeto de cuatro letras pero de orden bioquímico, estructurado a manera de una sintaxis genética, da origen a todos y cada uno de nuestros genes.

El ADN tiene un diámetro de dos nanómetros, que equivale a una millonésima de milímetro, y a todo lo largo de él, se guardan las instrucciones para la fabricación de las proteínas que cumplen numerosas funciones y dan a cada célula sus características singulares.

Los seres humanos poseemos aproximadamente 2,9 billones de pares de bases nitrogenadas que en conjunto suponen alrededor de 25 mil genes. Todas las combinaciones entre las bases nitrogenadas adenina-timina y guanina-citosina contenidas en esos genes constituyen lo que se denomina el **genoma**.

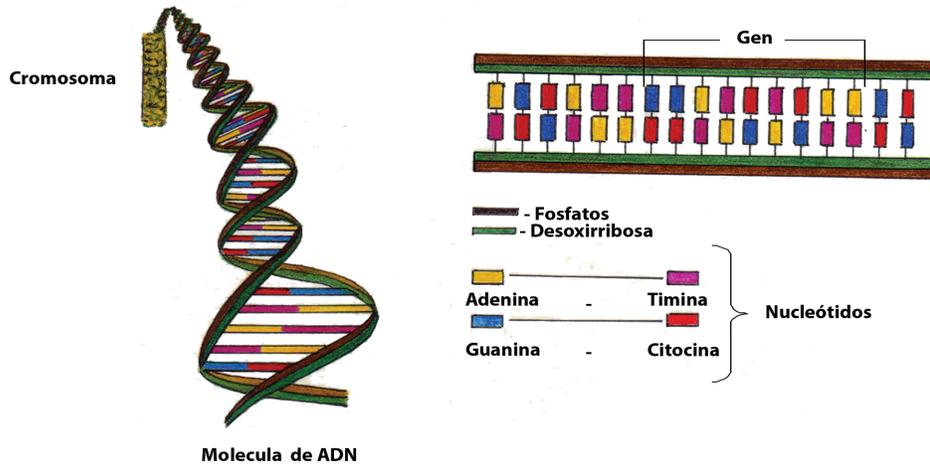


Fig.1.2 El ADN y los genes.

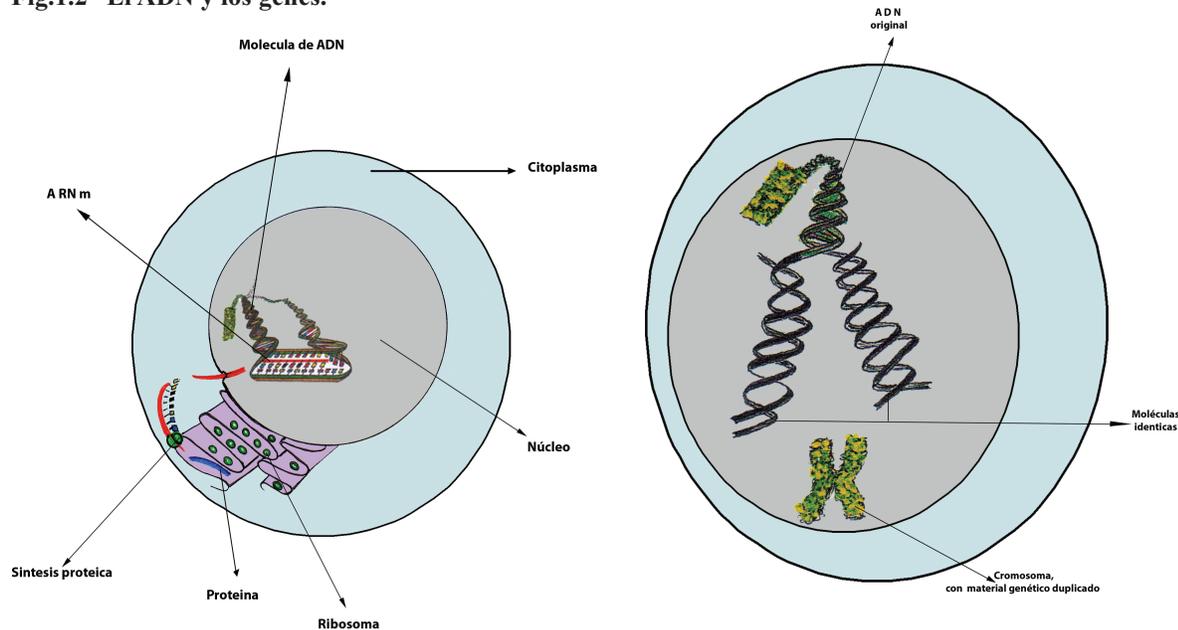


Fig.1.3. A. En la síntesis proteica, el ARN mensajero, llamado así por que contiene ribosa en lugar de desoxirribosa copia la información de un gen presente en la molécula de ADN nuclear, lleva la información a través de la membrana nuclear al citoplasma, se une a un ribosoma y en el Retículo Endoplasmático se sintetiza la proteína correspondiente a ese gen. B La duplicación del ADN se lleva a cabo durante la mitosis. A partir del modelo de la molécula madre se producen dos moléculas idénticas que permiten la duplicación del material cromosómico.

Gen: estructura conformada por ADN.

Genoma: combinaciones de las bases nitrogenadas A-T-G-C contenidas en los genes.

Cromosoma: estructura que contiene los genes.

Se ha demostrado que es simplemente imposible que los genes, por sí solos, sean capaces y suficientes para programar todas las características físicas y conductuales de los seres humanos, pero también sabemos que los organismos vivos poseemos un código genético que resulta indispensable para proporcionar las “instrucciones” que dirigirán el proceso básico de neurodesarrollo.

El ser humano inicia su desarrollo a partir de una sola célula madre, la cual, producto de la división celular dará origen a tejidos, órganos y sistemas, y a un organismo adulto con trillones de células que forman parte de estructuras y funciones diversas. ¿Cómo sucede esto?

Los investigadores han puesto en evidencia que todo el proceso utiliza dos tipos de información, la que está contenida en el genoma, y la que genera el ambiente. Nuevamente, la co-evolución surge como un proceso determinante de nuestro desarrollo. En este sentido, se considera que la expresión del genoma está continua y significativamente influenciada por el contexto intracelular, intercelular, por el propio organismo y su ambiente externo.

Es por eso que nuestro “tema de estudio” no empieza en el momento de la fecundación, sino que nos hace dirigir la mirada en retrospectiva más allá de ese suceso, enfocándonos en las células, en el ADN, en el proceso mediante el cual estas van guardando el material genético, en el potencial que tiene este de modificarse y en la forma en que el ambiente influye en ello.

Esta base de conocimiento es de gran importancia para que podamos ir relacionando y comprendiendo los fundamentos neurobiológicos del aprendizaje. Veamos con detalle a qué nos referimos.

1.3. Epigénesis y epigenética, procesos evolutivos básicos en el desarrollo humano

Durante largo tiempo se creyó que la célula germinal o cigoto, producto de la fecundación, contenía a un adulto en miniatura, preformado, que se iba desplegando durante el desarrollo. Es decir, cada persona tenía un plan previamente establecido, que se ponía en práctica progresivamente al darse la fecundación e iniciar la vida.

Esta perspectiva se denominó preformacionismo, y fue hasta aproximadamente el SXVII que tomó fuerza una corriente de pensamiento distinto: la **epigénesis**.

Conforme aumentó el conocimiento acerca del desarrollo de los seres humanos, la epigénesis fue dejando claro que el desarrollo no es un evento lineal que está predeterminado totalmente, sino que es un proceso dinámico en el cual, tanto el individuo como el ambiente actúan juntos para producir desarrollo. En la palabra griega “epigénesis”, “Epi”, quiere decir “sobre o más allá”, y “Génesis” hace referencia al origen y creación del ser humano.

La evidencia acerca de la epigénesis nos indica que la historia de vida de cualquier persona empieza a escribirse mucho antes de que la concepción, propiamente dicha, tenga lugar.

Antes de que se acerque el momento en que con la concepción, *oficialmente* se empieza a gestar un nuevo ser, el ambiente en que los futuros padres, y los padres de éstos y sus familias se han venido desarrollando, es decir, gran cantidad de fenómenos sociales de orden histórico, cultural, económico, ecológico, nacional y transnacional, han estado jugando un papel activo y fundamental, interactuando con la biología de cada uno de estos seres, estableciendo diferencias y modelando, en mayor o menor grado el genoma de cada progenitor e incidiendo en el legado de herencia genética que transmitirán a su prole.

Diariamente experimentamos y convivimos con las consecuencias de esta afectación mutua entre los seres humanos y el ambiente, influencia que ha ido marcando en cada uno de nosotros diferencias individuales fundamentales; las variabilidades en el color de la piel o en la altura son apenas muestra de rasgos en los que intervienen tanto los genes heredados como aspectos del entorno; en este caso, la raza, la exposición al sol, o la historia alimentaria. Las catástrofes nucleares o los desastres ambientales son también ejemplos muy claros que dan cuenta de cómo el medio puede afectar las características de grupos humanos a través de generaciones.

De manera explícita o sutil, este mecanismo de la evolución mediante el cual el ambiente y el organismo se influyen y modelan mutuamente, va repercutiendo en la individualidad de cada uno de nosotros, tanto durante nuestro proceso de vida, como aún antes de que esta inicie.

En 1940, el biólogo Conrad H. Waddington formuló la hipótesis de que también entre los factores ambientales y los elementos genéticos, se daban influencias mutuas que estaban implicadas en hacer de cada organismo lo que es. Él acuñó el término **epigenética**, que consideró, podía unir a la “epigénesis” y a los “factores genéticos”, para hacer referencia a la interacción entre el ambiente y la expresión genética.

La epigenética estudia los eventos que van “más allá” de los genes, y ha demostrado que los genes no sólo regulan, sino que también son regulados de alguna forma por factores no genéticos. Aún en circunstancias en que un sólo gen desencadene una condición compleja de desarrollo que no recluta directamente la influencia ambiental para manifestarse, invariablemente el entorno siempre influirá de forma coevolutiva sobre esta persona, modelando en mayor o menor grado su perfil de desarrollo cognitivo y conductual.

El estado actual del conocimiento, enriquecido por los avances tecnológicos y por diversas disciplinas científicas, nos permite asegurar que la concepción y específicamente la fecundación, aunque generan un nuevo ser, no son el punto de partida en la construcción de su biografía. Desde mucho antes, la coevolución ha actuado sobre los progenitores y su entorno, creando un ambiente pre y periconcepcional que en ninguna medida será ajeno al desarrollo del futuro niño.

Todo proceso de desarrollo implica una coevolución entre el organismo y el entorno, el debate sobre si un rasgo es genética o ambientalmente determinado no tiene mayor relevancia, por el contrario, nos llevaría a discusiones sin mucho sentido. Sabemos que muchas características intrínsecas o heredables son modificables y muchas características adquiridas de la interacción con el medio son extremadamente resistentes al cambio; las reglas al respecto parecen ser muy variables.

Para poder comprender los fundamentos del aprendizaje del ser humano y adentrarnos en los procesos que permiten percibir el ambiente, consolidar las experiencias en memorias y aprender, y sin duda, para acercarnos a la responsabilidad que conlleva el formar parte del entorno que promoverá experiencias de aprendizaje en los otros, reiteramos en la importancia de tener clara esta coevolución organismo-entorno.

Epigénesis: estudia los factores que van “más allá de la génesis”. Individuo y ambiente actúan juntos en el proceso de desarrollo

Epigenética: estudia los factores que van “más allá de los genes”. Se da una interacción entre el ambiente, los procesos de desarrollo y la acción genética

1.4. Gametogénesis

Partiendo de lo que se expuso en las páginas anteriores, para que la información genética de los progenitores pueda ser transmitida a un nuevo ser, es necesario que cada uno de sus organismos produzca gametos sexuales: óvulos y espermatozoides.

En el núcleo de cada una de nuestras células poseemos 46 cromosomas, de ellos 44 se denominan autosómicos y los otros dos corresponden a los cromosomas sexuales (*XX* en el caso de las mujeres y *XY* en los hombres).

La gametogénesis, es un proceso de división celular reductiva conocida como **meiosis**, que da lugar a la generación de óvulos en la mujer y de espermatozoides en el hombre, cada uno conteniendo la mitad de los cromosomas de la célula original.

De esta forma, en el caso de la mujer, cada óvulo posee 23 cromosomas, 22 autosómicos y un cromosoma *X*, y en el hombre, cada espermatozoide posee también 22 cromosomas autosómicos y un cromosoma sexual, ya sea *X* o *Y*.

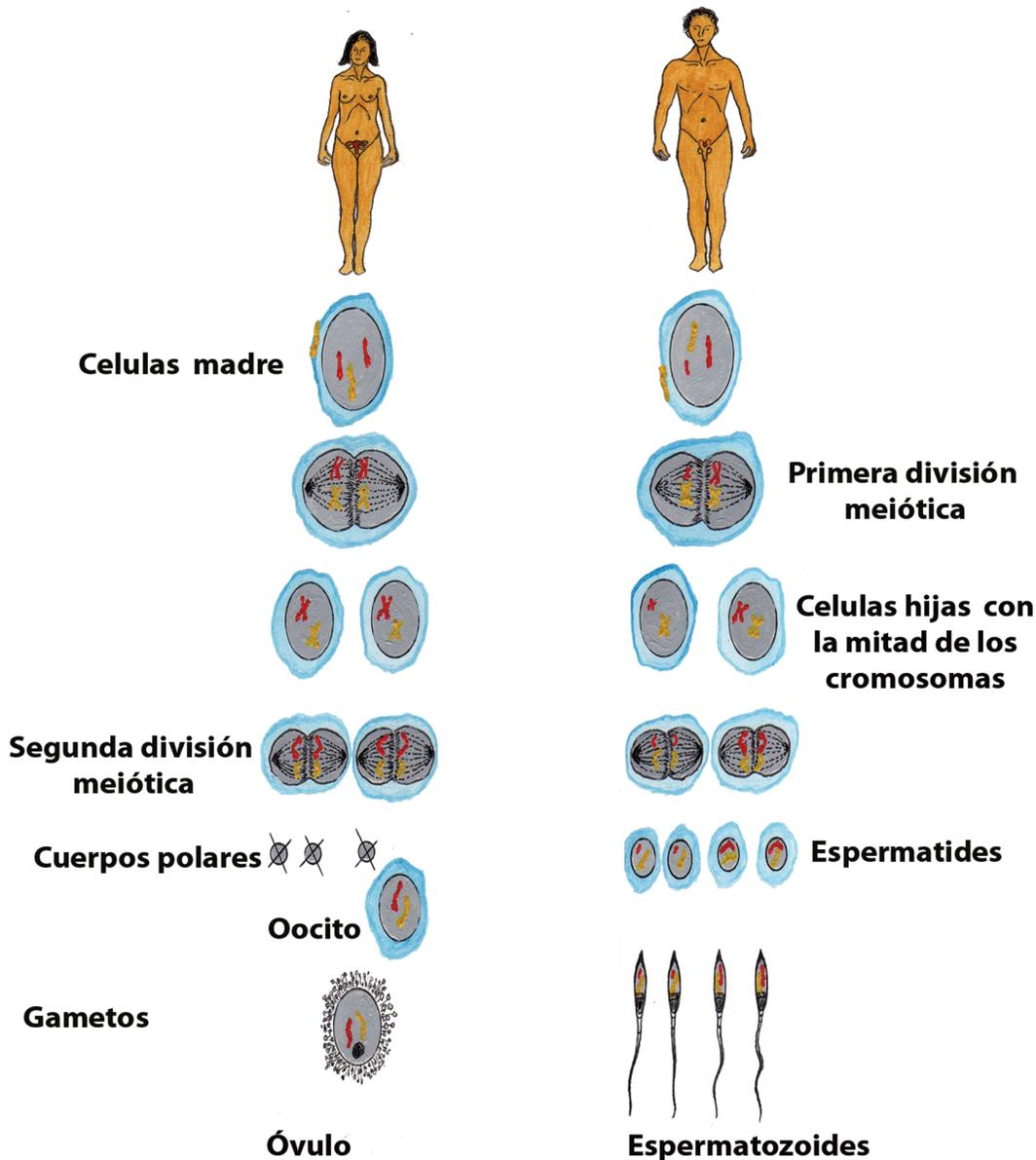


Fig.1.4. El proceso de gametogénesis da lugar a la generación de óvulos en la mujer, y de espermatozoides en el hombre.

Recordemos que el contenido de cada una de estas células, tiene ya un largo historial de coevolución con el ambiente, que le ha permitido poseer información única, además de toda la serie de instrucciones para impulsar el desarrollo de un nuevo ser. De esta manera, compartirá rasgos que lo identificarán como miembro del conglomerado humano, pero poseerá otros, los cuales lo harán ser particular y distinto de los demás.

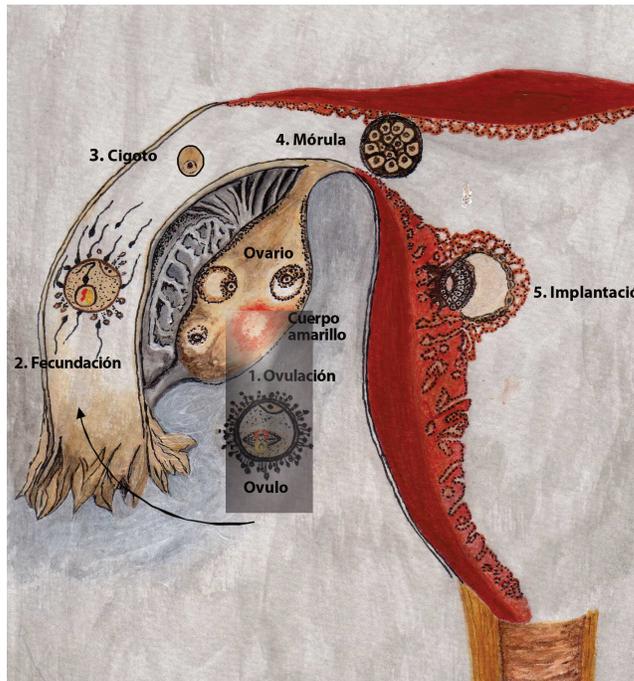


Fig.1.5. Representación esquemática de la ovulación (1), fecundación (2), formación del cigoto (3), la mórula (4) y la implantación (5).

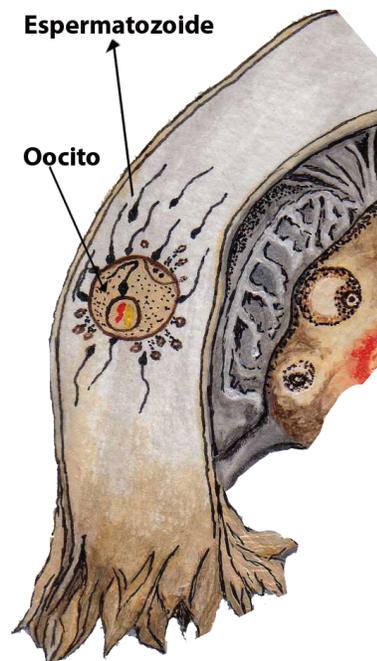


Fig.1.6. La fecundación: unión del óvulo y el espermatozoide.

1.5. Ovulación, fecundación e implantación.

En la siguiente figura se representan las etapas de la ovulación, la fecundación y la implantación:

En el momento de la fecundación, se reúnen dos conjuntos determinados de genes provenientes de dos organismos particulares y únicos, de dos personas con historias de vida distintas.

En este instante, la unión del óvulo u oocito y el espermatozoide genera un nuevo ser, se reestablece el número diploide de cromosomas (46) y se determina el sexo del nuevo organismo.

Posteriormente, aún dentro de la trompa de Falopio, se forma el **cigoto** que contiene los 23 pares de cromosomas que caracterizan a la especie humana.

Si el cromosoma sexual aportado por el padre es un cromosoma *X*, el nuevo organismo será mujer, y si es un cromosoma *Y*, será hombre.

Cigoto: célula producto de la fecundación del óvulo y de la unión de los almacenes genéticos de los progenitores

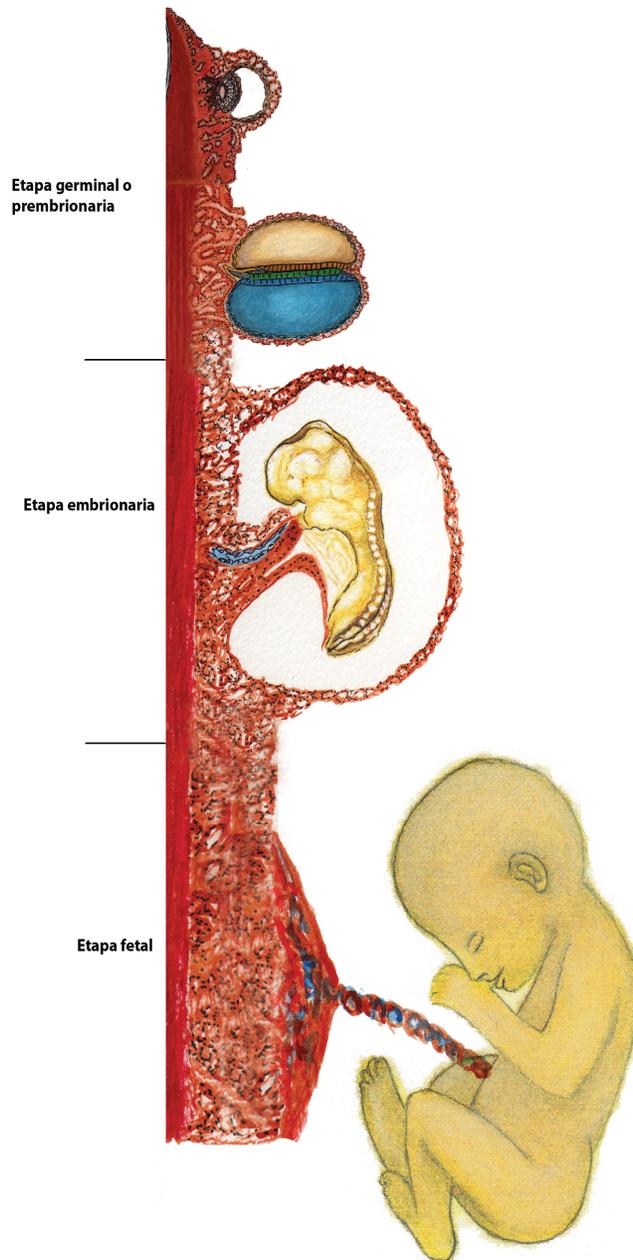


Fig.1.7. El desarrollo prenatal tiene lugar en tres etapas: la germinal o preembrionaria, la embrionaria y la fetal.

El desarrollo prenatal o gestación tiene lugar en tres etapas, la germinal o preembrionaria que se extiende desde la concepción hasta aproximadamente los 14 días, la embrionaria que abarca desde el final de la segunda semana hasta el final de la octava semana (alrededor de los 53 días) y la fetal, que comprende desde la novena semana hasta el nacimiento.

1.6. Etapa germinal o preembrionaria.

Dentro de las 36 horas siguientes a la fecundación, el cigoto, que ya posee una estructura genética propia y particular, inicia un viaje que se extenderá por siete o nueve días a través de las trompas de Falopio.

En esta travesía, se da una rápida división celular mediante el proceso llamado **mitosis**, en donde la célula madre da origen a células hijas con un material cromosómico idéntico al de la célula progenitora.

Mitosis: proceso de división celular no reductiva que da origen a la mórula

En 12 horas el cigoto se habrá dividido en dos, y después de tres días se llega a convertir en un pequeño conglomerado de células homogéneas. Esta **mórula** - la cual recibe este nombre por su similitud morfológica con una mora-, tiene un diámetro de aproximadamente 200 micrómetros.

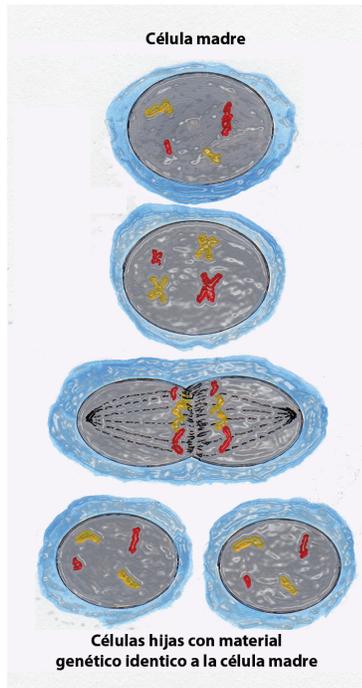


Fig.1.8. El proceso de división celular no reductiva denominado mitosis, da lugar a la mórula –compuesta por múltiples células hijas con material genético idéntico al de la célula madre-.

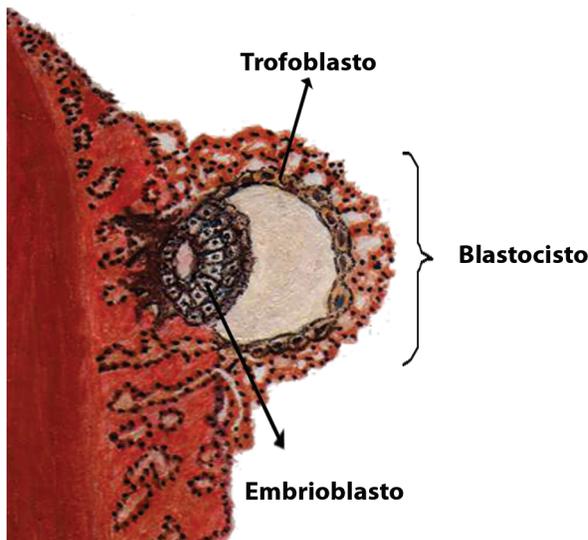


Fig.1.9. Una vez que se ha implantado en el útero materno, el blastocisto se divide en dos grupos celulares denominados trofoblasto y embrioblasto.

Mórula: se le llama así al cigoto en una de sus etapas más tempranas, pues se asemeja a una mora.

Conforme transcurren las horas, la mórula va avanzando hacia el cuerpo uterino, y con una división celular adicional, desarrolla una estructura externa de células en forma de concha, con otro grupo de células más al interior, que se denomina **blastocisto**.

Blastocisto: nombre que recibe el cigoto cuando, situado en la cavidad uterina muestra dos capas celulares diferenciadas.

Al mismo tiempo, el organismo materno también va atravesando por cambios importantes, la secreción continua de progesterona (que es una hormona producida por el cuerpo amarillo, señalado en la figura #) en la madre provoca que las células del endometrio crezcan y se llenen de glucógeno (derivado de la glucosa) en mayor cantidad respecto a la fase pregestacional del ciclo menstrual. Así, el endometrio crece, es ligeramente vascular y cuando está listo para albergar al cigoto segrega, primero en las trompas de Falopio, y luego en el útero, moléculas que contienen sustancias denominadas factores de crecimiento, que instan también a la división celular y al desarrollo del nuevo ser.

Una vez en el útero, el blastocisto es influenciado por el líquido que se encuentra en esta cavidad materna, los factores de crecimiento penetran en la esfera de células

las y la separa en dos grupos: el trofoblasto -que dará origen a la placenta, el cordón umbilical y el saco amniótico- y el **embrioblasto** -una masa celular interna que se convierte en el embrión propiamente dicho.

Embrioblasto: nombre que se le da al embrión tras la implantación del blastocisto en el útero materno.

Al final de la primera semana, la blástula se implanta en la pared del útero materno y allí se extienden las células placentarias.

La placenta empieza a funcionar aproximadamente después de la segunda semana luego de la fecundación y no es hasta la décima semana que resulta capaz de mantener la nutrición del embrión. Durante el período previo las células endometriales, ahora llamadas células deciduales, constituyen en conjunto la **decidua**, que será el único medio de nutrición para el embrión durante estas primeras semanas.

Decidua: estructura encargada de la nutrición del embrión en las primeras semanas tras la concepción.

1.7. Etapa embrionaria

Durante la etapa embrionaria, el blastocisto -ya adherido al endometrio- atraviesa por varias fases importantes que continúan delineando las bases estructurales y funcionales del ser humano. Estas etapas se denominan gastrulación, neurulación y morfogénesis. Veamos a continuación los principales eventos que suceden en cada una.

1.7.1 . Gastrulación

Aproximadamente dos semanas y media después de la concepción, el proceso de **gastrulación** es el encargado de generar tres capas celulares principales en el embrioblasto: el ectodermo, la más externa; el mesodermo o capa media y el endodermo al interior. De estas tres capas se originarán todos los tejidos del organismo en desarrollo.

Del endodermo se formarán el sistema digestivo, las amígdalas, los intestinos, el hígado, el páncreas, las glándulas salivares, los pulmones y parte de los epitelios que recubren algunos órganos.

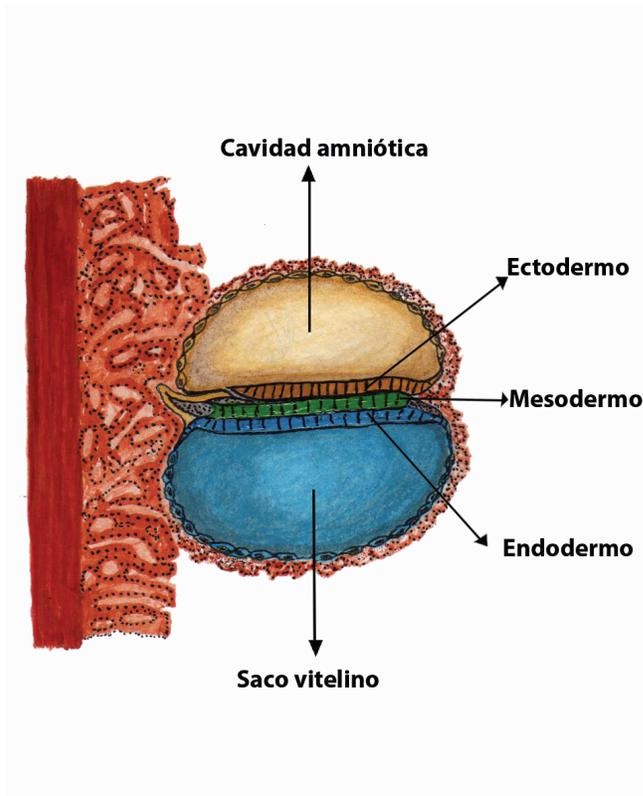


Fig.1.10. El proceso de gastrulación genera tres capas principales: el ectodermo, el mesodermo y el endodermo. Del ectodermo, se formará el sistema nervioso, el epitelio sensorial de los órganos de los sentidos, y la epidermis, estructuras que continuarán teniendo una función básica de interacción entre el entorno interior y exterior del organismo.

El mesodermo dará origen a la dermis, los músculos, el esqueleto, el tejido conectivo, el sistema excretor urinario, el sistema circulatorio, los riñones, las gónadas, las glándulas suprarrenales y el vaso.

De la capa más externa, el **ectodermo**, que hasta el momento ha venido funcionando a manera de membrana facilitando la interacción entre el blastocisto y su entorno, se formarán el sistema nervioso, el epitelio sensorial de los órganos de los sentidos, y la epidermis (piel, pelo, uñas).

Concordando con la característica fundamental que tiene la parte más externa de la célula, la membrana, tanto la epidermis como el sistema nervioso seguirán teniendo una función básica de interacción entre el entorno interior y el exterior del organismo a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Como veremos, esta posibilidad intrínseca de coevolucionar con el ambiente será fundamental para el proceso de aprendizaje.

En este momento, las células del embrión no están solamente multiplicándose, sino también desempeñando funciones específicas de acuerdo con las instrucciones codificadas genéticamente.

Gastrulación: proceso que conlleva a la generación de las tres capas celulares principales del embrión.

Ectodermo: capa más externa del embrión a partir de la cual se forma la piel y el sistema nervioso, ambos fundamentales para interactuar con el entorno.

1.7.2. Neurulación

De manera temprana en la embriogénesis, el ectodermo neural o neuroepitelio empieza a separarse de la superficie ectodérmica. Esto se da aproximadamente a las tres semanas de gestación, mediante un proceso denominado **neurulación**.

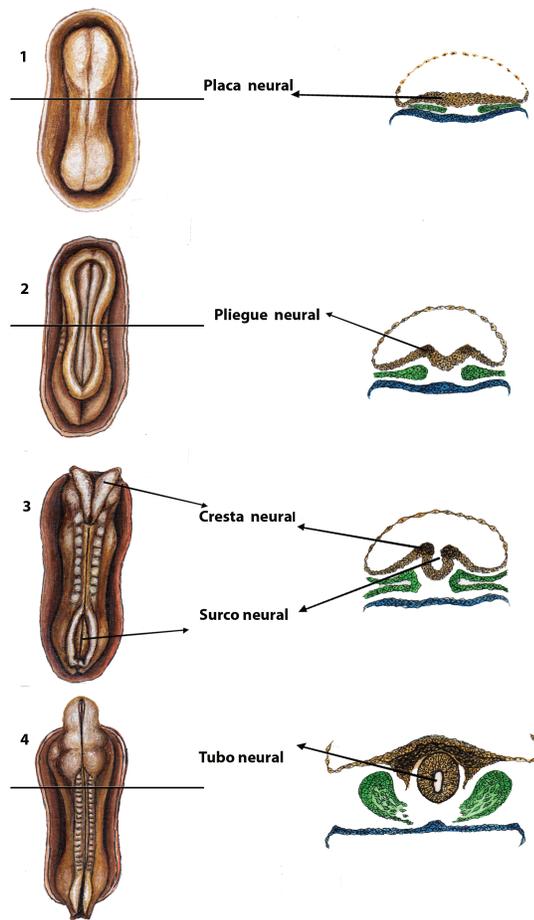


Fig.1.11 El proceso de neurulación da lugar a la formación del tubo neural.

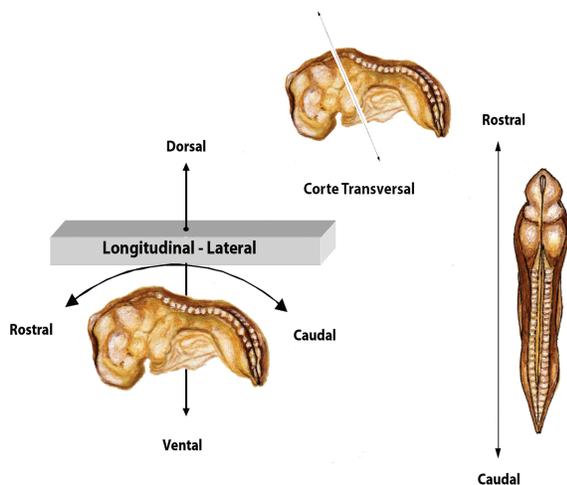


Fig.1.12 En esta figura se muestran los diferentes cortes y direcciones en el embrión.

En la neurulación, señales inductoras originadas en el mesodermo actúan sobre la capa ectodérmica, la cual inicialmente se engrosa dando lugar a la formación de la placa neural, posteriormente, los bordes de esta placa continúan engrosándose y elevándose lateralmente para constituir los pliegues neurales. Desde el punto de vista embriológico, la aparición de estas estructuras marca el inicio oficial del desarrollo del Sistema Nervioso.

El siguiente acontecimiento de interés es la formación de una cavidad entre ambos pliegues, conocida como el surco neural, que se extiende desde el extremo rostral hasta el caudal del embrión. Los pliegues neurales continúan elevándose y orientándose en dirección medial. Luego se fusionan en la zona dorsal, lo que resulta en la formación del tubo neural. Este proceso, que se conoce como cierre del tubo neural, forma una estructura más o menos tubular, cuyos segmentos anterior y posterior conformarán los ventrículos cerebrales y el canal central de la médula espinal, respectivamente.

Al tiempo que esto sucede, y a medida que los pliegues se van uniendo, una parte del ectodermo se comprime y se extiende en dirección lateral y dorsal al tubo neural; este tejido, llamado cresta neural, es el que luego dará origen a las estructuras del sistema nervioso periférico.

Neurulación: proceso mediante el cual se forma el tubo neural

El tubo neural, queda revestido internamente por un **epitelio** derivado del ectodermo embrionario, conocido como **neuroepitelio** (un epitelio que ha adquirido vocación neural), del que se originará todo el sistema neural y periférico e incluso los receptores de todos los órganos sensoriales.

En el proceso de formación del tubo neural, el extremo anterior se va ensanchando para convertirse en las diferentes estructuras del encéfalo, y la porción posterior restante dará lugar a las estructuras de la médula espinal.

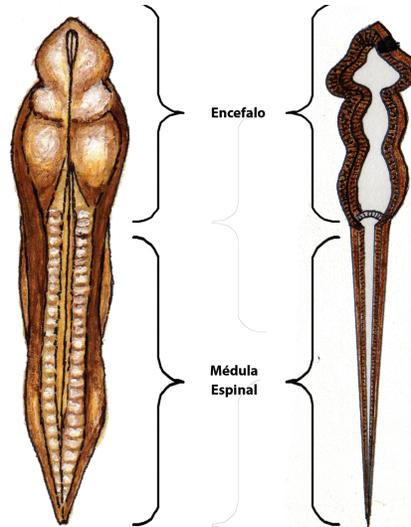


Fig. 1.13. Formación del encéfalo y la médula espinal.

El desarrollo de la médula espinal implica que a lo largo del eje dorsoventral del tubo neural, se generen diferentes tipos celulares, que luego en la médula espinal madura, permitirán procesar los estímulos que ingresan, también llamados estímulos aferentes, (aquellas neuronas localizadas en las raíces dorsales de la médula espinal) y transmitir los impulsos motores o eferentes, al sistema nervioso periférico y a estructuras ejecutoras (las situadas en las raíces ventrales de la médula espinal).

Epitelio: tejido celular que reviste al organismo..

Neuroepitelio: tejido formado por células, que reviste lo que será el sistema nervioso.

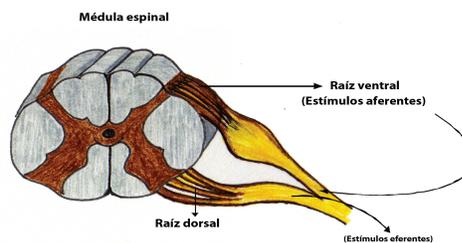
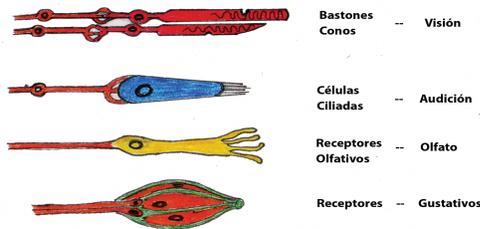


Fig.1.14. Raíces dorsales y ventrales de la médula espinal.

En estas etapas precoces del desarrollo neural, la división celular se da rápidamente, sin embargo la extensión de esta proliferación de células no es uniforme a lo largo del tubo neural, las regiones se expanden a ritmos diferentes y comienzan a formar las diversas zonas especializadas del sistema nervioso central.

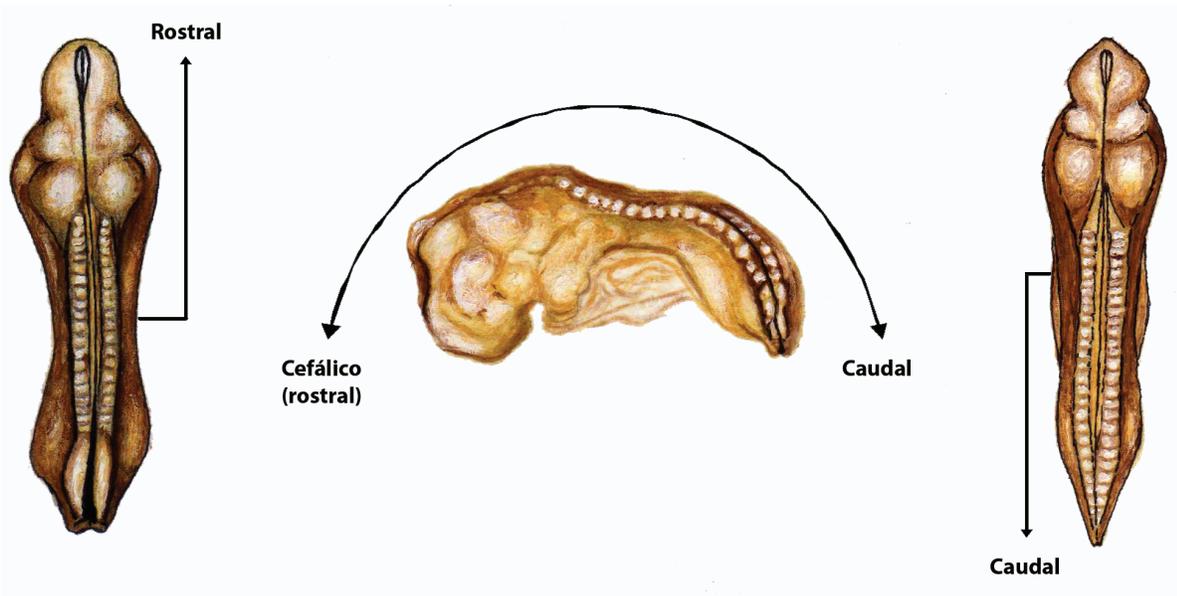


Fig.1.15. El cierre del tubo neural se produce inicialmente en la zona superior, en dirección rostral (cefálica), finalizando aproximadamente a los 21 días de gestación. La zona inferior se cierra en dirección caudal a los 24 – 25 días de la gestación.

Mediante este proceso de diferenciación estructural, al final de la octava semana el embrión poseerá los primordios de la mayoría de órganos corporales, en este momento, el encéfalo constituye la mitad del tamaño total del organismo en desarrollo.

Estos cambios estructurales en el embrión, se acompañan de la morfogénesis neuronal, constituida por mecanismos delicadamente controlados que permitirán llegar a la forma típica de las células nerviosas.

1.7.3. Neurogénesis

El proceso de **neurogénesis** incluye los mecanismos básicos de proliferación, migración, diferenciación celular, formación de apéndices neurales, establecimiento de conexiones iniciales y apoptosis (muerte celular programada).

Tanto los productos de estos mecanismos celulares, además de la glía y la vasculatura cerebral, serán los pilares esenciales del organismo, para que luego éste cuente con las características necesarias que le permitirán aprender.

Neurogénesis: procesos mediante los cuales las células nerviosas desarrollan sus características especializadas.

1.7.4. Fases de la neurogénesis.

A continuación se abordan las principales fases de la neurogénesis, las mismas se plantean en orden cronológico, aunque es fundamental aclarar que este orden no implica que una fase deba concluirse para que se inicie la siguiente. De hecho, existe un traslape temporal entre los procesos.

Proliferación celular

Aproximadamente a los 40 días de gestación, las células que conforman el tubo neural empiezan a dividirse mitóticamente, de esta forma se inicia la generación de **neuroblastos** o células neurales primitivas, de las cuales se originan las neuronas y las células gliales que forman el sistema nervioso.

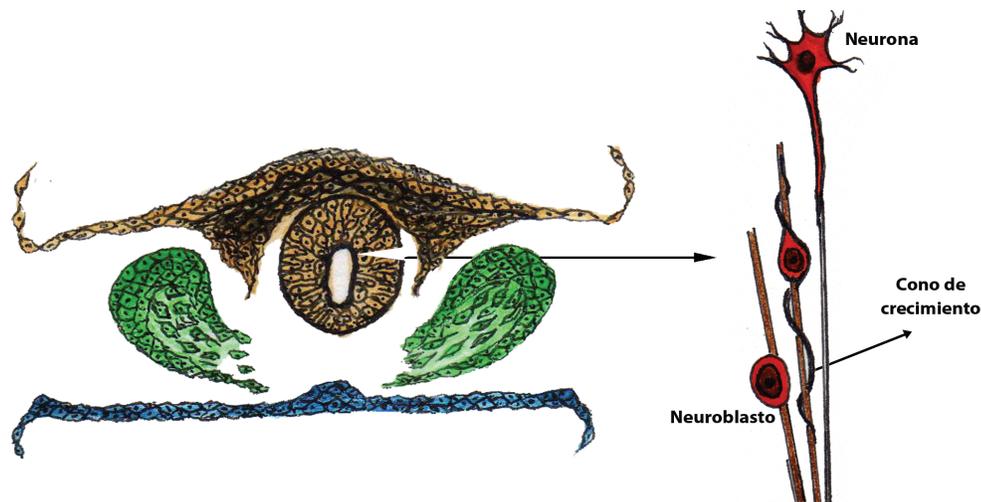


Fig.1.16. La neurogénesis es el proceso mediante el cual las células nerviosas desarrollan sus características especializadas, pasando de neuroblastos o células primitivas, hasta constituirse en neuronas o células gliales.

Migración celular

Una vez que ha tenido lugar la proliferación celular, los neuroblastos -producto de la división mitótica- empiezan a migrar desde donde se encuentran en el tubo neural hasta los lugares en que residirán finalmente. Aunque el desplazamiento continuo de estos grupos celulares podría parecer azaroso, cada célula tiene ya un propósito de destino para su respectiva migración.

Cada neuroblasto posee un cono de crecimiento, el cual es una estructura sensitiva, motora e integrativa que se desarrolla en uno de los extremos, funciona a manera de aparato de navegación y exploración, se va extendiendo y guiando a la célula y a su axón respectivo hacia su zona de destino.

Neuroblasto: célula neural primitiva

Interpretando su propia información genética y leyendo al entorno que le rodea, cada célula empieza a moverse, avanzar, girar, retraerse y modificarse hasta llegar a su sitio de destino.

Muchos de los axones tienen que vencer grandes distancias y sobrepasar numerosos objetivos a lo largo de su viaje, antes de lograr alcanzar y establecer conexiones con sus parejas funcionalmente apropiadas, dado que la migración es un proceso embrionario fundamental para que luego las células puedan establecer conexiones precisas, el sistema nervioso se las ha arreglado de distintas maneras para llevarlo a cabo.

Una de ellas es dividir el largo viaje en varias etapas manejables, de manera que los axones no se adentren de golpe en territorios completamente desconocidos, sino que se vayan orientando poco a poco mediante las señales de los haces axónicos, epitelios y objetivos intermedios; otra de las estrategias es utilizar como andamiaje a los axones que crecen al principio del desarrollo embrionario, a la glía o células de sostén, a otras compañeras migrantes o a las superficies epiteliales.

Durante este mismo proceso de migración de neuronas recientemente formadas, se da origen a la corteza cerebral. Esta región, la más externa del cerebro, luego le permitirá al organismo percibir su entorno, pensarlo, razonarlo e interactuar con él, va conformándose en capas mediante un viaje radial y tangencial de los neuroblastos, de manera que los que llegan primero van ocupando los sectores más superficiales de la corteza y luego son desplazados hacia abajo por las neuronas que arriban posteriormente; así continúa hasta constituir las 6 capas que conforman la corteza.

Las células que constituían la cresta neural también van a migrar, tanto su configuración interna, como el recorrido que realizan y el entorno de su destino final, definirán el que luego se especialicen en las neuronas o las células gliales del sistema nervioso periférico, o en las células de pigmento o melanocitos, las células neuroendocrinas de la médula adrenal, en tejido de conexión de la región craneofacial u en otros.

Diferenciación celular

Inicialmente, las células producto de la división mitótica son similares. En el proceso de migración celular, mediante las interacciones que se van generando con el entorno circundante van creando modificaciones importantes y construyendo una “individualidad” celular. Esta se consolidará una vez que las células alcanzan sus destinos y comienzan a adquirir la apariencia distintiva de las neuronas características de sus regiones particulares.

No existe un único mecanismo mediante el cual las células adquieren sus identidades específicas; la variación entre la influencia de las características intrínsecas y del ambiente en la determinación del fenotipo neuronal va a ser muy amplio, en algunos sistemas la herencia será excesivamente importante, en otros, el entorno que las rodea (el lugar en donde se hallan en el embrión y las señales a las que se ve expuesta ahí y durante su migración) modificará en mayor grado las características celulares.

En la mayoría de las regiones del sistema nervioso, las células precursoras van a dar origen a **células gliales** y a **neuronas**.

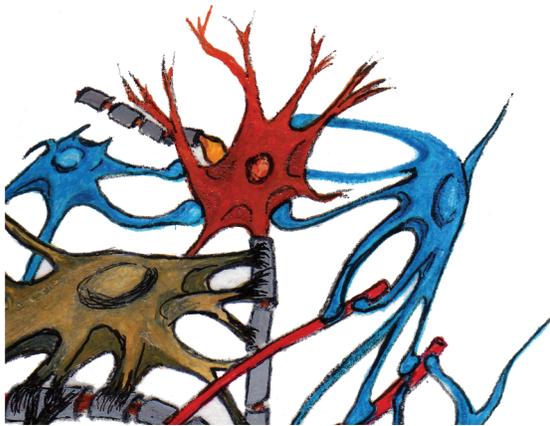


Fig.1.17. Neuronas y células gliales.

Células gliales: células muy activas que conforman el tejido en el que se encuentran las neuronas.

Neurona: unidad básica estructural del sistema nervioso.

Producción de apéndices neurales

Durante el proceso de diferenciación celular, una vez que la célula ha migrado y llegado a su sitio de destino, la neurona empieza a extender sus proyecciones.

Al aumentar la extensión de su membrana celular, mediante el surgimiento inicial de neuritas o pequeñas protuberancias que se irán convirtiendo en **axones**, **dendritas** y **espinas dendríticas**, la neurona llega a diferenciarse significativamente de otras células del organismo, y consigue tener una superficie de contacto impresionante que le permitirá establecer comunicación con otras neuronas y con el mundo exterior, más allá de la que logra cualquier otra célula del organismo.

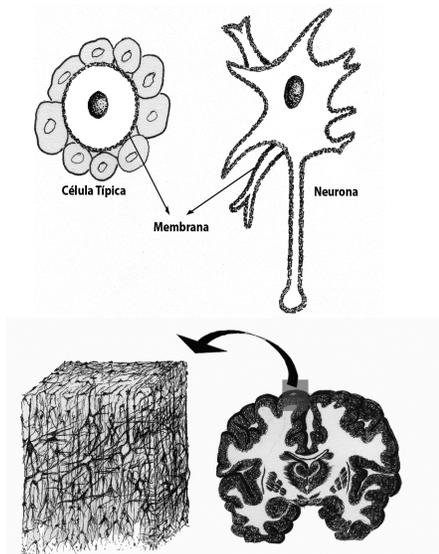


Fig.1.18. A diferencia de una célula típica, la membrana celular de la neurona posee una superficie muy extensa. La citoarquitectura del tejido neural y su distribución en la corteza incrementan aún más la superficie de contacto del sistema. Se dice que en un centímetro cúbico de corteza, se pueden establecer más conexiones que todas las que podrían existir entre las estrellas de la vía láctea.

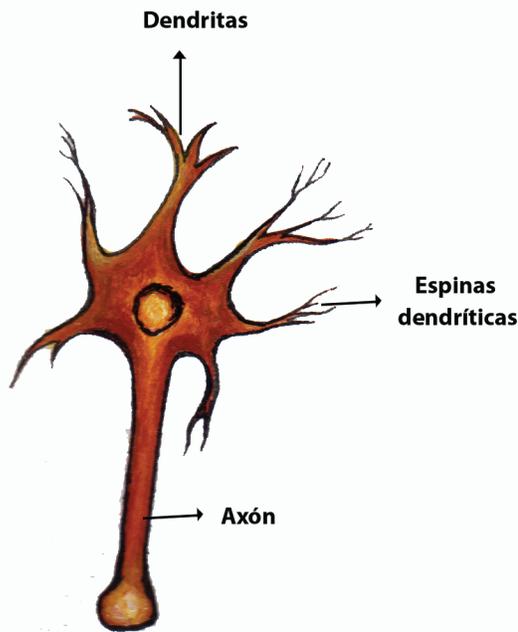


Fig.1.19. Apéndices neurales.

Dentro de sus apéndices, el axón posee especializaciones que le facilitarán transmitir información, las dendritas se especializarán mayormente en recibir los estímulos procedentes de otras neuronas.

Típicamente, cada neurona tendrá un sólo axón, en algunas células estos serán cortos y establecen conexiones locales con células de la vecindad inmediata, mientras que otras células extenderán sus axones hacia objetivos centrales o periféricos más distantes.

Axón, dendritas y espinas dendríticas: apéndices de la neurona que al aumentar su superficie de contacto, le permiten establecer conexiones con otras neuronas.

Sinaptogénesis

Antes de iniciar su vida “adulta” activa, como elementos estructurales del sistema nervioso, las neuronas cambian en muchos sentidos; no solamente desarrollan la maquinaria estructural y bioquímica propia de la neurona madura sino que también empiezan a establecer relación con otras células.

Entre la inmensa cantidad y variedad neuronal, las células no se conectan al azar entre sí, o con cualquiera, sino que buscan en sus compañeras características únicas según su lugar de ubicación, estructura y rasgos neuroquímicos.

La construcción de **circuitos neurales** en el cerebro en desarrollo requiere del correcto ensamblaje de trillones de conexiones. Estas conexiones o unidades funcionales especializadas del sistema nervioso son llamadas **sinapsis**.

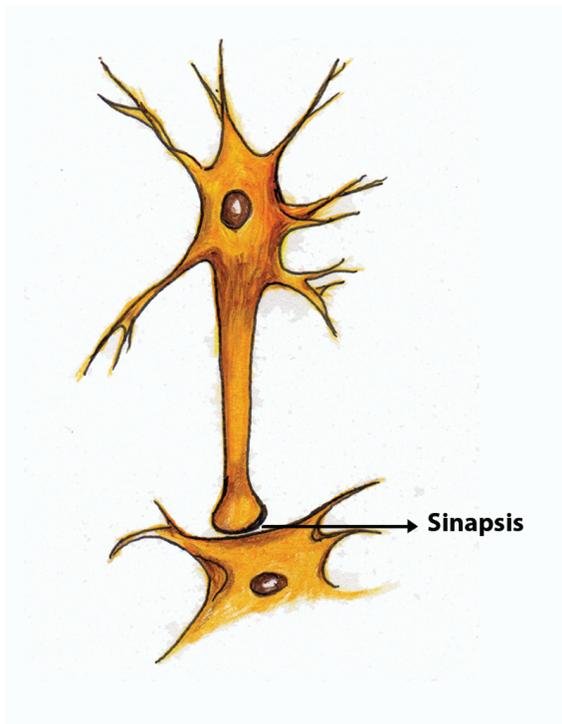


Fig.1.20. Sinapsis: unidad básica funcional del sistema nervioso.

Sinapsis: unión entre dos neuronas, esta es la unidad básica funcional del sistema nervioso.

Circuito neural: conjunto de neuronas que se conectan y se transmiten información.

Mediante la interacción que se establece entre neuronas, podemos ir notando cómo se da el desarrollo de una especie de “cableado” básico que permite transmitir y procesar información; al principio son los “datos” contenidos en las propias células o en su entorno microscópico inmediato los que se transmiten de una neurona a otra, pero luego se irá extendiendo la capacidad coevolutiva de todo el sistema, hasta ir desarrollando redes complejas que van a permitir la evolución de los diferentes estadios de aprendizaje.

Muerte celular programada y estabilización de conexiones

Durante el período de gestación, toma lugar otra fase crucial del desarrollo del sistema nervioso: el proceso mediante el cual las neuronas adquieren sus características específicas, implica competencia por espacio y función, un mecanismo propio de la evolución natural, que implicará la supervivencia o la extinción.

Incluso después de que las neuronas han migrado y se han diferenciado, las propias interacciones que se generan entre ellas y sus respectivos entornos al interior del organismo determinarán si la neurona, grupos neuronales, e incluso circuitos establecidos entre ellas, se estabilizarán o serán objeto de esta muerte o especie de poda neuronal programada.

La muerte de las células nerviosas durante el desarrollo, o **apoptosis**, es un mecanismo natural y absolutamente necesario para esculpir la estructura y funcionalidad del sistema.

Idealmente, cada célula puede acceder a **factores tróficos** (factores de crecimiento o de nutrición) que son proteínas o sustancias secretadas por otras neuronas, células gliales y tejido en la zona de destino; estos factores tróficos interactúan con la célula e incrementan su supervivencia. Cuando una célula no accede a los factores neurotróficos que requiere, en su interior se activa una especie de programa de muerte celular, poniendo en marcha un proceso que implica su extinción.

En etapas tempranas del desarrollo neuronal, la apoptosis es responsable de remover las neuronas redundantes y eliminar cualquier célula que haya establecido conexiones incorrectas, se encarga también de la remoción de rutas erróneas, de la eliminación de estructuras que actúan como andamios temporales, del ajuste del número de neuronas en la estructura neural de manera que ésta reciba la correcta cantidad de inervación, y en general, de facilitar la estabilización y expansión de otras conexiones, lo que evita que el cerebro tenga un exceso de ellas.

Factores tróficos: proteínas o sustancias que favorecen la nutrición y crecimiento de las células.

Apoptosis: muerte neuronal programada.

De esta manera, la muerte celular es un proceso esencial en la determinación de los detalles de las conexiones sinápticas de las neuronas sobrevivientes.

Durante el desarrollo, se establecen más sinapsis de las que en última instancia permanecerán. Por lo tanto, la eliminación del exceso de conexiones es un paso crítico y necesario en la maduración de los circuitos del sistema nervioso.

Este proceso de eliminación y estabilización de conexiones ocurre en tiempos y a velocidades variables, tanto en las diferentes áreas cerebrales, como en relación con los períodos de desarrollo por los que atraviesa una persona a lo largo de su vida e incluso, está íntimamente ligado a los procesos de neuromaduración determinados por factores genéticos y ambientales

1.8. Etapa fetal

Antes de la octava semana de gestación, muchos aspectos del ambiente hormonal eran los mismos para el embrión femenino o masculino, sin embargo, esto empieza a variar consistentemente una vez que inicia la etapa fetal.



Entre las semanas 8 y 24 de gestación, si el padre aportó un cromosoma *Y* en el momento de la concepción, el feto empezará a fabricar hormonas masculinizantes en sus gónadas emergentes, que serán liberadas al resto del organismo en desarrollo. De estas hormonas, la testosterona especialmente, desencadena mecanismos que esculpirán los rasgos típicos de un organismo masculino.

En el caso de que el padre haya aportado un cromosoma *X*, las gónadas se desarrollan en ovarios, y el organismo adquiere una configuración femenina.

La madre y la placenta producen gran cantidad de estrógenos, progesterona y gonadotrofinas y conforme el desarrollo avanza, el número de diferencias sexuales se incrementa. Propiamente, la presencia de andrógenos es necesaria en períodos específicos, tanto para promover la diferenciación de los genitales internos y externos, como el dimorfismo sexual cerebral y conductual.

Por su parte, la testosterona y sus metabolitos son esenciales no solo para el desarrollo de las características sexuales genitales y secundarias, sino también para la formación del cerebro; la testosterona participa en el esculpir del sistema nervioso en desarrollo mediante la inhibición o exacerbación de la muerte celular, la modulación de la formación y eliminación de sinapsis y la determinación de características neurales como el tamaño de las células y el crecimiento dendrítico, procesos que también la experiencia suele contribuir a aumentar o disminuir.

Testosterona: hormona cuya función básica es el desarrollo de las glándulas genitales y otros rasgos masculinos. Tiene un papel de gran importancia en el desarrollo del cerebro en ambos sexos.

Ya a partir de la décima semana de gestación, la placenta empieza a funcionar activamente como órgano protector y de nutrición. En los primeros meses, cuando el embrión es más vulnerable, la membrana placentaria es gruesa y por tanto, su permeabilidad es escasa, luego se adelgaza y aumenta tanto su permeabilidad como su superficie.

Durante el largo período que transcurrirá hasta el nacimiento, la naturaleza da los toques finales a las diferentes partes del cuerpo, éste sigue cambiando su forma y crece cerca de 20 veces en longitud; el feto está muy lejos de ser un pasajero pasivo en el vientre de su madre.

llo. Tanto el legado genético con que contamos en ese momento, como las modificaciones generadas a cada segundo mediante la coevolución con el entorno, van influyendo en ese potencial de desarrollo. Es un potencial que poseemos todos y cada uno de los seres humanos, y continúa en una activa coevolución a lo largo de toda la historia de vida.

1.9. Deliberaciones sobre el capítulo

En este capítulo hemos empezado a delinear las bases que fundamentan todas y cada una de las escrituras biográficas que conforman el conglomerado humano.

Potencial de desarrollo: potencial que poseen todos los seres humanos, en el que participan de manera preponderante en un inicio, los factores genéticos, biológicos y neuroevolutivos y en el que tras el nacimiento, la coevolución con el entorno adquiere un papel mucho más directo.

Reiteramos que aquí, el concepto de biografía se refiere a historias de vida donde se plasman y reflejan los procesos intrínsecos y extrínsecos de lo que el cerebro de cada ser humano aprende (no importa la forma, el método o las variaciones de cada sustrato biológico aludido) y hacen de cada persona, un ser humano particular. Se entiende que este concepto de biografía no tiene edad, no describe biografías póstumas; hace referencia a cualquier momento en la historia de una vida, que puede ser leído, interpretado y modificado, potenciando o limitando la escritura de la próxima página.

Cada construcción biográfica, es producto de un trabajo conjunto, no existe un único director de orquesta. Genoma, neuroevolución, sociedad, cultura, historia y, sin duda, la persona, con su cerebro y el resto de su cuerpo, comparten la autoría. Este concepto no permite eximir de responsabilidades a los sistemas nacionales ni a los megasistemas transnacionales con todos sus componentes políticos, económicos, culturales y ecológicos incluidos.

La biografía de un niño comienza a escribirse mucho antes de que la concepción tenga lugar: tiempo atrás el ambiente inició su acción sobre sus progenitores y casi indudablemente sobre los genes de estos; en su condición nutricional, en cada útero materno, y entre muchos otros factores, en las características del entorno familiar en que iniciará sus días de recién nacido, transcurrirá su infancia y gran parte del resto de su vida.

Sin ninguna posibilidad de elección por parte del futuro niño, gran cantidad de fenómenos sociales de orden económico, histórico, ecológico, nacional y transnacional actúan sobre sus padres, su familia, su comunidad, y por lo tanto, sobre su potencial genético, modificando sus cualidades, al tiempo, algunas de sus funciones y por qué no, la forma en que este material se va a unir en el momento de la concepción.

Los padres, creciendo bajo el mismo sol, poseen genomas diferentes, culturas inmediatas distintas, comportamientos y estilos de aprendizaje particulares. Debe tenerse en cuenta que la biología y el ambiente han determinado que cada progenitor sea un individuo único.

No existen indicadores de que los cromosomas son ‘inmunes’ al ambiente. De hecho, la historia nos brinda múltiples ejemplos que permiten identificar retrospectivamente las consecuencias de la acción del entorno en el genoma de los progenitores. Por desgracia y como es común, los efectos y situaciones observadas se refieren principalmente a eventos trágicos que afectaron la contribución de los genes en la escritura de miles de biografías. Basta con recordar desastres de cobertura mundial como Chernobyl, Hiroshima y Nagasaki; pero debe hacerse referencia a situaciones menos evidentes en que los gobiernos han permitido el uso continuo de sustancias químicas tóxicas, entre ellos pesticidas, herbicidas o, también, a las balas enriquecidas con uranio, para proteger los intereses económicos y políticos de quienes ostentan el poder (en este punto las referencias bibliográficas las atribuimos a la historia).

Ante esto, es difícil dejar de suponer que -en lo cotidiano- el ambiente, de manera mucho más sutil y de forma positiva o negativa, induzca a faltas o excesos. Actúa sobre el genoma de cada progenitor, lo modifica, establece diferencias y contribuye para que cada historia de vida se empiece a escribir mucho antes de la concepción. La epigenética es un hecho irrefutable.

En el momento de la concepción, cada progenitor, bronceado por el mismo sol que el de su pareja, pero con una piel propia y distinta, aporta su biografía biológica única, para unirlos a otra que también es particular. El juego de azar genético llega a su fin.

De aquí en adelante, con un almacén individualizado de ADN a cuestas, ya influenciado por el ambiente, empieza a desarrollarse de manera oficial (como ha sido visto por la historia y abordado por distintos enfoques estructuralistas sobre el desarrollo infantil), una persona, también con características individuales.

De esta manera, se comienza a construir el sustrato biológico -con características propias- sobre el que el resto de la biografía será escrita. Hasta aquí y por largo tiempo aún, el niño será excluido de la opción de manifestarse a favor o en contra de los procesos que empiezan a determinar muchas de sus características físicas, neuroestructurales y mentales que caracterizarán, al menos parcialmente, su comportamiento social. Procesos externos y globales han tomado desde el inicio su ser genético para transformarlo en una especie de plagio, escrito por la historia, del que, muy posiblemente será solo un coautor.

Esta misma historia ha mostrado que el desconocimiento de los procesos del desarrollo humano en relación con la genética y la génesis en general, influyó en que, durante mucho tiempo, mitos y creencias sin fundamentación científica se inclinaran hacia el determinismo genético o ambiental.

Dentro de estos mitos, la Teoría de Preformación de siglos pasados, postulaba la existencia de un homúnculo en el huevo fertilizado, entendía el proceso de desarrollo como el desdoblamiento y perfeccionamiento de estructuras y funciones preestablecidas, pero no contempló que la maravilla en la dinámica de la bio-estructura, no puede únicamente “desdoblarse” o estar predeterminada desde un inicio sin distar de ser real y arriesgarse a establecer una reciprocidad artificial, descontextualizada y poco efectiva en el proceso de desarrollo de un ser humano.

Desde muy temprano, la epigénesis se constituye en un factor evolutivo común en el desarrollo del ser humano.

Luego de finalizar el viaje por las trompas de falopio, una vez implantado en el endometrio materno, el nuevo embrión empieza a interactuar en un entorno inmediato constituido por el útero y por todo el cuerpo de su madre, que continuará produciendo modificaciones importantes en su desarrollo, y determinando más individualidad.

El estudio del proceso de neurodesarrollo, muestra que indistintamente del fenotipo que exprese un individuo en su infancia, adolescencia o edad adulta, el período embrionario de su gestación ha atravesado por los procesos de neurulación y gastrulación, de proliferación, migración y diferenciación celular; su sistema nervioso cuenta con células gliales, con neuronas que han producido apéndices y que forman sinapsis.

Todos los organismos son presa de procesos apoptóticos que intervienen para delinear las células y conexiones, las cuales prevalecerán en sus estructuras cerebrales. Desde estos niveles básicos y fundamentales, la diversidad celular a nivel morfológico, fisiológico y bioquímico, es una constante común en el sustrato neurobiológico de los seres humanos.

En las primeras etapas del desarrollo, los procesos biológicos -genes, neurogénesis, sinaptogénesis- sin ser los únicos, parecieran dominar el escenario. Puede decirse que la neuroevolución construye el 'papel' (ya con una cantidad importante de páginas impresas) sobre el cual, el lápiz social escribirá la biografía de cada niño. Sin embargo, al mismo tiempo, el entorno de la madre, el macroambiente, la sociedad, la cultura, modificarán con su influencia positiva o negativa, los procesos de desarrollo de una biografía que ha empezado a gestarse tiempo atrás y que nacerá en los próximos meses.

Una vez que el niño nace y pasa de obtener el oxígeno a partir del torrente sanguíneo de la madre a través de la placenta, a respirar de manera independiente, la coevolución con el entorno tomará otros matices. El macroambiente, con la dinámica entorno-individuo, continuará contribuyendo de forma importantísima en este devenir biológico.

La consideración inicial de la coevolución entre el organismo y el entorno, así como la claridad de la mutua influencia que se genera en este proceso, único y distinto para cada persona como único y distinto es su entorno y el sustrato genético y neurobiológico que posee, constituye la base de la cual se parte para el estudio de los procesos de desarrollo y aprendizaje humano.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué se entiende por coevolución?
2. ¿Cuál es la función de la membrana celular y por qué se dice que ésta da un ejemplo microscópico de coevolución?
3. ¿Cuál es la importancia del ADN?
4. ¿Cuál es el producto fundamental de la gametogénesis?
5. ¿Cuáles procesos tienen lugar en la etapa preembrionaria o germinal?
6. ¿Cuáles son las fases principales de la etapa embrionaria?
7. ¿Cómo se denominan las tres capas del embrión y de cuál de ellas se origina el sistema nervioso central?
8. ¿Cuáles fases atraviesan las células nerviosas, en el proceso de desarrollar sus características especializadas?
 - *¿Cuál es la relación entre: la membrana celular, el ectodermo y el sistema nervioso?*
 - *¿Cuáles implicaciones educativas cree usted que podrían conllevar las nociones de la epigénesis y de la epigenética?*
 - *¿Cuál sería la relevancia, en relación con el aprendizaje, de la existencia del potencial de desarrollo con el que todos los seres humanos venimos al mundo?*

BIBLIOGRAFÍA

Aguado, L. (1999). Aprendizaje y Memoria (Learning and memory). Accesible: <http://www.uninet.edu/union99/congress/conf/bas/01Aguado.html>

Baddeley, A. (1999). Memoria Humana, Teoría y práctica. Madrid: McGraw Hill.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. Trends in Cognitive Sciences. 4 (11): 417- 423.

Baddeley, A. (2001). The concept of episodic memory. Phil.Trans. R. Soc. Lond. 356: 1345-1350.

Baddeley, A. (2003.a). Working memory and language: an overview. Journal of Communication Disorders. 36: 189–208.

Baddeley, A. (2003.b). Working memory: Looking back and looking forward. Nature Reviews Neuroscience. 4: 829-839.

Carazo, V. (2006). Neurodesarrollo, Diversidad y Segregación, un acercamiento teórico a sus bases neuropsicológicas. Tesis Doctoral. Facultad de Psicología Departamento de Psicología Básica, Psicobiología y Metodología de las Ciencias del Comportamiento. Universidad de Salamanca. España.

Carazo, V. (2008). Los programas de formación docente a la luz del conocimiento actual sobre el neurodesarrollo y las bases neurobiológicas del aprendizaje. En: Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (Costa Rica). Segundo Estado de la Educación / Consejo Nacional de Rectores. - 2 ed. – San José, Costa Rica.

Carlson, N. (1991). Physiology of Behavior (4ª ed.). United States of America: Allyn and Bacon.

Carter, R. (2002). El Nuevo Mapa del Cerebro (2ª ed.). Barcelona, España: RBA Libros, S.A.

Damasio, A. (2000). Sentir lo que sucede, cuerpo y emoción en la fábrica de la consciencia. Chile: Editorial Andrés Bello.

Habib, M. (1998). Bases Neurológicas de las Conductas. España: Editorial Masson.

Lerner, R. (1984). On the nature of human plasticity. United States of America: Cambridge University Press.

Li, S. (2003). Biocultural Orchestration of Developmental Plasticity Across Levels: The Interplay of Biology and Culture in Shaping the Mind and Behavior Across the Life Span. Psychological Bulletin. 129 (2): 171–194.

Llinás, R. (2003). El cerebro y el mito del yo. El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos. Colombia: Editorial Norma S.A.

López, L. (1995). As if the children matter. Canadá: Roeher Institute.

López, L. (2000, Julio). Aprendizaje: La influencia del ambiente sobre la estructura neurobiológica. Trabajo presentado en el II Congreso Internacional "Cómo aprende el Ser Humano", de la Universidad Interamericana. Heredia, Costa Rica.

López, L. (2006, Enero). Neurodesarrollo. Trabajo presentado en el V Congreso de Educación Preescolar "Estado Actual y Perspectivas de la Educación Preescolar Costarricense", de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Morgado, I. (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes. *Revista de Neurología*. 40 (5): 289-297.

Norman, D. y Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. En Davidson, R., Schwartz, G. y Shapiro, D. (Eds.), *Consciousness and self regulation. Advances in research and Theory*. (Vol. 4, pp. 1–18). New York: Plenum Press.

Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F. y Merabet, L. (2005). The Plastic Human Brain Cortex. *Annuals Reviews in Neuroscience*. 28: 377–401.

Ruiz-Contreras, A y Cansino, S. (2005). Neurofisiología de la interacción entre la atención y la memoria episódica: revisión de estudios en modalidad visual. *Revista de Neurología*. 41 (12): 733-743.

Schwartz, J. y Begley, S. (2003). *The Mind & The Brain. Neuroplasticity and the power of mental force*. United States of America: Regan Books. HarperCollins Publishers.

Shallice, T. (1993). *From Neuropsychology to Mental Structure*. United States of America: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Smith, P. (1998). *Neurophilosophy, Toward a Unified Science of the Mind / Brain*. United States of America: Massachusetts Institute of Technology, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.

Squire, L. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*. 82: 171–177.

Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Reviews of Psychology*. 53: 1–25.