

3^{ra} edición

corregida y actualizada

LC

Las bases biológicas del aprendizaje

Claudio Glejzer (compilador)



FILO:UBA
Facultad de Filosofía y Letras

Las bases biológicas del aprendizaje

Las bases biológicas del aprendizaje

Claudio Glejzer (compilador)

Autores: Claudio Glejzer, Alejandra Ciccarelli, Adriana Maldonado,
Florencia Bulit, Manuela Chomnalez, Carolina Facchinetti, Analía Ricci

Cátedra: Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje



Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Buenos Aires

Decana

Graciela Morgade

Vicedecano

Américo Cristófalo

Secretario

General

Jorge Gugliotta

Secretaria

Académica

Sofía Thisted

Secretaria

de Hacienda

y Administración

Marcela Lamelza

**Secretaria de Extensión
Universitaria y Bienestar
Estudiantil**

Ivanna Petz

Secretaria de Investigación

Cecilia Pérez de Micou

Secretario de Posgrado

Alberto Damiani

Subsecretaria

de Bibliotecas

María Rosa Mostaccio

**Subsecretario
de Publicaciones**

Matías Cordo

**Subsecretario
de Publicaciones**

Miguel Vitagliano

**Subsecretario
de Transferencia
y Desarrollo**

Alejandro Valitutti

Subsecretaria

de Relaciones

Institucionales

e Internacionales

Silvana Campanini

Dirección de Imprenta

Rosa Gómez

Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras

Colección Libros de Cátedra

Coordinación editorial: Martín G. Gómez

Diseño de tapa e interior: Magali Canale y Fernando Lendoiro

Diagramación: Gonzalo Mingorance

Versión digital: María Clara Diez, Paula D'Amico

ISBN 978-987-3617-72-0

© Facultad de Filosofía y Letras (UBA) 2015

Subsecretaría de Publicaciones

Puan 480 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - República Argentina

Tel.: 4432-0606 int. 167 - info.publicaciones@filo.uba.ar

www.filo.uba.ar



Las bases biológicas del aprendizaje /
Claudio Glejzer ... [et al.]; compilado por Claudio Glejzer. - 3a ed. - Ciudad
Autónoma de Buenos Aires : Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Buenos Aires, 2017.
340 p. ; 20 x 14 cm. - (Libros de cátedra)

ISBN 978-987-4019-46-2

1. Biología. 2. Ciencias de la Educación. I. Glejzer, Claudio II. Glejzer,
Claudio, comp.
CDD 370.1

Índice

Prólogo	15
<i>Claudio E. Glejzer</i>	
Capítulo 1. Genética	19
<i>Alejandra Ciccarelli</i>	
Estructura del ADN	19
Mecanismos que aseguran la transmisión de los genes	23
La relación entre ADN y proteínas	25
Cariotipo	28
La cognición en los niños con síndrome de Down	31
Enfermedades genéticas	32
Enfermedades autosómicas	33
Enfermedades ligadas al sexo	35
Proyecto genoma humano	39
Genética y Derechos Humanos	42
Capítulo 2. Comportamiento animal	49
<i>Florencia Bulit</i>	
Una visión histórica	49

Los procesos de aprendizaje	55
Condicionamiento clásico	56
Condicionamiento operante	59
Consideraciones finales relacionadas a ambos condicionamientos	61
Aprendizaje social	62
Aprendizaje espacial	65
Habituaación y sensibilización	67

Capítulo 3. Fisiología de las neuronas 71

Florencia Bulit

Las neuronas: estructura y función	72
Las células de la glía	74
Generación, conducción y transmisión de información	75
Generación: recepción del estímulo e inicio del potencial	77
Conducción del impulso nervioso	79
Transmisión: sinapsis	81
Tipos de sinapsis	83
Características de los procesos de sinapsis	84
Los neurotransmisores	86
El efecto de las drogas en la sinapsis	89
Integración con el aprendizaje	90

Capítulo 4. Sistema nervioso 95

Manuela Chomnalez

Sistema nervioso	95
Las células del sistema nervioso	97
El sistema nervioso central	98
Protección frente a las lesiones	99
Médula espinal	100

Encéfalo	102
Tronco del encéfalo	103
Cerebelo	104
Cerebro	105
Sistema nervioso periférico (SNP)	115
Nervios craneales	116
Nervios espinales	119
Reflejos	119
Sistema nervioso autónomo	122

Capítulo 5. Sistema neuroendocrino 127

Carolina Facchinetti

Un poco de historia	127
Sistema neuroendócrino	131
¿Qué son las hormonas?	132
Hipotálamo-hipófisis	134
Regulación de las neurohormonas liberadas por la neurohipófisis	138
Oxitocina	139
Principales hormonas adenohipofisarias y su regulación	141
Las hormonas y el estrés	143
Ritmos biológicos	145
El estrés afecta los procesos de aprendizaje	150

Capítulo 6. Desarrollo del sistema nervioso 159

Adriana Maldonado y Claudio Glejzer

Primeras etapas del desarrollo embrionario	157
Origen y formación del sistema nervioso	159
Desarrollo cerebral prenatal	163
Desarrollo de la función motora	165

El desarrollo posnatal del sistema nervioso	166
Mielinización	168
Poda sináptica	169
El desarrollo de la corteza prefrontal	170
Período vulnerable y crítico: importancia del ambiente	171

Capítulo 7. Dispositivos del aprendizaje 177

Claudio Glejzer y Adriana Maldonado

El aprendizaje	177
Actividad nerviosa superior	180
Dispositivos básicos de aprendizaje	181
Funciones cerebrales superiores	181
Equilibrio afectivo-emocional	181
Los dispositivos del aprendizaje	182
Sensopercepción	183
¿De qué forma se organizan nuestras sensaciones?	186
Los transductores biológicos	187
¿De qué forma se organizan nuestras percepciones?	189
Motivación	189
Tipos de conductas motivadas	191
Las bases biológicas de la motivación	193
La motivación y el apego	197
Habituaición	198
Atención	200
Las bases biológicas de la atención	202
Memoria	204

Capítulo 8. Plasticidad y memoria 207

Carolina Facchinetti

Memoria	207
---------	-----

Plasticidad	208
Plasticidad neuronal	211
Potenciación de larga duración (LTP)	212
Estructuras cerebrales involucradas en los procesos de memoria	214
Tipos de memoria	217
Etapas de la memoria a largo plazo	220
Áreas involucradas en la formación y evocación de memorias	221
Memoria de trabajo	223
Amnesia <i>versus</i> olvido	224
Desnutrición y memoria	226
Neurociencia y educación	227

Capítulo 9. El componente afectivo emocional en los aprendizajes 231

Analia Ricci

Emociones	231
Estructuras emocionales y aprendizaje	233
Funciones de la corteza orbitofrontal	235
Funciones de la corteza anterior cingulada	236
Funciones de la ínsula	237
Funciones de la amígdala	238
Emociones, aprendizaje y memoria	239
Respuesta emocional	240
Aspectos neurofisiológicos no conscientes	241
Aspectos neurofisiológicos conscientes	242
Empatía y neuronas espejo	244
Comprensión de las acciones	246
Comprensión de las intenciones	247
Comprensión de las emociones	248

Autismo	249
Inteligencia emocional	250
¿Cómo se evalúa la inteligencia emocional?	252
Escuelas resilientes	254

Capítulo 10. Gnosias y praxias 259

Alejandra Ciccarelli y Manuela Chomnalez

Funciones cerebrales superiores	259
Bases biológicas	260
Gnosias	261
Analizadores	264
Clasificación de las gnosias	267
Gnosias simples	267
Gnosias complejas	268
Agnosias	273
Agnosias visuales	275
Agnosias no visuales	276
Praxias	277
Tipos de praxias	278
Organización y aprendizaje de praxias	279
Planificación y ejecución de los movimientos	281
Control neural del movimiento	283
Apraxias	286
Tipos de apraxias	286
Gnosias, praxias y aprendizaje escolar	288

Capítulo 11. Lenguaje 293

Adriana Maldonado

Comunicación humana y lenguaje	293
--------------------------------	-----

Producción y comprensión del lenguaje	293
El aparato fonador	295
Capacidad de aprender un lenguaje	297
Afasias	301
El lenguaje en primates no humanos	301
El rol del lenguaje en el aprendizaje	304
El lenguaje como mediador del aprendizaje en las escuelas	306
Aprendizaje de la escritura y de la lectura	307
Escritura	307
Lectura	308
Las bases biológicas de la lectura	310
Dislexia de desarrollo	313
El cerebro social y el lenguaje	314

Capítulo 12. Aprendizaje de la matemática 317

Marisol Domínguez

Los números en nuestra vida social	317
Aritmética en los animales	318
Limitaciones de la matemática animal. ¿Son los animales tan buenos como los humanos en su habilidad para la matemática?	319
Lenguaje y matemática	320
Aprendizaje de la matemática en los niños	320
Cronología de la adquisición de la habilidad matemática en los niños	321
La singularidad de los números 1, 2 y 3	324
Subitización	335
Mecanismos cerebrales responsables de las habilidades numéricas en los humanos	327
Números, espacio y tamaño	329
Discalculia	331
Problemas en la enseñanza: por unas matemáticas más naturales	331

¿Por qué para los niños es más fácil sumar y restar,
que multiplicar y dividir? 333

Que “el fantasma” de los números entre amigablemente al aula 334

Los autores 337

Prólogo

Claudio E. Glejzer

Una de las formas de comprender los procesos educativos es a través del conocimiento de diferentes procesos de aprendizaje. Estos se pueden comenzar a abordar, desde el sustrato biológico, tomando como base la exploración de nuestro sistema nervioso y sus células principales, las neuronas.

El encéfalo es una red de miles de millones de neuronas que se interrelacionan en sistemas que nos permiten elaborar diferentes formas de percibir y ver el mundo.

Para ello es necesario un sistema relacionado con la atención y el control de las acciones y movimientos que realizamos. Por tanto, el primer escalón en la comprensión de la mente es descubrir cómo llegan a organizarse y comunicarse las neuronas.

Las señales nerviosas de nuestras neuronas pueden viajar desde la periferia hacia el cerebro y desde este hasta los músculos. Las conexiones neuronales también facilitan el funcionamiento del cerebro y sus funciones cognitivas, y gracias a ellas se producen la atención, la motivación, la memoria, el lenguaje, etc.

El cerebro además posee una capacidad de plasticidad muy grande, es decir, va modificando sus conexiones neuronales con cada experiencia. Es esta plasticidad cerebral la que permite el aprendizaje.

Los docentes brindamos estímulos que los cerebros de quienes aprenden utilizan en su desarrollo, ya que facilitan la adquisición de las capacidades cognitivas y promueven los aprendizajes.

El proceso de aprendizaje es muy complejo y en él intervienen diversos mecanismos que tienen en común poseer una base biológica, como son la actividad molecular de las neuronas y la actividad de los circuitos neuronales, muy importantes para comprender los procesos cognitivos superiores.

La neuroeducación nos permite analizar los procesos de enseñanza-aprendizaje, brindándonos herramientas para atravesar el gran desafío de educar. Sabiendo que nuestros cerebros son plásticos, podemos observar su funcionamiento en los procesos cognitivos, la forma en que interviene el ambiente, la individualidad y subjetividad de cada ser humano en la forma de aprender, la trascendencia del lenguaje verbal y no verbal, la motivación y la atención frente a los estímulos del mundo que nos rodea.

El conocimiento de los procesos cognitivos es una de las herramientas que nos permite elaborar estrategias de enseñanza con el fin de mejorar los aprendizajes.

Este libro, elaborado por los docentes de la cátedra de “Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje”, de la carrera de Ciencias de la Educación, tiene como objetivos lograr que los alumnos:

- » Analicen las bases de la estructura y fisiología del sistema nervioso como sustrato del aprendizaje en sus distintas manifestaciones, así como las bases biológicas del lengua-

je, la imaginación, el pensamiento y las emociones.

- » Relacionen las interacciones que se producen entre el genoma, los individuos y el ambiente.
- » Analicen los mecanismos evolutivos que permitieron el desarrollo de nuestro cerebro y la capacidad de los individuos para aprender, pensar, resolver problemas y tomar decisiones en diferentes contextos.

Desde mi experiencia de más de dos décadas en esta cátedra puedo asegurar que nuestra intención no es reducir los procesos de aprendizaje a simples conexiones de neuronas y moléculas que las atraviesan. Nos interesa que los alumnos y alumnas conozcan el sustrato biológico del aprendizaje para que luego puedan relacionarlo e integrarlo con procesos cognitivos que sabemos complejos, en los que la psicología, la pedagogía, la psicopedagogía, la sociología, entre otras, tienen mucho que decir.

Es nuestra intención que este libro sea un aporte en la carrera, una forma distinta de pensar la educación desde la biología sin dejar de tener en cuenta su relación dialéctica con el ambiente y sabiendo que los humanos tenemos la posibilidad de cambiar, aprender, transmitir y generar cultura.

CAPÍTULO 1

Genética

Alejandra Ciccarelli

¿Cómo se transmiten los genes de padres a hijos?

¿Qué relación existe entre las proteínas, los genes y las características externas e internas de un individuo?

¿Alguna vez se preguntaron por qué no son idénticos a sus hermanos?

Estructura del ADN

Todos los organismos están formados por células. La célula es la mínima unidad funcional y estructural de cualquier ser vivo. Dependiendo del tejido que conformen, las células pueden presentar diferentes morfologías y funciones pero todas tienen una membrana plasmática que es la superficie externa que las rodea y las separa del medio exterior.

En las células se encuentra el citoplasma (material acuoso ubicado en el interior de la célula) y en él, a su vez, hay diferentes organelas (estructuras subcelulares), cada una de las cuales cumple una función particular.

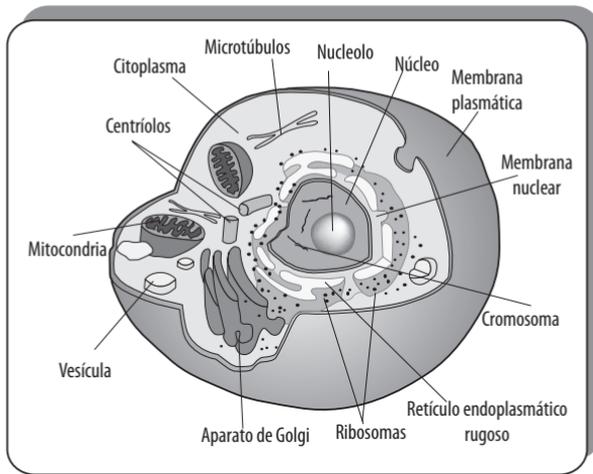


Figura 1.1. Estructura básica de una célula animal (Curtis y Barnes, 2000).

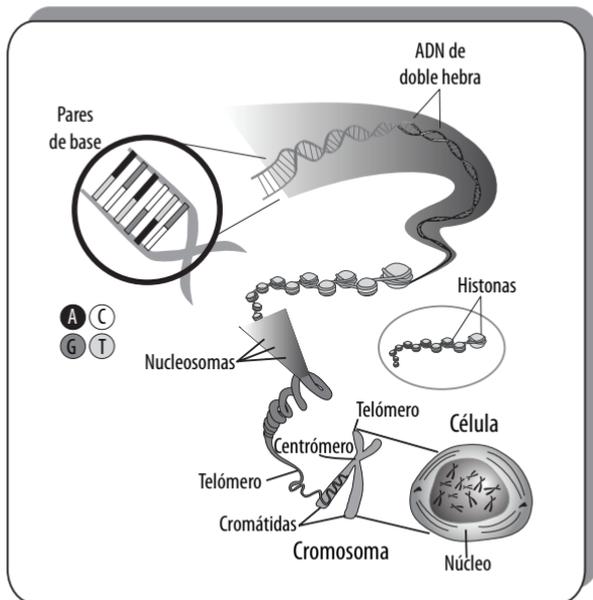


Figura 1.2. Representación de la relación entre cromosomas y ADN (Curtis y Barnes, 2000).

Una de las estructuras con mayor importancia en la célula es el núcleo, dentro del cual se encuentra una molécula llamada ácido desoxirribonucleico (ADN).

El ADN es el responsable de la transmisión hereditaria y se encuentra de manera superenrollada sobre proteínas denominadas histonas, conformando los cromosomas. Una célula posee un determinado número de cromosomas que se ubican en el núcleo.

El ADN es una molécula compleja formada por dos cadenas de nucleótidos enrolladas en forma helicoidal y unidas entre sí.

Los nucleótidos son moléculas formadas por la unión de un azúcar, una base nitrogenada (moléculas orgánicas que presentan átomos de nitrógeno) y un grupo fosfato.

Las bases nitrogenadas de la molécula de ADN se denominan adenina (A), timina (T), citocina (C) y guanina (G).

A cada porción de ADN que contiene información para la fabricación de una o varias proteínas se la denomina gen. En resumen, cada célula presenta un determinado número de cromosomas, cada cromosoma está constituido por una molécula de ADN superenrollada y un gen es un fragmento particular de ADN que determina el número, tamaño y los distintos tipos de proteínas que se va a fabricar en un organismo. Por lo tanto la secuencia en la que las bases nitrogenadas se ubican en la molécula de ADN determina el tipo de proteínas que se van a fabricar.

En la herencia, cada progenitor (padre/madre) aporta una parte de su información genética al hijo, es decir que este recibe dos fragmentos de ADN, uno del padre y otro de la madre. Ambos fragmentos integran el gen que determina la característica en el hijo. A cada uno de esos fragmentos se lo denomina alelo, es decir que los alelos son las alternativas que puede tener un gen para presentar una determinada característica. Por ejemplo, el gen “color de pelo” puede tener dos alelos (al-

ternativas) en el padre (morocho/pelirrojo) y en la madre (morocho/rubio). Los espermatozoides del padre tendrán una de las dos variantes, morocho o pelirrojo y los óvulos de la madre otras dos, morocho o rubio. El hijo puede heredar para el gen de color de pelo cualquiera de las combinaciones de alelos: morocho/morocho, morocho/rubio, morocho/pelirrojo o pelirrojo/rubio.

Si los alelos que aportan ambos progenitores son iguales, se dice que el individuo es homocigota para la característica determinada por ese gen, y si los alelos son diferentes, el individuo es heterocigota para esa característica.

El genotipo es el conjunto de genes que contiene un organismo para determinadas características heredadas de sus progenitores.

Se denomina fenotipo la manifestación interna o externa del genotipo, es decir los caracteres observables y no observables de un organismo. Un ejemplo de caracteres observables es el color de pelo o de ojos mientras que un ejemplo de carácter no observable es el grupo sanguíneo.

Existen dos tipos de alelos: dominantes y recesivos. Los alelos dominantes son aquellos que se expresan en el fenotipo tanto en condición homocigota (es decir cuando ambos

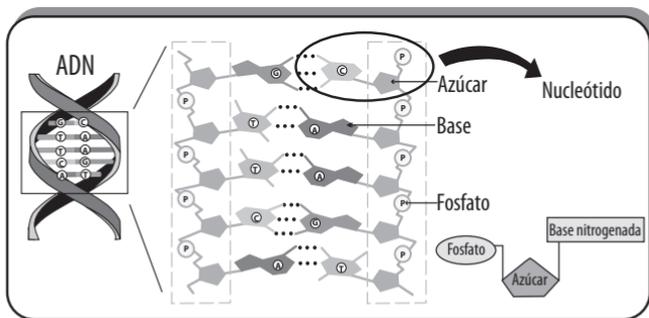


Figura 1.3. Estructura de la molécula de ADN. Las bases nitrogenadas se unen de manera particular: Adenina siempre se une con Timina y Citocina con Guanina (Curtis y Barnes, 2000).

alelos dominantes son iguales) como en condición heterocigota (cuando un alelo es dominante y el otro no). Por otra parte, el término alelo recesivo se aplica al miembro de un par alélico imposibilitado de manifestarse cuando el alelo dominante está presente. Para que el alelo recesivo se observe en el fenotipo, el mismo debe estar en condición homocigota recesiva (es decir ambos alelos iguales y recesivos).

Para explicarlo con un ejemplo podríamos suponer que una mujer presenta un determinado gen que contiene información para la forma de los ojos. Si denominamos a ese gen con la letra **A**, en el caso de que esa mujer sea homocigota dominante se representará su genotipo como **AA** (con sus dos alelos dominantes), si es heterocigota será **Aa** (con un alelo dominante y el otro recesivo) y si es homocigota recesivo será **aa** (ambos alelos recesivos).

Por lo tanto cada cromosoma posee múltiples genes diferentes que contienen información para la síntesis de una o varias proteínas, las cuales determinarán las características fenotípicas de un organismo.

Mecanismos que aseguran la transmisión de los genes

La meiosis es un proceso que ocurre tanto en los ovarios como en los testículos generando la formación de gametas o células sexuales llamadas ovocitos y espermatozoides, respectivamente. Todas las gametas que producen los hombres y mujeres no son iguales ya que existen diferentes fuentes de variabilidad. En el proceso de meiosis hay una sucesión de dos divisiones celulares durante las cuales una célula diploide ($2n$), es decir que presenta dos copias de cada cromosoma, origina una célula haploide (n) la cual contiene la mitad del número de cromosomas de la célula que le dio origen. Es decir que tanto los óvulos como los espermatozoides son células haploides.

El hecho de que las gametas contengan la mitad del número de cromosomas asegura que, de haber fecundación entre un ovocito y un espermatozoide, se mantenga el número de cromosomas total característico de esa especie.

Vamos a aclarar este concepto con un ejemplo: cada especie tiene una cantidad particular de cromosomas en sus células. La especie humana posee 46 cromosomas en sus células somáticas (todas las del organismo menos las sexuales) y 23 cromosomas en las gametas. Los 46 cromosomas que se hallan en las células somáticas son, más precisamente, 23 pares. Cada par está integrado por un cromosoma de origen paterno y otro de origen materno, que se encuentran en los espermatozoides y ovocitos, respectivamente. A los cromosomas de cada par se los denomina homólogos.

Si se produce fecundación, es decir si se une un ovocito con un espermatozoide, se genera una nueva célula formada por 46 cromosomas. Por lo tanto la meiosis permite mantener constante el número de cromosomas de una especie, en este caso 46 cromosomas que corresponden a la especie humana.

Durante el proceso de meiosis se produce el entrecruzamiento de segmentos entre cromosomas homólogos, es decir que se intercambia información genética. Por otro lado, cuando los cromosomas se distribuyen en las gametas lo hacen al azar. Ambos procesos generan la variabilidad en las gametas, lo cual explica el por qué de las diferencias fenotípicas, por ejemplo entre hermanos cuando estos provienen de los mismos progenitores.

La relación entre ADN y proteínas

Las proteínas son las moléculas más abundantes en una célula y son indispensables en su estructura y para el funcionamiento de las mismas. Existen distintos tipos de proteínas,

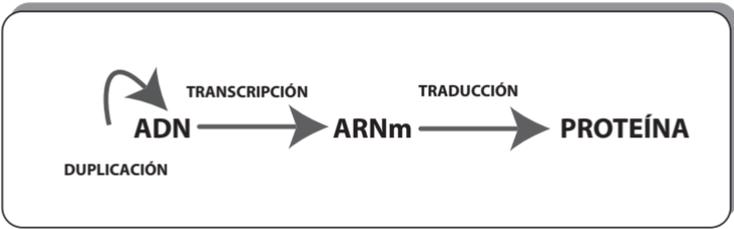


Figura 1.6. La información fluye del ADN al ARN y de este a las proteínas. La replicación del ADN ocurre solo una vez en cada ciclo celular, previo a la división celular. La transcripción y la traducción, sin embargo, ocurren repetidamente a través de toda la vida celular.

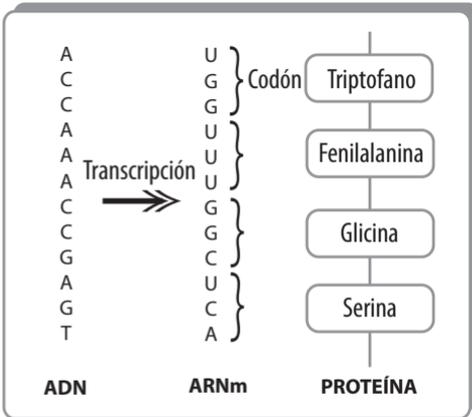


Figura 1.7. Esquema representativo de la síntesis de una proteína (Fuente: <http://www.ubaxxivirtual.uba.ar>).

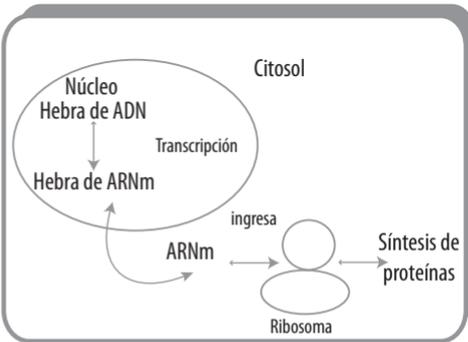


Figura 1.8. Esquema que representa el proceso de transcripción y traducción de una proteína. Cada codón formado por tres nucleótidos consecutivos especifica un tipo de aminoácido, por ejemplo triptófano, fenilalanina, glicina y serina (Fuente: <http://www.ubaxxivirtual.uba.ar>).

las cuales difieren entre sí en sus funciones, formas y tamaños, dependiendo de la secuencia de aminoácidos que las compone. Los aminoácidos son las unidades que integran una proteína.

Todas desempeñan funciones vitales en los seres vivos, como por ejemplo:

- a) actúan como hormonas regulando la actividad fisiológica y metabólica de las células;
- b) forman parte de diferentes estructuras celulares, como ser la membrana plasmática de las células nerviosas o como receptores de neuronas que captan señales;
- c) actúan como enzimas acelerando reacciones químicas y participan en la síntesis de neurotransmisores y de algunas hormonas;
- d) participan en el transporte de moléculas;
- e) forman parte del sistema inmunológico ya que los anticuerpos son proteínas, etc.

La molécula de ADN contiene información que les permite fabricar proteínas. Ahora bien, ¿cómo es posible que la información contenida en un gen se manifieste por ejemplo en el color de los ojos, la forma de la nariz o el color de una flor? La respuesta a esta pregunta está en la síntesis de las proteínas.

En la producción de proteínas hay dos etapas:

Transcripción: se fabrican moléculas de ARN (ácido ribonucleico), entre ellas el ARN mensajero (ARNm) a partir de una hebra de ADN. El ARNm es una copia complementaria de ADN en la que la base nitrogenada Timina es reemplazada por otra llamada Uracilo.

Traducción o síntesis: la molécula de ARNm se traduce a una proteína (compuesta por la unión de diferentes aminoácidos) a partir de un código genético. Se denomina traducción porque se pasa de un lenguaje de nucleótidos a otro de

aminoácidos. El código genético consiste en un sistema de tres nucleótidos consecutivos que especifica el orden de los aminoácidos en una proteína.

El ARNm formado sale del núcleo de la célula y se dirige al citoplasma donde se lleva a cabo la traducción. Allí el ARNm se coloca dentro de una estructura llamada ribosoma donde se realiza la síntesis de las proteínas.

Durante la traducción el ribosoma “lee” de a tres nucleótidos (3 nucleótidos = 1 codón) y el ARN de transferencia (ARNt) coloca el aminoácido correspondiente, de acuerdo con el código genético.

Teniendo en cuenta esta información, ¿cómo se relacionan entonces los alelos con las proteínas?

Cariotipo

El cariotipo es una representación gráfica de todos los cromosomas de una célula, es decir los cromosomas sexuales y los restantes llamados autosómicos. Todos estos se fotografían y se ordenan por pares homólogos según su morfología y tamaño. El cariotipo es característico de cada especie, al igual que el número de cromosomas. Por lo tanto el cariotipo permite diferenciar una especie de otra.

También permite determinar el sexo de un individuo ya que, por ejemplo, en el caso del ser humano, las gametas femeninas tienen 22 cromosomas autosómicos y un cromosoma sexual **X** y las gametas masculinas tienen 22 cromosomas autosómicos y uno sexual que puede ser **X** o **Y**. Si se une un ovocito (22 + X) con un espermatozoide (22 + X) el individuo será mujer y su cariotipo será 44 + XX. Si en cambio se une con un espermatozoide (22 + Y) será hombre y su cariotipo será 44 + XY.

Muchas veces, en los cromosomas ocurren cambios que, según afecten su número o estructura, se clasifican como alteraciones cromosómicas numéricas o alteraciones cromosómicas estructurales, respectivamente. A veces, estas alteraciones tienen consecuencias perjudiciales para los individuos, ya que modifican su viabilidad o su fertilidad. Otras veces, sin embargo, los cambios cromosómicos se mantienen como parte de la variabilidad genética entre los organismos y contribuyen al cambio evolutivo y al origen de nuevas especies.

Mediante el estudio del cariotipo es posible detectar anomalías en el número y la forma de los cromosomas. La mayoría de estas anomalías provoca deficiencias y muchos individuos no llegan a nacer o mueren en los primeros meses de vida. La determinación del cariotipo del feto permite detectar, antes del nacimiento, algunas de estas deficiencias.

Una de las enfermedades que se puede detectar por un cariotipo es el síndrome de Down, que se produce como resultado de anomalías en la formación de las gametas masculinas o femeninas, por las cuales se genera un individuo con una trisomía en el cromosoma número 21, es decir con tres copias de ese cromosoma.

Otras anomalías cromosómicas en los seres humanos son:

- » Síndrome de Turner, donde solo hay un cromosoma X (45 X 0).
- » Síndrome de Klinefelter, se da en los hombres y se lo conoce como 47 XXY.
- » Síndrome de Edwards, con trisomía del cromosoma 18.
- » Síndrome de Patau, con trisomía del cromosoma 13.
- » También se detectó la existencia de la trisomía en los cromosomas 8, 9 y 16, aunque por lo general en estos casos no se registra sobrevivencia después del nacimiento.

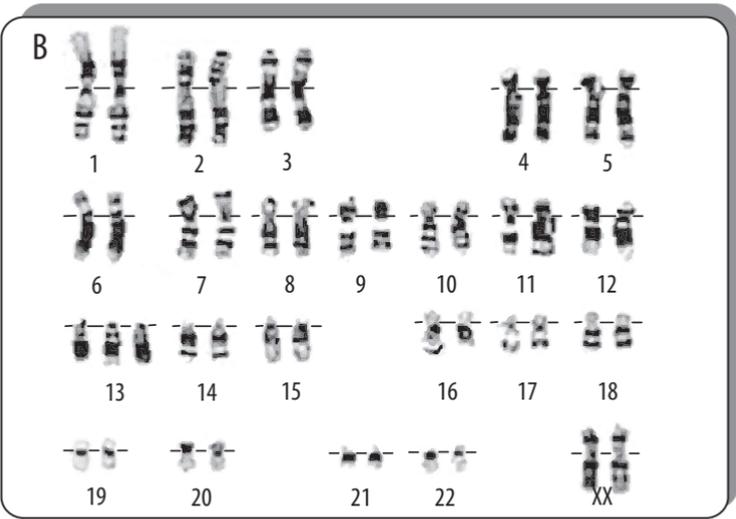
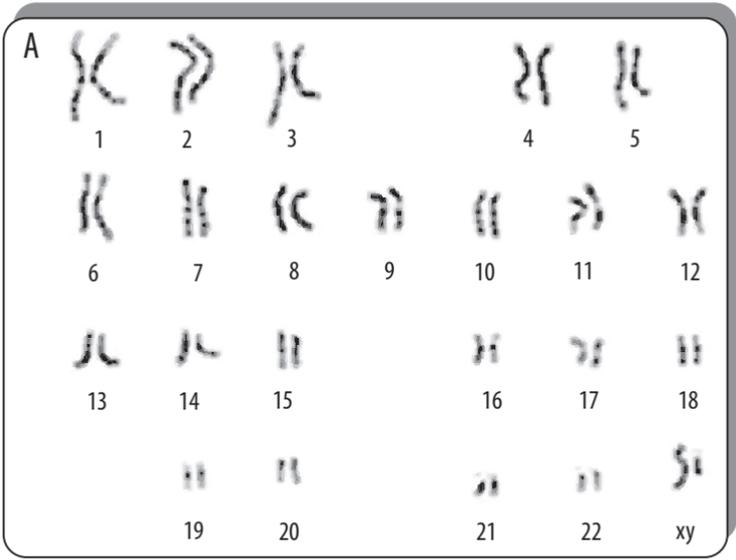


Figura 1.9. Cariotipo estándar de un hombre (A). Cualquier variación de este cariotipo puede llevar a anomalías en el desarrollo. (B) Cariotipo de una mujer con trisomía en el cromosoma 13, en este caso causa el síndrome de Patau (Curtis y Burnes, 2000).

La cognición en los niños con síndrome de Down

En las personas con síndrome de Down hay que tener en cuenta que la trisomía persiste a lo largo de toda la vida.

Es posible mejorar las funciones más accesibles o directas del cerebro pero no se puede conseguir el pleno restablecimiento de todas las áreas y funciones cerebrales que, en mayor o menor grado, se ven afectadas por la trisomía. El problema es mayor cuando se trata de áreas de integración, es decir, de aquellas áreas que no reciben directa y primariamente los estímulos sensoriales, sino que integran o asocian la información de otras áreas del cerebro.

El fenotipo de comportamiento es un patrón característico de observaciones motoras, cognitivas, lingüísticas y sociales, que se asocia a un trastorno biológico como, en este caso, el síndrome de Down. El hecho de que se defina como un patrón característico implica que se va a establecer un conjunto de comportamientos que conforman diferentes aspectos de un síndrome.

Conociendo estas limitaciones debemos darle mucha importancia a la estimulación temprana a través de los padres. Cuanto más sensibles sean los padres en la interacción con sus hijos, más los incentivarán a utilizar herramientas fundamentales en los aspectos cognitivos. Esta estimulación precoz le va a permitir al niño vivir unas experiencias enriquecedoras y ser protagonista constantemente de nuevos aprendizajes.

Estas experiencias constituyen una serie de procesos de desarrollo que los niños utilizarán para aprender habilidades y competencias en tres áreas del desarrollo: cognición, comunicación y funcionamiento socio-emocional.

También es importante comprender que si bien muchas personas con una discapacidad intelectual de causa genética muestran los comportamientos de ese síndrome, es raro

que manifiesten todos ellos; como tampoco todos quienes los manifiesten lo hacen en el mismo grado o nivel de compromiso, o incluso en el mismo momento de su desarrollo.

El currículum escolar debería organizarse en torno a la idea de que los padres favorezcan más el desarrollo de los niños estimulando comportamientos de desarrollo fundamentales y no enseñando directamente habilidades y conceptos que constituyen complejos niveles de escolarización. Estos comportamientos que los padres estimulan deben permitir al niño implicarse en las situaciones que le presentan el ambiente, la estimulación de la atención, el afecto, la persistencia y la cooperación.

Enfermedades genéticas

Una enfermedad es genética si se produce una alteración en el genoma (constitución genética de un organismo). La misma puede ser hereditaria o no. Si es hereditaria significa que el gen alterado está presente en las gametas, es decir en los ovocitos o espermatozoides, y la misma pasará de generación en generación. Si el gen alterado se encuentra en las células somáticas esa alteración no es heredada.

Una de las posibles causas de una enfermedad genética puede ser una mutación, es decir cambios en la secuencia o en el número de nucleótidos en la molécula de ADN de una célula o de un organismo. Existen diferentes tipos de mutaciones, que pueden ocasionar alteraciones en la secuencia de aminoácidos de una proteína y, por lo tanto, provocan que la misma deje de cumplir su función.

Las enfermedades genéticas pueden clasificarse en:

- » Enfermedad autosómica recesiva. Para que la enfermedad se manifieste, se necesitan dos alelos del gen mu-

tado en el genoma de la persona afectada (**aa**), cuyos padres normalmente no padecen la enfermedad, pero portan cada uno un alelo del gen mutado (**Aa**), por lo que pueden transmitirlo a la descendencia. Esta transmisión se produce por los cromosomas no sexuales (autosomas).

- » Enfermedad autosómica dominante. Solo se necesita un alelo mutado del gen para que la persona esté afectada por una enfermedad de este tipo.
- » Enfermedad ligada al cromosoma X. El gen mutado se localiza en el cromosoma X.

Estas enfermedades pueden transmitirse a su vez de forma dominante o recesiva. A continuación se describen algunos ejemplos de enfermedades autosómicas y ligadas al sexo.

Enfermedades autosómicas

Galactosemia

Es una enfermedad hereditaria autosómica recesiva caracterizada por la incapacidad de metabolizar la galactosa en glucosa. La galactosa es una molécula que se obtiene principalmente de la ruptura de la molécula de lactosa, presente en la leche, aunque también puede estar presente en otros alimentos. La galactosa se absorbe en el intestino y principalmente en el hígado se transforma en glucosa.

La imposibilidad de metabolizar la galactosa provoca una acumulación de esta molécula dentro del organismo y produce lesiones en el hígado (como cirrosis), retraso mental, en el crecimiento y desarrollo del lenguaje, y problemas motrices.

El tratamiento consiste en eliminar la administración de galactosa de la dieta y reemplazar la leche por otro producto que contengan proteínas a base de soja.

Si ambos padres son heterocigotas (Gg) para este gen, las posibles gametas que formarán serán G y g.

Como la enfermedad es recesiva solo se manifiesta cuando el genotipo es homocigota recesivo es decir gg, por lo tanto en este ejemplo existe la probabilidad en un 25% de que uno de sus hijos tenga galactosemia, en un 25% de que tengan hijos sanos (homocigotas dominantes) y en un 50% de que los hijos sean portadores asintomáticos (heterocigotas) al igual que los padres. En este caso el ambiente juega un rol fundamental ya que si se detecta a tiempo la enfermedad y se evita la toma de leche materna, el niño no sufrirá las lesiones que genera esta patología.

¿Por qué un individuo heterocigota para ese gen no manifiesta los síntomas de la enfermedad a pesar de tener uno de sus alelos alterado? La presencia del alelo dominante permite sintetizar la enzima que metaboliza la galactosa y esto evita tener los síntomas de la enfermedad aunque ese gen tenga el otro alelo en condición recesiva.

		Gametas masculinas	
		G	g
Gametas femeninas	G	GG	Gg
	g	gG	gg

Figura 1.10. Cuadro de Punnett para la enfermedad galactosemia de progenitores heterocigotas que permite calcular las proporciones de descendientes en la primera generación y es útil para considerar las diferentes combinaciones posibles de gametas.

Fenilcetonuria

La fenilcetonuria es una enfermedad autosómica recesiva en la cual el aminoácido fenilalanina no puede ser metabolizado en el aminoácido tirosina. Esto se debe a que los fenilceto-

núricos no tienen la enzima fenilalanina hidroxilasa, responsable de esta conversión. Como consecuencia, la fenilalanina sigue otra vía metabólica cuyos productos finales son tóxicos, afectan al sistema nervioso, alteran el desarrollo de las funciones neuronales y provocan retraso mental severo. Actualmente la detección precoz de la enfermedad se realiza mediante un análisis de sangre en los bebés al momento de nacer. El tratamiento consiste en seguir una dieta baja en fenilalanina, la cual mayoritariamente está presente en la leche. En este caso el ambiente también juega un rol fundamental.

Si ambos padres son portadores de la enfermedad, es decir heterocigotas para el gen (**F**), tienen un 25% de probabilidades de tener hijos sanos (**FF**), un 25% de tener hijos con fenilcetonuria (**ff**) y un 50% de tener hijos portadores (**Ff**).

		Gametas masculinas	
		F	f
Gametas femeninas	F	FF	Ff
	f	fF	ff

Figura 1.11. Cuadro de Punnett para la enfermedad fenilcetonuria. F representa al alelo dominante y f al recesivo.

Enfermedades ligadas al sexo

Daltonismo

El daltonismo es una enfermedad genética recesiva ligada al cromosoma X que ocasiona dificultad para distinguir los colores. Existen diferentes grados de esta enfermedad que varían desde la falta de capacidad para discernir cualquier color hasta un ligero grado de dificultad para distinguir algunos matices de rojo y verde.

Si un hombre hereda un cromosoma X con esta deficiencia será daltónico. En cambio en el caso de las mujeres, que poseen dos cromosomas X, solo serán daltónicas si sus dos cromosomas X tienen la deficiencia. Por ello el daltonismo afecta aproximadamente al 8% de los hombres y solo al 0,5% de las mujeres.

Si tomamos el caso de una cruce entre una mujer portadora de la enfermedad con un hombre daltónico, existe un 25% de probabilidad de que tengan una hija portadora sana, un 25% de que sea un varón sano, un 25% de que sea una mujer daltónica y un 25% de que sea un varón daltónico.

Los chicos con daltonismo pueden presentar dificultades a nivel escolar, por ejemplo cuando la maestra plantea la consigna de colorear un dibujo con determinados colores o cuando tienen que escribir información del pizarrón y el mismo es de color verde.

		Gametas Femeninas		
		X_D	X_d	
Gametas masculinas	X_d	$X_D X_d$	$X_d X_d$	$X_D Y$: hombre sano
	Y	$X_D Y$	$X_d Y$	$X_d Y$: hombre enfermo

Figura 1.12. Cuadro de Punnett para el daltonismo. El subíndice que dice “D” representa al alelo dominante sano y “d” al recesivo.

Adrenoleucodistrofia

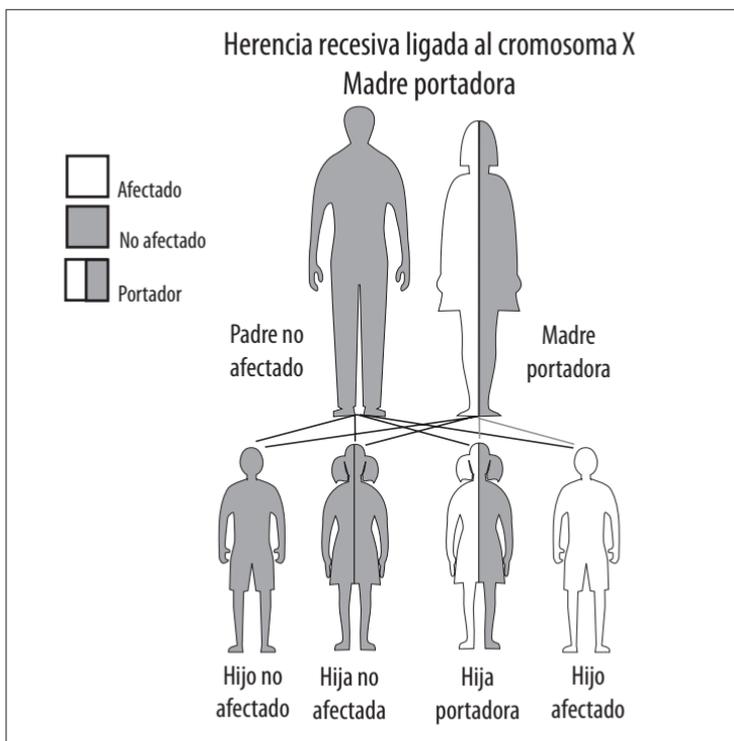
La adrenoleucodistrofia (ALD) es una enfermedad hereditaria incluida en el grupo de las leucodistrofias. Produce una desmielinización intensa y la muerte prematura de niños ya que provoca una neuropatía motora y sensorial. Estos efectos se producen por la presencia en la sangre de altas concentraciones de ácidos grasos de gran tamaño que generan insuficiencia suprarrenal.

Existen diferentes tipos de adrenoleucodistrofia, en función de la edad en que se manifieste la enfermedad:

- » *Adrenoleucodistrofia neonatal*. Esta forma se hereda de manera autosómica recesiva y comienza típicamente durante los primeros meses de la vida o período neonatal. Los lactantes comienzan con deterioro neurológico y presentan o desarrollan signos de disfunción de la corteza suprarrenal. Casi todos los pacientes sufren retraso mental y fallecen antes de los 5 años de edad.
- » *Adrenoleucodistrofia infantil*. Se hereda como un rasgo genético ligado al cromosoma X, también se la conoce como enfermedad de Schilder. Los síntomas de esta enfermedad comienzan en la infancia o en la adolescencia y en este caso el cuadro neurológico degenerativo evoluciona hasta una demencia grave, con deterioro de la visión, la audición, el habla y la marcha, falleciendo precozmente.

Uno de los tratamientos que en la actualidad tiene mayor éxito es el llamado “aceite de Lorenzo”. El mismo consiste en una mezcla de diferentes aceites, entre ellos ácidos oleico y erúxico, los cuales reducen los niveles de ácidos grasos de cadena muy larga causantes de esta patología. Esta mezcla de aceites fue desarrollada tras una larga búsqueda por Augusto y Micaela Odone, después de que a su hijo Lorenzo, en 1984, se le diagnosticó esta enfermedad infrecuente, cuando tenía 5 años.

Si analizáramos la cruce entre una mujer portadora de la enfermedad y un hombre no afectado, existe un 25% de probabilidades de que nazca una hija e hijo no afectados, un 25% de que sea un hijo afectado y un 25% de que se trate de una hija portadora.



		Gametas Femeninas		
		X_A	X_a	
Gametas masculinas	X_A	$X_A X_A$	$X_A X_a$	$X_A Y$: hombre sano
	Y	$X_A Y$	$X_a Y$	$X_a Y$: hombre enfermo

Figura 1.13. Modelo de herencia de un carácter recesivo ligado al sexo, como la ALD (Fuente: www.wikipedia.org).

Proyecto genoma humano

El genoma es la totalidad de la información genética que posee un organismo. Cada uno de los genes que componen el genoma contiene codificada la información neces-

ria para la síntesis de una o varias proteínas. El genoma de cualquier persona (a excepción de los gemelos idénticos y los organismos clonados) es único.

El Proyecto Genoma Humano (PGH) fue un proyecto internacional de investigación científica surgido con el objetivo fundamental de determinar la secuencia de pares de bases que componen la molécula de ADN e identificar los aproximadamente 30.000/40.000 genes del genoma humano desde un punto de vista físico y funcional.

El genoma humano fue presentado de manera completa en 2003. Conocer la secuencia total del genoma humano puede tener mucha relevancia en cuanto a los estudios de biomedicina y genética clínica, desarrollando el conocimiento de enfermedades poco estudiadas, nuevas medicinas y diagnósticos más fiables y rápidos. Sin embargo, descubrir toda la secuencia génica de un organismo no permite conocer su fenotipo. Como consecuencia, la ciencia de la genómica no podría hacerse cargo en la actualidad de todos los problemas éticos y sociales que ya están empezando a ser debatidos. Desde el principio de la investigación, se propuso desarrollar el PGH a través de dos vías independientes, pero relacionadas y ambas esenciales:

- » *Secuenciación*: se trataba de averiguar la posición de todos los nucleótidos del genoma (cada una de las cuatro posibles bases nitrogenadas típicas del ADN).
- » *Cartografía o mapeo genético*: consistía en localizar los genes en cada uno de los 23 pares de cromosomas del ser humano.

A través de Internet podemos conocer libremente aspectos de alto interés en la comparación entre genomas de distintas especies de animales y plantas. Gracias al uso libre de este conocimiento es posible determinar la función de los

genes, así como averiguar cómo influyen las mutaciones en la síntesis de proteínas.

El trabajo sobre la interpretación de los datos del genoma se encuentra todavía en sus etapas iniciales. Se espera que un conocimiento detallado del genoma humano ofrezca nuevas vías para los avances de la medicina y la biotecnología. Por ejemplo, algunas empresas han empezado a ofrecer formas sencillas de administrar pruebas genéticas que pueden mostrar la predisposición a una variedad de enfermedades, incluyendo cáncer de mama, fibrosis quística, enfermedades hepáticas, entre otras. Además, la etiología de los cánceres, la enfermedad de Alzheimer y otras áreas de interés clínico se considera susceptible de ser beneficiada por la información sobre el genoma y, posiblemente, pueda a largo plazo conducir a avances significativos en el desarrollo de curas para esas enfermedades.

Si el genoma del hombre y del chimpancé presentan un 98% de similitud, ¿por qué somos tan diferentes?

La hominización es el proceso evolutivo que describe el desarrollo de la especie humana, diferenciándose del resto de los animales. En los últimos años hubo avances respecto al origen evolutivo de la especie humana teniendo en cuenta el registro fósil. El humano actual pertenece al Orden *Primates*, Suborden *Anthropoidea*, Superfamilia *Hominoidea*, Familia *Hominidae*, Género *Homo*, Especie *Sapiens*. Dentro de la misma familia se incluyen humanos, gorilas, chimpancés, bonobos y orangutanes. Se denomina homínido al grupo de animales que presenta características anatómicas similares a las del *Homo sapiens*.

Hace 2,5 millones de años apareció en África un homínido con un cerebro mayor al de sus antecesores, denominado *Homo habilis*. Este dio lugar al *Homo erectus*, una especie clave en la evolución humana con características esqueléticas similares a los humanos modernos. Posteriormente apareció el

Homo sapiens en África y rápidamente colonizó Europa y Asia.

En la actualidad existen dos hipótesis sobre el origen evolutivo de la especie humana. La primera es la de la evolución multiregional que sostiene la existencia de tres líneas filogenéticas (*Homo erectus*: población mongoloide-amarilla, *Homo neanderthalensis*: población blanca y población negroides) que han tenido intercambios genéticos entre sí manteniendo la unicidad de la especie. La segunda hipótesis, llamada del origen común africano, sostiene que las diversas poblaciones africanas, europeas y asiáticas evolucionaron separadamente a partir de un ancestro común.

La gran diferencia entre la especie humana y el resto de los animales radica en el desarrollo del cerebro. Los homínidos interaccionaron con el medio a través de diferentes comportamientos relacionados con la alimentación, la locomoción y la reproducción. Esta interacción con el ambiente condujo a la selección de diferentes estrategias que favorecieron la diversificación biológica de los homínidos, dando lugar a distintas características corporales y cerebrales que influyeron en las habilidades manuales, el lenguaje y la organización social.

Estas variedades anatómicas seleccionadas por el ambiente favorecieron el pasaje desde el cuadrupedismo al bipedismo. La presencia del bipedismo permitió mantener las manos libres facilitando el cuidado de las crías, la recolección de alimentos, la fabricación de herramientas y la comunicación gestual.

Los cambios que se produjeron desde la hominización hasta la humanización radican en el proceso de encefalización. La evolución del sistema nervioso permitió el desarrollo de un cerebro grande, con especialización hemisférica y diferenciación de lóbulos. Esta evolución se produjo con cambios en sus partes más que en el encéfalo entero. Existen algunas hipótesis que tratan de explicar la evolución cerebral:

- » *Hipótesis genética*: los genes que controlan el tamaño y la complejidad del cerebro han experimentado una evolución mucho más rápida en los humanos que en los primates no humanos u otros mamíferos. Esta teoría surge de examinar la tasa de cambio de los genes que están involucrados en diversos aspectos de la biología del sistema nervioso. Se asocia el aumento del tamaño cerebral a una mayor complejidad del mismo.
- » *Hipótesis ecológica*: el cerebro del primate cambió a partir de procesar información de relevancia ecológica y, en especial, de adquirir alimento y dicha necesidad ejerció una presión selectiva sobre el desarrollo cerebral.
- » *Hipótesis social*: el tamaño cerebral cambió en función del tamaño del grupo social en correspondencia con la memoria permitiendo interactuar y facilitando el manejo de relaciones.

La culminación del proceso de hominización y el inicio de la humanización se produjeron a partir de la existencia en el *Homo sapiens* del lenguaje, el pensamiento simbólico y la conciencia de su propia existencia.

Genética y Derechos Humanos

La posibilidad de estudiar la composición del ADN abrió la puerta al estudio y conocimiento del genoma humano, esto es, de la secuencia ordenada de bases que conforman entre treinta y cuarenta mil genes, que componen el genoma y que contienen el manual de instrucciones del funcionamiento biológico de cada ser humano. El conocimiento sobre el genoma humano y el estudio de sus variaciones y efectos (genómica) impacta en el campo de la Medicina, la Farmacología, la investigación criminal, la producción

agropecuaria y hasta en el propio planeamiento del desarrollo y la economía, ya que gracias al conocimiento del desarrollo del genoma humano se puede trabajar en él modificándolo, produciendo condiciones mejores en los individuos, sean estos plantas, animales o seres humanos. Por ejemplo, la modificación genética en vegetales permite evitar que estos sean afectados por las plagas, para que tengan una mayor duración sin descomponerse; en los animales logra que produzcan más carne o leche; y en la medicina sirve para evitar la presencia de enfermedades u obtener un mejor tratamiento para ellas.

El proyecto del genoma humano constituye un aporte fundamental de la ciencia puesta al servicio del hombre, lo que muestra el lado positivo de estos avances; pero, junto a estos logros, se presenta la sombra de los efectos negativos referidos a las implicancias éticas, jurídicas y sociales que genera.

El conocimiento profundo de las bases moleculares de la herencia arrastra toda una serie de cuestiones que pueden afectar derechos fundamentales del individuo o crearle graves inconvenientes en la vida de relación: la discriminación fundada en razones genéticas, el manejo distorsionado de la información genética, los desvíos en la investigación sobre el genoma humano, la apropiación del material genético y su utilización comercial, etc.

La Bioética surgió como disciplina dedicada al estudio de los problemas y dilemas éticos originados por los avances de las ciencias realizando una profunda reflexión humanista sobre las consecuencias de orden social, ético y moral que pueden presentar los descubrimientos biomédicos. La naturaleza, relevancia y dimensión de los problemas que trae a diario la investigación en las ciencias crean la necesidad de un debate permanente que compromete a la sociedad en su conjunto.

En el campo jurídico fue necesario completar nuestras leyes con normas específicas que regularan distintas aplicaciones del conocimiento sobre el genoma humano, como ser: el uso de la huella genética, tanto en el ámbito del Derecho Penal como en la investigación de la paternidad; la investigación en seres humanos; el transplante de órganos; la reproducción asistida; la manipulación de las células madre; los contratos de seguros y la regulación de la seguridad social; el registro de patentes y la regulación de la propiedad intelectual; y, por supuesto, la protección de la información de carácter personal y privado.

Los derechos humanos tienen como función proteger la dignidad de las personas en su vida social y garantizar su desarrollo en condiciones acordes con esa dignidad; por lo que frente a nuevos peligros, los derechos humanos deben expandirse e incluso deben desarrollarse derechos nuevos. La Convención Europea para la Protección de los Derechos Humanos y de la Dignidad del Ser Humano frente a las aplicaciones de la Biología y de la Medicina, y la Declaración Universal de la Unesco sobre los Derechos del Hombre y el Genoma Humano constituyen dos sólidos soportes normativos de esta novedosa rama jurídica.

En la actualidad el conocimiento del genoma muchas veces origina graves actos de discriminación laboral o limita incluso el derecho a contratar un seguro médico. Por su especificidad, la información genética puede ser utilizada en contra de las propias personas, si no se regula su uso; por ejemplo en las pruebas de filiación. Hoy en día ya es común que para acreditar la paternidad o la filiación ante los tribunales, se solicite la prueba del ADN. Si no se regula su uso, por ejemplo, tal información puede dar pie a la desprotección de los menores frente a la obligación de sus padres o a generar situaciones en que se vulnere su dignidad y el trato que en consecuencia debe recibir.

De la misma forma, el uso de esta información en el ámbito laboral puede ser fuente de prácticas discriminatorias, en virtud de la salud económica de la empresa, cuando se le pida a una persona la prueba genética antes de darle un trabajo o, peor aún, cuando a una persona ya contratada se le exija dicha prueba para conocer su rendimiento futuro. Situaciones como estas hacen necesaria la promulgación de normas en las que se atienda esa nueva realidad, se regule el uso de la información médica y se impida que la información genética personal pueda usarse en perjuicio de cualquier persona.

La intimidad y la privacidad son en la actualidad dos temas particularmente importantes en el estudio de la genética. ¿Por qué?: porque la información de las condiciones de salud de las personas pertenece al ámbito de su privacidad, tanto por la propia naturaleza de la información, como por la situación de vulnerabilidad en que el mal uso de ella puede colocar a los individuos. Para evitar estos efectos negativos en el avance de la genómica la legislación debe asegurar en forma explícita:

- » El derecho a la autodeterminación del sujeto traducido en el consentimiento libre e informado para todos los actos que se refieran a la obtención, circulación, desvelamiento y conservación de la información genética.
- » El derecho a conocer y a estar informado respecto de la información genética obtenida en análisis o tests genéticos.
- » El derecho a no conocer tal información, ya que el conocimiento del posible problema de salud puede determinar graves situaciones de angustia, enfermedades psíquicas o psicosomáticas.
- » El derecho al control sobre el uso que pueda realizarse de la información depositada en bases de datos.

El Banco Nacional de Datos Genéticos es un organismo autónomo dentro de la órbita del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Argentina, que funciona en el Servicio de Inmunología del Hospital Carlos G. Durand. Fue creado en 1987 y modificado en 2009 para garantizar la obtención, almacenamiento y análisis de la información genética que sea necesaria como prueba para el esclarecimiento de delitos de lesa humanidad cuya ejecución se haya iniciado en el ámbito del Estado Nacional hasta el 10 de diciembre de 1983. Permite la búsqueda e identificación de hijos/as de personas desaparecidas, que hubiesen sido secuestrados junto a sus padres o hubiesen nacido durante el cautiverio de sus madres. También ayuda a la Justicia y a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales especializadas en la identificación genética de los restos de personas, víctimas de desaparición forzada.

Todos los servicios prestados son gratuitos y cualquier familiar directo de personas desaparecidas o presuntamente nacidas en cautiverio tiene derecho a solicitar y a obtener los servicios del Banco Nacional de Datos Genéticos. Este organismo no proporciona información a particulares sobre los datos registrados, ni tampoco a entidades públicas o privadas. La información genética almacenada solo puede ser suministrada por requerimiento judicial, a los fines exclusivos de respaldar las conclusiones de los dictámenes periciales elaborados por el Poder Judicial y posibilitar su control por los peritos de parte.

Quienes presumen ser hijos o hijas de personas desaparecidas o nacidas durante el cautiverio de sus madres tienen acceso exclusivo a los informes, dictámenes y resultados de pruebas genéticas que los involucren directamente.

El progreso genético abre nuevas perspectivas en materia de retroceso de las enfermedades, pero crea dos riesgos aparentemente contradictorios: por un lado los de diferenciación y discriminación, con una exigencia de igualdad y,

por otro, los riesgos de uniformidad y de eliminación de la diversidad, lo que hace nacer un derecho a la diversidad. El avance de la ciencia en este campo no puede ni debe ser detenido pero sí se deben perfeccionar los mecanismos sociales llamados a eliminar la discriminación por razones genéticas y a generar lazos más estrechos de solidaridad entre los individuos y los pueblos.

Bibliografía

- Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. y Watson, J. 1996. *Biología molecular de la célula*. Barcelona, Ediciones Omega.
- Bergel, S. 2002. "Los derechos humanos: entre la bioética y la genética", *Acta bioethica* 8, p. 2.
- Berger, J.; Pujol, A.; Aubourg, P. y Forss-Petter, S. 2010. "Current and future pharmacological treatment strategies in X-linked adrenoleukodystrophy", *Brain Pathology* 4, pp. 845-856.
- Candel, I. 1998. "Atención temprana. Aspectos teóricos y delimitaciones conceptuales", *Revista de Atención Temprana* 1, pp. 9-15.
- Cervino, C. 2011. *Neurofisiología: principios anatómicos y funcionales del sistema nervioso*. Buenos Aires, Praia.
- Curtis, H. y Barnes, S. 2000. *Biología*. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- Fernades, J. 2006. *Inborn Metabolic Diseases. Diagnosis and Treatment*. 4° ed. EE.UU., Springer.
- Ferrer, I.; Aubourg, P. y Pujol, A. 2010. "General aspects and neuropathology of X-linked adrenoleukodystrophy", *Brain Pathology* 4, pp. 817-830.
- GAT. 2000. *Libro Blanco de la Atención Temprana*. Madrid, Real Patronato de Atención a personas con discapacidad.
- Hunt, D.; Dulai, K.; Bowmarker, J. y Mollon, J. 1995. "The chemistry of Jhon Dalton Color Blindnes", *Science* 267, pp. 984-988.

Moreno, B. 1997. *Diagnóstico y tratamiento de enfermedades metabólicas*. Buenos Aires, Díaz de Santos.

Pérez-López, J. 2004. "Modelos explicativos del desarrollo aplicados a la atención temprana", en Pérez-López, J. y Brito, A. (coords.). *Manual de atención temprana*. Madrid, Pirámide, pp. 37-44.

Strachan, T. y Read, A. 2002. *Genética molecular humana*. Madrid, Ediciones Omega.

Stryer, L. 2003. *Bioquímica*. Madrid, Reverte.

Suzuki, D.; Griffith, A.; Miller, J. y Lewontin, R. 1989. *Introducción al análisis genético*. México, Interamericana.

CAPÍTULO 2

Comportamiento animal

Florencia Bulit

Una visión histórica

El comportamiento animal puede definirse como el conjunto de respuestas motoras que realiza un organismo frente a estímulos tanto externos como internos, tales como el estado hormonal o el desarrollo fisiológico de un individuo, como la interacción con el ambiente u otros individuos.

A pesar de que la rama de la ciencia que estudia el comportamiento animal (etología) ya cuenta con una fuerte aceptación en el ámbito científico internacional, sus orígenes fueron inciertos desencadenando un profundo debate. Una forma de ejemplificar dicho debate consiste en evaluar la siguiente situación: un perro domesticado responde de forma diferencial a los dueños de casa y a una persona desconocida. Una rápida evaluación sería concluir que el animal es capaz de aprender a relacionarse con los dueños de casa, pero, sin embargo, mantiene una respuesta defensiva frente a otros humanos. Entonces, ¿es el comportamiento defensivo una respuesta



aprendida o también contiene un componente instintivo de temor frente a lo desconocido? A lo largo del siglo XX este debate fue el centro de atención de los investigadores dedicados al estudio del comportamiento animal.

En 1973, Frish, Lorenz y Tinbergen (tres zoólogos europeos) recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus estudios en comportamiento animal. El principal objetivo de este grupo de científicos fue estudiar las bases instintivas del comportamiento, centrándose en el estudio de los individuos en su medio natural. Trabajaron con un diverso número de especies diferentes y describieron sus pautas comportamentales en el ambiente.

Entendían el comportamiento como un fenómeno producto del instinto de los animales, es decir como un patrón complejo y estereotipado de actividad fija que es común a una especie, heredado y que no necesita ser aprendido.

En contraposición, otro grupo de investigadores estadounidenses, los psicólogos comparativos, entendían el comportamiento como el resultado del aprendizaje. Estudiaban un número reducido de especies (principalmente aves y ratas), en ambientes controlados de laboratorio, para entender las bases generales del comportamiento con el ob-



Figura 2.1. A) Vista de un mono en cautiverio durante un ensayo de laboratorio en el cual tiene que mover un *joystick*; **B)** Un mono en libertad a partir del cual se estudia su dieta y alimentación en su medio natural (Wasserman y Zendall, 2006).

jetivo último de traspolar dichos conocimientos al comportamiento humano.

Con el paso de los años, ambas disciplinas entendieron las limitaciones propias y la necesidad de ampliar sus teorías. Actualmente, el resultado de dicho debate es la base de la Etología contemporánea, la cual entiende el comportamiento de los animales como el resultado de la interacción entre el instinto, la genética y el aprendizaje. Los animales son capaces de aprender, pero las características propias de cada especie, fruto del proceso de evolución, marcan limitaciones o restricciones en su aprendizaje.

La bipedestación de los humanos es un claro ejemplo de la interacción entre la genética y el aprendizaje: para caminar es fundamental el aprendizaje que realizan los niños en la infancia pero esto solo no es capaz de explicar dicho comportamiento, es necesario tener la estructura corporal que soporta dicha postura, nos referimos a los huesos y músculos que nos permiten estar de pie.

En contraposición, la succión de los bebés recién nacidos es un comportamiento totalmente instintivo que no requiere de un aprendizaje, aunque sí es cierto que con el paso de los meses, los bebés mejoran su capacidad de succión.

Bajo la mirada de un observador casual los comportamientos de un pez y un ave pueden resultar muy similares o, por el contrario, el comportamiento de dos conejos parecer totalmente variable aún perteneciendo a la misma especie. O hasta el hecho de describir el comportamiento de un mismo individuo puede parecer una meta difícil si se intenta encasillarlo en comportamientos particulares o bien definidos. Sin embargo, esto no es del todo cierto, y teniendo en cuenta algunos principios y metodologías, los etólogos demostraron que es posible describir ciertos patrones de comportamiento estereotipados propios de cada especie. Por ejemplo, a pesar de que diferentes perros marcan o de-

limitan su territorio en formas distintas, en diversos momentos o a diferentes intervalos, es posible afirmar que se trata de una especie territorial en la cual los individuos delimitan su territorio a través de la orina, compuesto que permite la identificación individual para otros representantes de la misma especie.

Este tipo de acercamiento fue formalmente postulado por Niko Tinbergen en su trabajo publicado en 1973, a través del cual marcó el camino a seguir por los futuros etólogos. El estudio del comportamiento de una especie debería hacerse evaluando cuatro componentes fundamentales: la causa, la función, el desarrollo y su evolución.

Causación. La mayoría de nosotros hemos tratado de atrapar un grillo cuando éramos niños descubriendo que, a medida que nos acercábamos, los grillos eran capaces de detectar el peligro y escapar muy eficientemente. Para estudiar la causación de este tipo de comportamiento, el investigador debe preguntarse cuáles son las causas, tanto internas como externas, que despiertan este tipo de respuesta en los grillos. A través de detalladas observaciones, tanto en campo como en condiciones de laboratorio, los investigadores concluyeron que la causa externa de este comportamiento es la aproximación de un posible predador (los sapos suelen ser uno de los principales). En cuanto al mecanismo interno, se encontró que los grillos poseen un gran número de pequeños capilares/vellos en la zona posterior de su cuerpo capaces de detectar muy pequeños movimientos de aire. Este mecanismo es tan sensible que les permite a los grillos detectar movimientos muy sigilosos realizados por los predadores segundos antes del ataque, conocer así la dirección y ubicación, saltar en dirección opuesta y escapar.

En términos generales, el estudio de las causas internas de un comportamiento es una profundización sobre los mecanismos fisiológicos o internos, tales como la motiva-

ción, mientras que las causas externas evalúan qué cambios en el ambiente desencadenaron un determinado comportamiento.

Función. Siguiendo con el mismo ejemplo, Tinbergen planteó que al momento de estudiar la función, los investigadores deberían evaluar qué ventaja les confiere a los grillos esa respuesta de escape; evaluar el por qué. En este ejemplo, la función es escapar de los predadores, es decir un comportamiento defensivo que aumenta la supervivencia de los individuos. Esperar hasta último momento e iniciar el escape cuando el sapo comienza a extender la lengua aumenta la eficiencia de esta respuesta de elusión. En nosotros, los humanos, podríamos preguntarnos cuál es la función de nuestros comportamientos reflejos, como sacar la mano del fuego o cubrirnos la cabeza al escuchar un fuerte estruendo. La respuesta es la protección del individuo, estos comportamientos nos protegen del ambiente y, de esta manera, aumentan la ventaja adaptativa.

Desarrollo. Otro punto fundamental en el estudio de un determinado comportamiento es el de cómo se produce o realiza ese determinado comportamiento a lo largo de la vida de un individuo. Evaluar si un comportamiento es instintivo o requiere una etapa de aprendizaje, si mejora con la experiencia y la práctica, si se produce solo en una determinada etapa de la vida del individuo (por ejemplo, ¿solo cuando llega a la madurez sexual?). Si la respuesta de los grillos mejora con la edad es un claro ejemplo del estudio del desarrollo de este comportamiento. Por ejemplo, el hecho de evaluar y estudiar cómo cambia nuestro lenguaje con la edad, es un caso de estudio del desarrollo.

Evolución. Se basa en el estudio evolutivo de determinado comportamiento, y la primera dificultad surge al entender que la mayoría de los comportamientos no dejan fósiles que nos permitan investigar cómo eran en el pasado. A modo de

ejemplo, la caza en grupo que practican las orcas, ¿siempre fue una actividad grupal?; las especies ancestrales hace miles de millones de años, ¿también cazaban en grupos? La herramienta más usada es la comparación entre especies actuales que estén emparentadas de las cuales se conoce el camino evolutivo. Al trabajar entonces con especies actuales es posible conocer las características o detalles de cierto comportamiento, nos permite entonces plantear un posible escenario evolutivo-comportamental que desembocó en los patrones observados en la actualidad.

De una forma sencilla es posible aplicar tres de estos pilares al comportamiento humano y, más en detalle, dentro de un contexto educacional (no se incluye en este caso el concepto de evolución del comportamiento).

Por ejemplo, en una sala de jardín o nivel inicial, los alumnos están realizando cierta consigna, hasta que uno de ellos comienza a llorar, y este comportamiento es reiterativo a lo largo de los días. Para evaluar este comportamiento siguiendo los pilares de la etología, uno debe preguntarse:

- » ¿Qué causa el llanto? ¿Es algún proceso interno? Entre ellos es posible mencionar: hambre, dolor físico, tristeza. O, por el contrario, ¿es algún fenómeno externo, como por ejemplo, la pelea o discusión con algún compañero?
- » ¿Cuál es la función del llanto? ¿Cuál es el sentido u objetivo del llanto?, ¿por qué el alumno está llorando? ¿Es para llamar la atención del docente, para lograr que el compañero se detenga?
- » ¿Cómo se desarrolló ese comportamiento? ¿El alumno mostró ese comportamiento desde el inicio de las clases? ¿O comenzó en un día determinado? Esto permite evaluar por ejemplo si hubo algún episodio o suceso que hubiera desencadenado esto.

Los procesos de aprendizaje

En términos muy generales, es posible decir que aquellos animales con un sistema nervioso menos desarrollado o más simple muestran en su mayoría comportamientos estereotipados, genéticos o instintivos, mientras que organismos con un sistema nervioso más desarrollado muestran además una amplia variedad de comportamientos más complejos o aprendidos. Es fundamental en este momento definir entonces el aprendizaje.



Podemos decir que es un proceso de cambio relativamente permanente en el tiempo en el comportamiento de un individuo, producto de una experiencia. Sin embargo, no es solo el origen de nuevas conductas, sino también la modificación de conductas más antiguas o la extinción de algunas, lo que ciertos autores definen también como parte de las adaptaciones de los seres vivos a las modificaciones ambientales que aumentan su supervivencia. Existen ciertas suposiciones o mitos alrededor del aprendizaje que no necesariamente son ciertos:

- » *El aprendizaje implica adquisición de nuevas conductas.* Sin embargo, en muchas ocasiones esto no es cierto, también se aprende a no realizar ciertas conductas (ej: la habituación, ver final del capítulo).
- » *El aprendizaje implica mejoría.* No necesariamente, muchos son los casos en los cuales el individuo aprende conductas negativas (ej. conductas agresivas).
- » *El aprendizaje es consciente y voluntario.* La negativa puede verse a través del siguiente ejemplo: en un primer contacto no intencional con un agente dañino (fuego) el individuo aprende los efectos negativos del mismo.

Durante el último siglo, el aprendizaje y numerosas teorías relacionadas han recibido una gran atención. A continuación se mencionan solo dos de estas teorías del aprendizaje que han sido ampliamente difundidas: la teoría conductista y la teoría cognitiva. La primera caracteriza el aprendizaje como una asociación o vinculación de estímulos y respuestas, es decir que el aprendizaje es un cambio en el comportamiento en función de los cambios del entorno; dentro de este grupo se encuentran el condicionamiento clásico y el condicionamiento operante.

En contraposición, el cognitivismo describe la adquisición del conocimiento como una actividad mental que implica una codificación interna, es decir que el aprendizaje no es solo el resultado de estímulos externos y respuestas. En este escenario lo más importante es lo que se produce en el interior de una persona, es decir de los procesos cognitivos, es por esto que frente a un mismo estímulo no todas las personas responden de igual forma.

En los animales han sido ampliamente estudiados ambos tipos de condicionamiento, los cuales se detallan a continuación. Un condicionamiento es el resultado de la asociación de diferentes estímulos.

Condicionamiento clásico

A principios del siglo XX, Ivan Pavlov (fisiólogo ruso) realizó los primeros estudios experimentales que permitieron demostrar el aprendizaje a través del condicionamiento clásico, centrados en la capacidad de los organismos de asociar dos estímulos diferentes. Esta clase de aprendizaje se basó en la llamada ley de contigüidad de Aristóteles: “cuando dos cosas suelen ocurrir juntas, la aparición de una traerá la otra a la mente”. Durante el período de aprendizaje se le presentan al individuo dos estímulos: uno incondicionado (E.I.) y uno

condicionado (E.C.) o neutro, y se observa una determinada respuesta. Luego de varias sesiones de entrenamiento, al presentar solo el estímulo condicionado o neutro (es decir aquel que antes del condicionamiento no desencadenaba la respuesta), se produce la respuesta. El experimento de Pavlov es el siguiente:



Esquema 2.2. Condicionamiento clásico de Pavlov, se muestra el estímulo incondicionado (el plato de alimento), el estímulo condicionado (la campana) y la respuesta (salivación); antes, durante y después del aprendizaje.

- » *Fase de entrenamiento o condicionamiento:* se le presenta a un perro un plato de comida y en simultáneo el sonido de un timbre e inmediatamente se observa la respuesta del animal, es decir la salivación. Se repite este entrenamiento un número limitado de veces.
- » *Fase de testeo:* se expone al mismo individuo al sonido del timbre (esta vez sin mostrar el plato de comida) y también se observa la respuesta de salivación.

Como resultado se logra la asociación de los dos estímulos, el plato de comida (E.I.) el cual sí desencadena la respuesta por sí mismo; y el timbre (E.C.) el cual antes del entrenamiento no tenía ninguna relación con la respuesta

(la salivación). En términos generales entonces, el condicionamiento clásico se basa en la asociación de estímulos con respuestas reflejas preexistentes. Ejemplos: la asociación del timbre del recreo (E.C.) con la alegría o emoción de los chicos de salir, previo al condicionamiento o aprendizaje de los primeros días de clase, cuando los alumnos no asociaban el sonido de un timbre con un tiempo de juegos. De la misma forma, la respuesta de estrés de los alumnos frente a la frase “saquen un hoja”; con anterioridad a los primeros exámenes, los alumnos no asociaban esa frase con una situación de examen, sino por ejemplo con hacer un dibujo, la frase es el estímulo neutro, el examen en sí es el estímulo incondicionado, y el estrés es la respuesta.

Es posible definir dos tipos de condicionamientos clásicos: excitatorio e inhibitorio. En el primer caso, el estímulo condicionado (el timbre o campana) se asocia a la presencia o aparición del estímulo incondicionado (el alimento, por ejemplo). Mientras que en un condicionamiento clásico inhibitorio, el estímulo condicionado se asocia a la ausencia del estímulo incondicionado.

A esta altura puede ser evidente qué ventajas confieren los diferentes condicionamientos en la naturaleza, a modo de ejemplo:

Condicionamiento excitatorio: que un predador asocie un determinado tipo de planta a la presencia de presas o, en el escenario inverso, que una presa asocie determinadas características del ambiente a la presencia de un predador.

Condicionamiento inhibitorio: algunas especies utilizan el espacio diferencialmente entre hembras y machos. Por ejemplo según los estratos del bosque en donde viven, entonces los machos pueden asociar ciertas características del bosque a la ausencia de hembras.

El timbre del recreo nos permite visualizar ambos condicionamientos: al escuchar el primer timbre al final de la

hora de clase, los alumnos lo asocian con el recreo (condicionamiento excitatorio), por el contrario el segundo timbre (el cual anuncia el fin del recreo y el inicio de la clase nuevamente) está asociado con la ausencia del recreo (condicionamiento inhibitorio).

Condicionamiento operante

El condicionamiento operante fue formulado por Skinner hacia finales de la década de 1930 y está basado en la asociación de una respuesta con un estímulo o reforzador, en donde la presentación de este reforzador es posterior a la respuesta y, por tanto, dependiente de la respuesta del individuo. El reforzador es un estímulo o acontecimiento que sigue a la respuesta y su objetivo es fortalecerla; la esencia de este condicionamiento es entonces reforzar una conducta del individuo. La metodología propuesta por este investigador consiste en privar al individuo de alimento por un determinado período de tiempo, para luego colocarlo en una jaula que tiene una palanca en una de sus paredes. Como consecuencia del estado de hambruna del individuo, este deambula por la jaula hasta que acciona la palanca, lo que provoca que se abra una compuerta por donde accede al alimento. Ante la repetición de esta situación, el individuo asocia que al accionar la palanca recibe alimento, frente a esa respuesta previa (accionar la palanca) el individuo recibe el reforzador.

Es cierto que la primera respuesta es resultado de un acto casual pero, a lo largo del entrenamiento, esta pasa a ser una conducta aprendida. Es posible diferenciar reforzadores positivos (como el alimento) que son gratificantes, de reforzadores negativos los cuales consisten en retirar un estímulo negativo o dañino. Ejemplos: “si en esta clase se portan bien, el recreo será más largo”. En este caso, los alumnos

deben portarse bien (respuesta previa de los individuos) para disfrutar de un recreo más largo (reforzador positivo posterior). En un reforzador negativo, “si terminas todas las verduras, no te vas a tener que ir a dormir temprano sin ver televisión”, luego de la conducta se retira el estímulo negativo (ir a dormir temprano sin televisión)

Este tipo de condicionamiento está basado en una respuesta de los individuos por lo que se lo conoce también como condicionamiento operante. Dependiendo de la forma de presentación de los reforzadores, estos pueden ser continuos o intermitentes, modificando la velocidad tanto del aprendizaje en sí mismo como de la extinción de dicho aprendizaje. Un reforzador continuo es aquel que se presenta en todas las sesiones de entrenamiento (siempre que el individuo accione la palanca recibe comida) y como consecuencia el aprendizaje es rápido, se requiere de pocas sesiones de entrenamiento, pero tiene una alta velocidad de extinción. Frente a la no aparición del reforzador en unas pocas sesiones, se extingue el aprendizaje. En contraposición un reforzador intermitente es aquel que se presenta solo en algunas sesiones pero no en todas, produce un aprendizaje más lento pero la extinción también lo es.

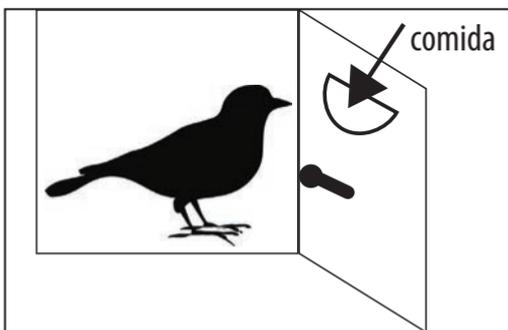


Figura 2.3. Caja de Skinner: se observa una paloma y la palanca o interruptor y el dispositivo donde cae el alimento.

Consideraciones finales relacionadas a ambos condicionamientos

Es posible resaltar las siguientes diferencias entre los distintos condicionamientos:

- » Condicionamiento clásico
 - › asociación entre estímulos;
 - › conductas reflejas existentes;
 - › el estímulo incondicionado no depende de la respuesta del individuo;
 - › la respuesta es generalmente involuntaria.

- » Condicionamiento operante
 - › la asociación se produce entre respuestas y las consecuencias que se derivan de estas;
 - › desarrollo de nuevas conductas;
 - › el estímulo o reforzador sí depende de la respuesta del individuo;
 - › la respuesta es generalmente voluntaria.

Por último mencionamos otra clasificación que divide los condicionamientos en generales y discriminantes, de acuerdo con las características del estímulo incondicionado. Por ejemplo, si se varía un poco el volumen o el tono del timbre durante las sesiones posteriores al entrenamiento, el perro mostrará la respuesta de salivación de igual forma, siendo entonces un condicionamiento generalizado.

Por el contrario, si durante el entrenamiento se utilizan distintos tipos de timbres, pero solo un tono de timbre se asocia a la comida, durante el testeo el perro será capaz de diferenciar entre diferentes timbres, y solo veremos la respuesta de salivación frente al tono correcto. Es entonces un condicionamiento basado en la discriminación. Ahora bien, esta clasificación es aplicable tanto a un condicionamiento clásico

como a uno operante, por ejemplo si se cambia el color de la palanca el individuo la moverá durante el testeo, pero si durante el entrenamiento un único color se asoció a la aparición del alimento (poniendo varias palancas idénticas que solo varían en el color), entonces el individuo discriminará los colores y solo accionará la palanca del color correcto frente a la opción de varias palancas de diferentes colores.

A pesar de los diversos mecanismos de comunicación que poseen los animales, estos no son capaces de utilizar nuestro lenguaje por lo cual los investigadores pueden evaluar si se realizó un determinado aprendizaje solo a través de una respuesta, ya sea interna (salivación, palpitaciones, concentraciones hormonales) o externas (desplazamiento o movimiento de determinada zona del cuerpo).

Surge entonces la incertidumbre: la ausencia de respuesta se debe a que no se realizó el aprendizaje (no hay un registro en la memoria del animal) o ¿el individuo simplemente no aplicó la información que poseía para traducirla en una determinada respuesta? Dada la complejidad de la comunicación o interpretación, es fundamental poder discriminar entre estas situaciones en los casos en que no se observa una respuesta clara de los individuos.

Una aproximación consiste en enfrentar al individuo a una situación de vida-muerte o con marcados efectos negativos, durante la cual la respuesta aprendida salva su vida o disminuye los efectos negativos. Como resultado, se puede asumir casi con total certeza que la ausencia de respuesta es consecuencia de la extinción del aprendizaje.

Aprendizaje social

El aprendizaje social está basado en el contacto o interacción de los individuos; también recibe el nombre de aprendizaje observacional, imitación o modelado.

Como su nombre lo indica está centrado en una situación social en la cual participan al menos dos individuos: el modelo, quien desarrolla una conducta determinada, y el sujeto, quien aprende a través de la observación de dicha conducta.

Si lo comparamos con el condicionamiento operante por ejemplo, en el aprendizaje social el sujeto que aprende no recibe ningún reforzador; en el caso particular en donde exista un reforzador este lo recibe el modelo y no el sujeto que aprende observando. Muchos son los estudios realizados en cuervos, mamíferos (como los monos) y hasta en tortugas en donde se ha demostrado este tipo de aprendizaje observacional.

Uno de los casos más populares es el de Imo, un mono macaco que vivía en Japón. Los investigadores lanzaban papas a la playa para alimentar al grupo de monos; cuando Imo tenía un año mostró un comportamiento totalmente creativo al lavar las papas en el agua para quitarles la arena.

Al poco tiempo muchos compañeros del grupo realizaban el mismo comportamiento y ya ocho años después la mayoría de los infantes de esta tropa también hacía lo mismo.

En humanos los ejemplos son variados, imitar al mejor alumno de la clase para recibir los beneficios de que disfruta, imitar la postura en la mesa al comer, o el hecho de que hijos y padres suelen tener gestos similares al expresarse, entre otros.

Se plantean tres diferentes modelos de transmisión cultural/social: horizontal, vertical y oblicuo o diagonal. En el primero la transmisión de información es entre pares (de la misma generación), en el segundo de padres a hijos y en el último caso individuos jóvenes aprenden de adultos que no son sus padres. Por ejemplo, en los humanos el aprendizaje

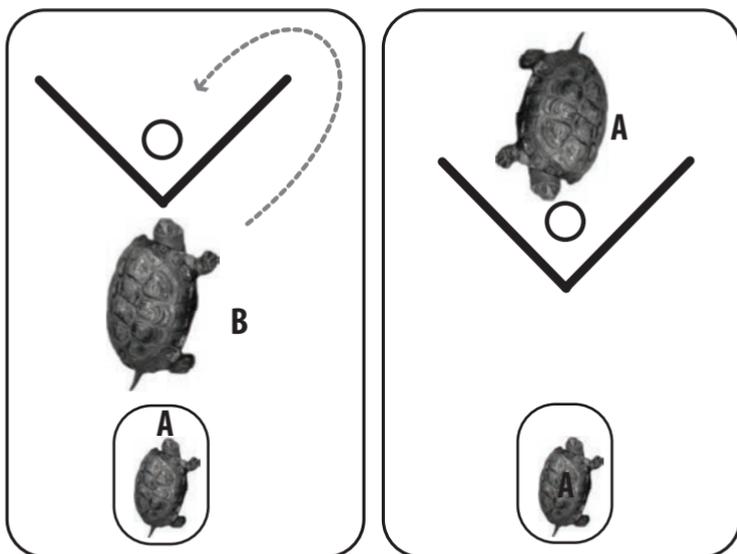


Figura 2.4. Metodología de entrenamiento en aprendizaje social. A lo largo de los ensayos de entrenamiento (figura de la izquierda) el individuo enjaulado (A) es capaz de observar al individuo modelo (B) desplazándose hasta alcanzar el alimento. En la fase de testeo (figura de la derecha), se libera al individuo de la jaula (A), y este se dirige a la comida en un menor tiempo y con una trayectoria más directa al imitar el desplazamiento realizado por la tortuga modelo (Wilkinson *et al.*, 2010).



Figura 2.5. Laberinto de agua para ratones, diseño experimental para poner a prueba el aprendizaje espacial.

social horizontal es muy fuerte, y los adultos muchas veces intentan disminuir sus efectos o hasta reemplazarlo incluso por un aprendizaje social vertical.

Aprendizaje espacial

El aprendizaje espacial es aquel que permite a los individuos la ubicación en el espacio para organizar sus conductas en relación con el entorno en cual se encuentran inmersos, es decir la orientación de acuerdo con la relación que establece con diversos estímulos espaciales.

La navegación espacial es fundamental para el correcto funcionamiento de los individuos en su ambiente, permite la búsqueda de comida, refugio, pareja, etc. Este tipo de aprendizaje se basa en la capacidad de almacenar la información de las características del espacio/ambiente.

Una de las metodologías utilizadas para probar este tipo de aprendizajes es el laberinto de agua. Se coloca una plataforma en un punto fijo dentro de una pileta de agua. El entrenamiento consiste en realizar repetidas inmersiones del individuo en la pileta durante las cuales se le permite llegar a la plataforma y luego se lo retira (es fundamental siempre introducir al individuo desde el mismo lugar).

Al cabo de varios ensayos, los individuos son capaces de llegar a la plataforma en menos tiempo y realizando una trayectoria más directa.

Mediante el uso de estudios de imágenes o mapas neuronales se demostró que este tipo de aprendizaje involucra al hipocampo (una región del cerebro de los animales). A través de las resonancias magnéticas es posible realizar un monitoreo de la actividad cerebral de un individuo totalmente consciente. Durante estos estudios se puede, por ejemplo, mostrarle fotografías, realizar actividades o hasta resolver ciertos problemas evaluando en simultáneo el lugar

del cerebro donde se concentra la mayor actividad cerebral durante el desarrollo de la prueba. Utilizando esta metodología se demostró la fuerte relación entre el hipocampo y la memoria y el aprendizaje espacial. Mediante el uso de una aproximación comparativa se encontró que especies de animales para las cuales el conocimiento espacial es una actividad fundamental tenían un hipocampo más desarrollado, por ejemplo en el caso de especies que utilizan reservorios de alimento, lo cual implica que deben recordar y poder acceder a dichos reservorios en tiempos futuros.

En los humanos se comparó el desarrollo del hipocampo de un grupo de choferes de taxi de Londres y se encontró que estos tenían un hipocampo más desarrollado que aquellos individuos que realizaban tareas sin una marcada relación espacial. La experiencia de navegación espacial en sí misma parecería ser en parte responsable del mayor desarrollo del hipocampo, al mismo tiempo que un mayor desarrollo posibilita el almacenamiento de una mayor cantidad de información espacial, quedando en evidencia la retroalimentación de ambos procesos. Una evidencia que apunta a este concepto fue el hecho de que aquellos taxistas que permanecieron en la profesión durante períodos de tiempo más largo, mostraron un hipocampo aún más desarrollado que aquellos que llevaban pocos años en la profesión.

Sin embargo, es posible citar otros ejemplos en los cuales se pone de manifiesto el aprendizaje espacial en humanos: cada alumno es capaz de reconocer su propio banco en el aula, el camino para volver a su casa; un niño es capaz de llegar a oscuras desde su habitación hasta la de sus padres sin chocarse con las paredes, o como uno es capaz de poner la mano justo sobre el interruptor de la luz aun sin poder verla.

Habituaación y sensibilización

En contraposición con los diversos tipos de aprendizaje antes mencionados, la habituaación y la sensibilización son aprendizajes no asociativos, según la definición de Hinde (1970). Se trata de la consistente disminución o aumento de la respuesta frente a la reiterada presentación de un único estímulo sin ningún reforzador acompañando dicha presentación (ni positivo ni negativo). Pensemos entonces en una almeja o caracol, por ejemplo todos hemos retirado una/o del agua o la arena y observado cómo rápidamente esconden la parta blanda de su cuerpo ante el roce. Ahora, si uno tomara el caracol y lo tocara suavemente en sus tentáculos unos instantes luego de asomarse, el mismo se habituaría a este estímulo, ya que no aporta información positiva ni negativa (no implica ningún daño), entonces seguirá su comportamiento sin cambios drásticos y sin introducirse abruptamente en su refugio. El estímulo entonces es el roce de sus tentáculos, y la respuesta que disminuye es la de esconderse en su caparazón.

Es fundamental, sin embargo, poder identificar un proceso de habituaación correctamente. Es frecuente confundirlo con la fatiga muscular o con cambios en la motivación del individuo ya que ambos pueden también producir una disminución en la respuesta a la repetición de un mismo estímulo. Una forma de descartar la fatiga muscular es someter al individuo inmediatamente a otro estímulo frente al cual deba accionarse el mismo sistema muscular; si el individuo no responde, entonces el primer escenario era fatiga mientras que si el individuo sí responde, estábamos frente a un claro ejemplo de habituaación. Otra fuente de confusión es la adaptación sensorial: cuando nos ponemos la ropa, a los pocos segundos dejamos de sentirla tan claramente como en los primeros instantes. En el caso del caracol, podríamos de-

cir que la sensibilidad de la piel de las antenas ya no es capaz de detectar el roce de nuestra mano. La mejor forma de descartar este tipo de fenómenos, es espaciando la presentación del estímulo, la adaptación sensorial generalmente es consecuencia de una estimulación casi constante.

La sensibilización, por el contrario, es el aumento de la respuesta de un individuo luego de la presentación de un estímulo novedoso. Por ejemplo, si a una rata le aplicamos un *shock* eléctrico, luego del mismo estará sensibilizada y atenta a cualquier estímulo del medio. Sin embargo, en los casos en que el estímulo es inerte (una luz) luego de la reiteración del mismo puede desencadenarse un proceso de habituación. Una de las aplicaciones más utilizadas de la sensibilización es la presentación de un estímulo novedoso antes de establecer un condicionamiento clásico. De esta forma el individuo se encuentra sensibilizado en términos de su percepción de los estímulos condicionados e incondicionados.

Pero, ¿cuál es la ventaja o la importancia de los procesos de habituación o sensibilización en la naturaleza? La habituación es fundamental ya que permite a los individuos descartar los estímulos reiterativos inertes para concentrarse y enfocarse en tareas importantes.

Es incluido como un tipo de aprendizaje ya que es duradero en el tiempo y es estímulo-específico.

Bibliografía

- Alcock, J. 2005. *Animal Behavior*. 8° ed. Sunderland, MA, Sinauer Associates.
- Bolhuis, J. J. y Giraldeau, L. A. 2005. *The animal behaviour of animals-Mechanisms, function and evolution*. Oxford, Blackwell Publishing.
- Dugatkin, L. A. 2004. *Principles of Animal Behaviour*. 1° ed. Nueva York, W. W. Norton Publishing.
- Hinde, R. A. 1970. *Animal Behaviour: A synthesis of ethology and comparative psychology*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Maguire, E. A.; Gadian, G. A.; Johnsrude, I. S.; Good, C. D.; Ashburner, J.; Frackowiak, R. S. J. y Frith, C. D. 2000. "Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers", *Proceeding of the National Academy of Sciences* 97, pp. 4398-4403.
- Manning A. y Dawkins, M. S. 1992. *An introduction to animal behaviour*. 4° ed. Cambridge, Cambridge University Press.
- Pearce, J. M. 1997. *Animal Learning and Cognition. An Introduction*. 2° ed. Sussex, Psychology Press.
- Slater, P. J. B. 1985. *An introduction to Ethology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Wasserman, E. A. y Zentall, T. R. 2006. *Comparative Cognition. Experimental Explorations of Animal Intelligence*. Nueva York, Oxford University Press.
- Wilkinson, A.; Kuenstner, K.; Mueller, J. y Huber, L. 2010. "Social learning in a non-social reptile (*Geochelone carbonaria*)", *Biology letters* 6, pp. 614-616.

CAPÍTULO 3

Fisiología de las neuronas

Florencia Bulit

Con el fin de realizar movimientos útiles y correctos, el sistema nervioso debe ser capaz de procesar lo que sucede en el entorno. Este sistema posee un grupo de células que es capaz de percibir las características o eventos del entorno y otro grupo de células responsables de producir movimientos. Sin embargo, individuos que son capaces de llevar a cabo comportamientos complejos como los seres humanos, tienen la capacidad de no reaccionar automáticamente a los cambios del entorno.

Esta capacidad está basada en la flexibilidad de nuestros cerebros los cuales, de acuerdo con las condiciones actuales y nuestras experiencias pasadas, nos permiten reaccionar de formas diferentes. Además de percibir y actuar, podemos recordar y decidir.

Estímulos tan diferentes como el sonido, la luz, la textura, el sabor y el olor son percibidos y almacenados por cé-



lulas especializadas: las neuronas sensoriales, mientras que el control de los movimientos está controlado por las neuronas motoras. Ahora bien, entre las neuronas sensoriales y motoras se encuentran las miles de neuronas responsables de percibir, aprender, recordar, decidir y controlar comportamientos complejos.

A pesar de que no se conoce el número exacto se estima que los seres humanos tenemos entre 100 y 1.000 billones de neuronas.

El sistema nervioso posee dos tipos celulares diferentes: las neuronas y las células de la glía. La principal función de las neuronas es responder a los estímulos y transmitir un impulso nervioso (ya sea información o una respuesta) hacia otras neuronas, músculos o glándulas. Por el contrario las células de la glía cumplen un rol fundamental al ser el soporte (tanto mecánico como metabólico) de las neuronas.

Las neuronas: estructura y función

Es posible resumir sus importantes funciones con la siguiente frase: “son las células responsables de procesar y transmitir información a través de toda la extensión del sistema nervioso”. Las neuronas muestran una gran variedad en términos de forma, tamaño y función, pero a nivel general toda neurona posee el soma (o cuerpo celular), las dendritas, el axón y el telodendrón (ramificaciones en el extremo del axón donde se encuentran los botones terminales).

En el cuerpo o soma se encuentra el núcleo de las neuronas y la mayoría de su maquinaria celular. Las dendritas (*dendron* en griego significa “árbol”) son las estructuras que reciben la información del medio (de un órgano sensorial u otra neurona), es decir que son el sitio por donde una neurona recibe los estímulos. El axón es una prolongación del

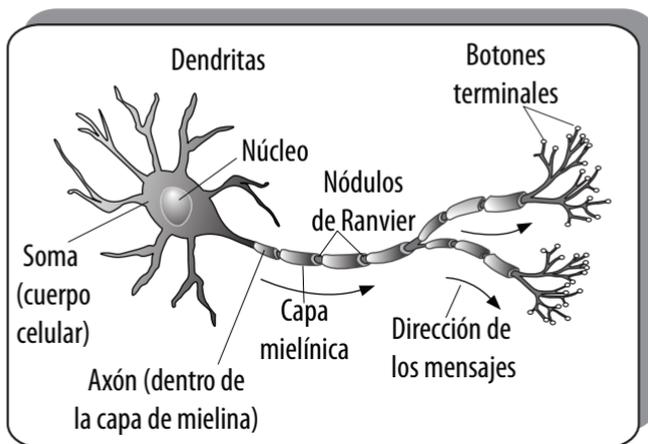


Figura 3.1. Diagrama de una neurona donde se visualizan sus diferentes estructuras: dendrita, soma, axón y botón terminal en las terminaciones del axón (Fuente: <http://asarbach.wordpress.com/programacion/unidad-2-bases-biologicas/>).

citoplasma de las neuronas recubierto por una membrana, a través del cual se desplaza el cuerpo celular hasta los botones terminales. Este mensaje se desplaza a través de los axones en forma de un potencial de acción (se describirá más adelante). La gran mayoría de los axones se encuentra recubierta por capas de mielina (formada por 80% de lípidos y 20% de proteínas). Estas capas de mielina no son continuas y sus interrupciones, es decir los lugares donde el axón está al descubierto, se conocen como los nódulos de Ranvier.

Para finalizar el recorrido de la información a través de las neuronas, la llegada del potencial de acción a los botones terminales desencadena la liberación de sustancias químicas (neurotransmisores) al exterior de forma tal de comunicarse con otras neuronas y así transmitir la información de una célula neuronal a la siguiente. Estos neurotransmisores son sintetizados en el soma de las neuronas o, en algunos casos, en los botones terminales con la participación de enzimas sintetizadas en el soma.

Las células de la glía

Las células de la glía rodean a las neuronas formando una matriz que las mantiene en su posición; sin embargo, este rol de sostén mecánico no es el único que desempeñan. Las neuronas tienen altísimas tasas de consumo metabólico (consumen mucha energía y requieren grandes cantidades de nutrientes y oxígeno). Al no poseer una alta capacidad de almacenamiento de nutrientes u oxígeno, deben recibirlos rápida y eficientemente de forma externa.

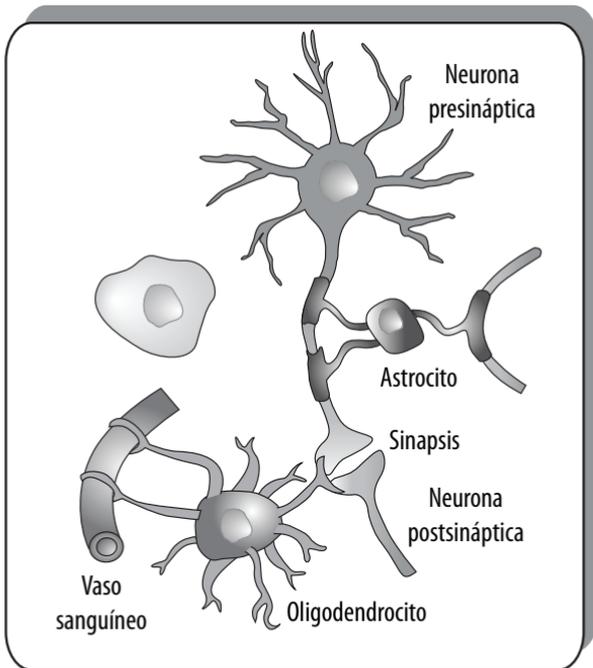


Figura 3.2. Se observa una neurona presináptica y una postsináptica haciendo sinapsis, y diversas células de glía rodeándolas cumpliendo sus funciones de soporte mecánico y metabólico. Arriba un astrocito recubriendo dos axones con capas de mielina, y abajo un oligodendrocito que se comunica con un vaso sanguíneo para entregar oxígeno y nutrientes (Allen y Barres, 2009).

Por otro lado, la mayoría de las neuronas no puede ser reemplazada: los seres humanos nacemos con el total de neuronas que tendremos a lo largo de toda nuestra vida. Si se produce muerte neuronal no tenemos la capacidad de generar estas células de nuevo, resulta entonces de vital importancia proteger y mantener las neuronas. En este contexto es que la protección y el abastecimiento que las células de la glía le proveen a las neuronas, un grupo de células tan sensible, resulta una actividad fundamental para el correcto funcionamiento de nuestro sistema nervioso.

Las principales funciones de las células de la glía son:

- » Formar el sostén espacial de las neuronas.
- » Controlar las sustancias químicas (receptores) que utilizan las neuronas en la sinapsis.
- » Aislar a las neuronas entre ellas de forma tal que no produzca una errónea transmisión de impulsos nerviosos entre neuronas que no deberían estar involucradas.
- » Y participar en tareas de limpieza que degradan y destruyen los restos de neuronas muertas.

A pesar de no profundizar en este tipo celular, dentro del complejo grupo de las células de la glía existen diferentes subtipos celulares que cumplen parte de estas tareas. Por ejemplo, en el sistema nervioso central, los oligodendrocitos son los responsables de producir la mielina que rodea a los axones, mientras que en el sistema nervioso periférico son las células de Schwann las responsables de formar la mielina.

Generación, conducción y transmisión de información

Cuando nos pinchamos un dedo rápidamente lo alejamos y, como se mencionará en el próximo capítulo, este

comportamiento se conoce como acto reflejo y está basado en el llamado arco reflejo. ¿Cómo se procesa la información del pinchazo? ¿Cómo llega la orden de movimiento a la mano? En la respuesta de esta pregunta se encuentra el centro o la esencia del funcionamiento de todo nuestro sistema nervioso, y para responderla utilizaremos un esquema muy simplificado que permite interpretar las diferentes etapas en el desplazamiento de la información a través de las neuronas. En la Figura 3.3 se observa que un receptor cutáneo es el primero en recibir la información; este está conectado con una primera neurona, sensorial, la cual luego de pasar la información a través de la médula, la comunica a otra neurona, motora, a través de lo que se conoce como el proceso de sinapsis. Esta neurona motora se comunica con la placa motora (muscular) y como resultado de esa última sinapsis se retira el dedo rápidamente.

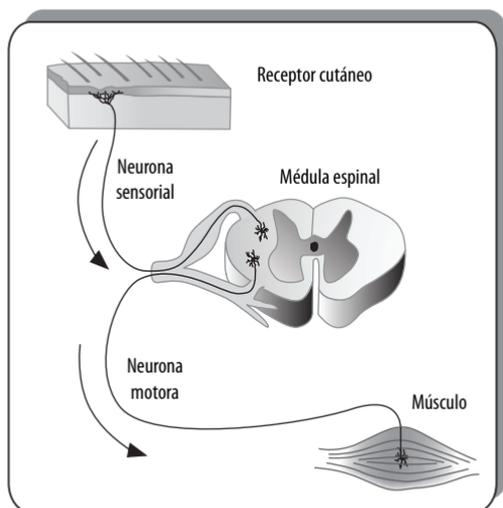


Figura 3.3. Conexiones necesarias para un reflejo básico; las flechas indican cómo se desplaza la información por las neuronas (modificado de <http://ciclobasico.com>).

En resumen, el movimiento de información (o impulso nervioso en adelante) a lo largo de nuestro sistema nervioso está basado en el funcionamiento de las neuronas. Es posible describir esta función a través de tres diferentes etapas que veremos en detalle:

1. *Generación*: esta etapa se refiere al momento en que la primera neurona recibe el estímulo (por las dendritas) e inicia un potencial.
2. *Conducción*: es el desplazamiento del potencial de acción a lo largo del axón de la neurona (conducción del impulso nervioso a través del axón).
3. *Transmisión*: proceso de comunicación entre neuronas que se conoce como sinapsis (involucra el botón terminal, el espacio sináptico y las dendritas de las siguientes neuronas).

Generación: recepción del estímulo e inicio del potencial

Antes de comprender cómo se genera un impulso nervioso, es necesario describir algunas de las propiedades de las células nerviosas con más detalle. Los iones son partículas con carga eléctrica, en algunos casos positiva (los átomos de potasio o sodio) y en otros negativa (los átomos de cloro o fósforo). Las neuronas en su interior acumulan una mayor cantidad de iones negativos por lo cual tienen una carga eléctrica diferente a la del medio externo es decir que las neuronas son más “negativas” en su interior.

Al ser una carga eléctrica, esta se mide en unidades de mili-voltios (mV); cuando la neurona está en reposo tiene una concentración negativa la cual corresponde a -70mV y este valor de diferencia de potencial (diferencia de cargas adentro y afuera de la neurona) se conoce como potencial de reposo.

Con la llegada de un estímulo a las dendritas y al soma se modifica la permeabilidad de la membrana de las neuronas y se produce la entrada o salida de iones, por lo cual cambia la carga de estas células, es decir cambia su potencial. Dependiendo del tipo de estímulo que recibe, esta diferencia de potenciales puede aumentar o disminuir. En el primer caso, se produce la salida, desde las neuronas, de iones de potasio (K^+) o la entrada de cloro (Cl^-), lo que genera un aumento de la negatividad en el interior de las neuronas.

Como resultado aumenta la diferencia de potencial adentro versus afuera, lo que se conoce como *hiperpolarización* de la membrana. En este escenario no se genera un potencial de acción en esta neurona y no se transmite ningún impulso nervioso.

En el segundo caso, la llegada del estímulo produce el ingreso de iones de sodio (Na^+) que, al ser positivos, disminuyen la diferencia de carga entre el interior y exterior de la neurona.

Esta disminución se conoce como *despolarización de la membrana*. De esta forma, el potencial se desplaza desde los $-70mV$ a valores cercanos a cero. Si el estímulo es lo suficientemente fuerte como para modificar la carga hasta superar un valor umbral (cercano a los $-55mV$) se produce entonces un potencial de acción.

Esto se conoce como “ley de todo o nada”, solo si el movimiento de iones produce una disminución en la negatividad de las neuronas que supere ese valor umbral se produce el potencial de acción; si disminuye la negatividad pero no se llega a ese valor, no se produce potencial de acción y por ende no se transmite el impulso nervioso.

En el arco reflejo mencionado, al pincharse el dedo, el receptor cutáneo produce un estímulo que es transmitido a la neurona sensorial, el cual modifica la permeabilidad de la neurona y se abren los canales de sodio, ingresan estos iones y, como resultado, el potencial de la neurona se desplaza de su potencial de reposo ($-70mV$) a valores positivos. Esto

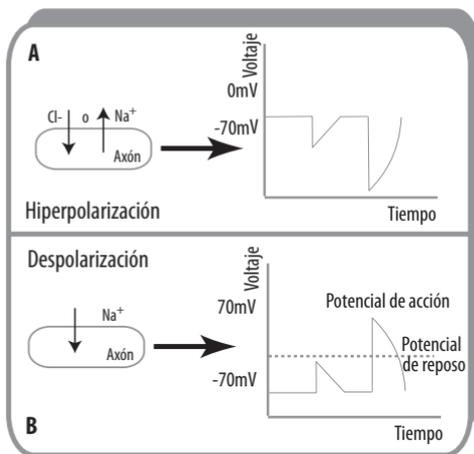


Figura 3.4. (A) Hiperpolarización de la membrana como resultado de la salida de sodio o entrada de cloro, y gráfico de variación del potencial de la neurona. (B) Despolarización de membrana por la entrada de sodio, y gráfico donde se observa el potencial de reposo, el potencial umbral y el potencial de acción.

desencadena un potencial de acción que se irá desplazando a lo largo del axón de esta neurona, lo que se conoce como conducción del impulso nervioso (ver página siguiente).

Conducción del impulso nervioso

El potencial de acción, en general, conduce de forma saltatoria, es decir que no se desplaza continuamente a lo largo de toda la membrana de la neurona, sino que ello se produce solo en unos espacios definidos donde la membrana no se halla recubierta por mielina (nódulos de Ranvier). En estos pequeños espacios es posible que se realice el intercambio de cargas, ya que la mielina actúa como un aislante y no permite el movimiento de los iones cargados hacia el exterior o interior de la neurona.

Como resultado, el potencial de acción se propaga a lo largo del axón.

El potencial de acción de un nódulo de Ranvier origina el siguiente potencial de acción en el siguiente nódulo, y así sucesivamente. Es decir que en cada nódulo de forma conse-

cutiva se abren los canales de sodio, entran iones positivos en esa sección del axón, disminuye la diferencia de potencial, se supera el umbral y se genera un potencial de acción.

Es importante recordar que el potencial de acción se desplaza en una única dirección, desde las dendritas hacia el botón terminal. La membrana, luego de despolarizarse y producir el potencial de acción, entra en un período refractario durante el cual no puede despolarizarse nuevamente; eso asegura que el potencial de acción que originó en el siguiente nódulo no pueda volver hacia atrás. Viendo la Figura 3.5.A se aprecia que eso implica que el potencial que se originó en el nódulo B solo puede propagarse al nódulo

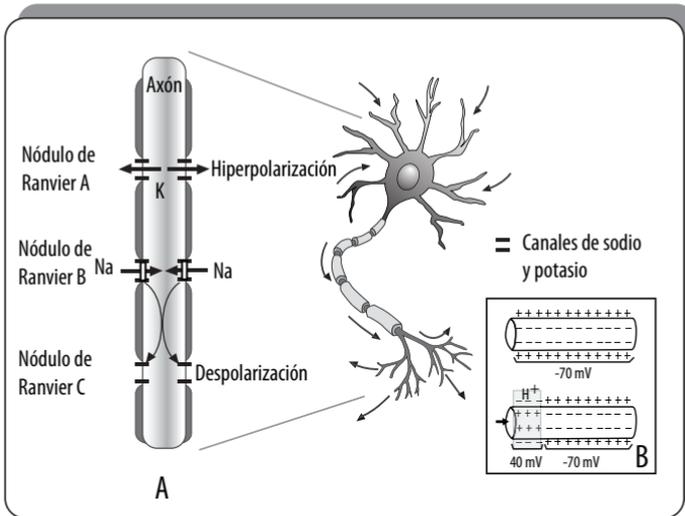


Figura 3.5. (A) Diagrama de una neurona, detalle del axón con los nódulos de Ranvier y el intercambio de cargas que produce el desplazamiento del impulso nervioso. En este caso el potencial de acción se encuentra en el nódulo B y se desplazará al nódulo C cuando se produzca el intercambio de cargas en esa porción de la membrana. En el nódulo A se observa el período refractario (con hiperpolarización de la membrana) que asegura la dirección del desplazamiento del axón. **(B)** Representación de una porción del axón donde se visualiza la concentración negativa de iones en el interior de la neurona y por lo tanto con un potencial de reposo (arriba), y el mecanismo de intercambio de cargas en la despolarización de la membrana (abajo).

C ya que en el nódulo A la membrana se encuentra hiperpolarizada, es decir en período refractario.

Transmisión: sinapsis

Continuando con el ejemplo del arco reflejo, el estímulo excita la neurona sensorial, la cual transmite la información a la neurona motora. Esta a su vez, transmite la información a la placa motora, que origina la respuesta (retirar el dedo). El potencial de acción es conducido a través del axón y llega entonces al botón terminal de la primera neurona (presináptica) la cual, a través de un proceso que se conoce como sinapsis, se comunica con la segunda neurona (postsináptica). En el arco reflejo, la neurona presináptica (que inicia la sinapsis) es la neurona sensorial, y la postsináptica es la neurona motora. En el soma y en el botón terminal se realiza la síntesis de los neurotransmisores, pequeñas sustancias químicas responsables de transmitir la información de una neurona a la siguiente. Posteriormente, los neurotransmisores son almacenados en las vesículas sinápticas, que se hallan en los botones terminales, hasta el momento de la sinapsis. La llegada del potencial de acción al botón terminal desencadena la apertura de canales de calcio lo cual induce la migración de estas vesículas hacia la membrana presináptica, su anclaje y la posterior liberación de los neurotransmisores al espacio sináptico.

Luego de ser liberados al espacio sináptico, los neurotransmisores son captados por los receptores, pequeñas moléculas proteicas que se encuentran en la membrana de las dendritas de la segunda neurona o neurona postsináptica. La interacción entre los receptores y los neurotransmisores es específica (al estilo “llave-cerradura”), hay diferentes tipos de receptores en la membrana, y cada uno de ellos recibe una determinada clase de neurotransmisores.

En la membrana se encuentran diversos receptores, por ejemplo de glutamato y adrenalina (dos neurotransmisores), entonces si la neurona presináptica libera glutamato, este interacciona solamente con los receptores específicos para glutamato que se encuentran en la membrana de la neurona postsináptica.

Esta interacción neurotransmisor-receptor activa los receptores, lo cual va a producir la hiperpolarización o la despolarización de la segunda neurona, dependiendo del mensaje. Así el circuito o recorrido comienza nuevamente, el neurotransmisor es un estímulo que puede producir o no un potencial de acción que, dependiendo de esto, se desplazará por el axón hasta llegar al botón terminal para iniciar una nueva sinapsis.

Si la neurona se despolariza, entonces comienza un nuevo potencial de acción que se conducirá a lo largo del axón de la segunda neurona hasta llegar a su botón terminal e iniciar un nuevo proceso de sinapsis al interactuar con las dendritas de nuevas neuronas. Por el contrario, si la interacción entre neurotransmisor-receptor desencadena la hiperpolarización de la neurona, no se genera potencial de acción, por ende la siguiente neurona no será excitada.

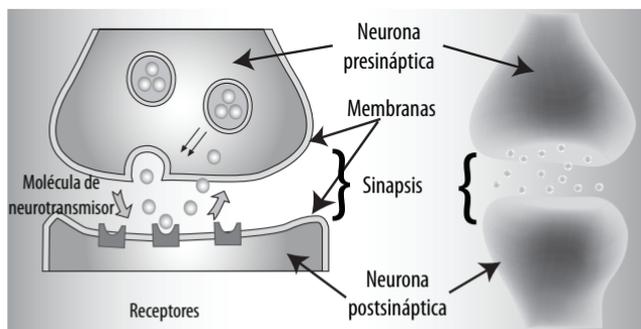


Figura 3.6. Proceso de sinapsis: neuronas pre y postsinápticas, los neurotransmisores en las vesículas y una vez liberados al espacio sináptico, y los receptores.

Tipos de sinapsis

En nuestro sistema nervioso existe una gran variedad de sinapsis en cuanto a sus estructuras o puntos de interacción. Como se mencionó, en el arco reflejo la neurona motora afecta la placa muscular para producir una respuesta. En ese caso, también la comunicación se produce a través de un proceso de sinapsis pero que tiene lugar entre una neurona y una placa motora.

Una neurona puede estar transmitiendo información a través de procesos de sinapsis y la correspondiente liberación de un neurotransmisor con otra neurona, con una placa motora o con una glándula, solo se requiere que la estructura postsináptica tenga los receptores específicos para los correspondientes neurotransmisores.

Las sinapsis también presentan una alta variabilidad en cuanto a las zonas o puntos de interacción. Por el momento definiremos los tres tipos de sinapsis más comunes:

- » Axo-dendrítica: interactúa el botón terminal de una neurona con la dendrita de la siguiente neurona.
- » Axo-somática: interactúa el botón terminal con el soma de la siguiente neurona.
- » Axo-axónica: interactúa el botón terminal con el axón de la siguiente neurona.

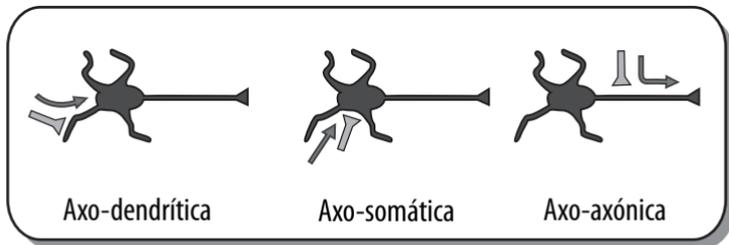
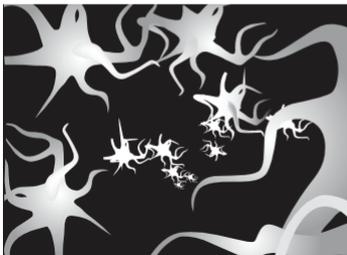


Figura 3.7. Se muestran los diferentes tipos de sinapsis, en gris claro el botón terminal de la neurona pre-sináptica y en negro la neurona postsináptica. Las flechas indican el sentido de desplazamiento del impulso nervioso.

Características de los procesos de sinapsis

Como se observa en este esquema, cada neurona se encuentra hiperconectada, haciendo sinapsis con múltiples neuronas; actualmente se estima que cada neurona recibe información de 10.000 botones terminales, aproximadamente. Entonces, ¿qué sucede si una neurona recibe neurotransmisores de muchas neuronas al mismo tiempo? Es en esta múltiple conectividad en la cual se basa la sumatoria en tiempo y espacio de las sinapsis. Es decir, que cada interacción neurotransmisor-receptor varía la permeabilidad de la membrana postsináptica, produce el desplazamiento de iones y puede despolarizar o hiperpolarizar la membrana postsináptica.



El soma de cada neurona postsináptica actúa como un centro integrador donde se realiza la suma de todos los estímulos que recibe, es decir la sumatoria de los efectos de cada interacción neurotransmisor-receptor para producir su despolarización o hiperpolarización final. En cada una de esas sinapsis se produce una unión neurotransmisor-receptor diferente, que genera una respuesta también diferente. Si la unión neurotransmisor-receptor produce la despolarización, es entonces una sinapsis excitatoria; si por el contrario produce la hiperpolarización se trata de una sinapsis inhibitoria. En el soma entonces se realiza la suma de esos movimientos de carga, producto de las diferentes sinapsis excitatorias o inhibitorias y, si el resultado final es una disminución de su carga negativa, se despolariza la neurona postsináptica y se genera un potencial de acción. Si por el contrario, la sumatoria produce la salida de iones

positivos o entrada de iones negativos y por ende se negativiza aún más su interior, se produce la hiperpolarización de su membrana, la cual no produce un potencial de acción.

Esta propiedad que poseen las neuronas de sumar diferentes estímulos nos confiere la gran diversidad y especificidad durante todo el tiempo de funcionamiento de nuestro sistema nervioso. Otro mecanismo que nos confiere la gran diversidad y especificidad en el funcionamiento de nuestro sistema nervioso, es la característica de que un mismo neurotransmisor puede producir una sinapsis inhibitoria o excitatoria en una determinada neurona u órgano por la interacción con su receptor. Sin embargo, aún a través de una sinapsis excitatoria (es decir en la que se estimula y produce un potencial de acción en la neurona postsináptica) se puede producir un efecto inhibitorio sobre un órgano o tejido y un efecto excitatorio sobre otro.

Para poder comprender este mecanismo veamos un ejemplo. Ante una situación de estrés (como un examen) o peligro, uno de los primeros neurotransmisores que entra en acción es la adrenalina; este neurotransmisor a través de sinapsis excitatorias recorre la distancia que envía el mensaje de estrés a diferentes órganos blanco. Recordemos que en una sinapsis excitatoria la liberación del neurotransmisor y su interacción con los receptores produce la despolarización de la membrana, por ende el inicio de un nuevo potencial de acción en la neurona postsináptica. Ante esta situación de estrés o peligro disminuye la actividad de, por ejemplo, todo el sistema digestivo; es decir que la adrenalina tiene un efecto inhibitorio sobre los órganos responsables del proceso de digestión. En simultáneo, ante el peligro el individuo se prepara para un potencial escape y/o inicia un estado de alerta general, la adrenalina a través de sinapsis excitatorias acelera la respiración, el ritmo cardíaco y tensa los músculos. En resumen, la adrenalina tiene un efecto ex-

citatorio en el sistema respiratorio, circulatorio y muscular y un efecto inhibitorio en el sistema digestivo.

Los neurotransmisores

Como ya se mencionó, en el sistema nervioso existe una gran diversidad de neurotransmisores. A continuación mencionaremos algunos de ellos haciendo hincapié en sus respectivas funciones principales.

Acetilcolina (Aco). Fue el primer neurotransmisor en ser descubierto, actúa en sinapsis musculares y es muy importante su participación en el aprendizaje. Participa en la excitación muscular y en los procesos de memoria, regula la capacidad de retener información, almacenarla y recuperarla. En concentraciones normales, la Aco y la dopamina (otro neurotransmisor) se encuentran en equilibrio. En la enfermedad de Parkinson se produce una disminución de la dopamina, por lo que aumenta la concentración de Aco lo cual genera los temblores típicos. La perturbación del sistema colinérgico produce también problemas de memoria y, en casos extremos, demencia senil.

Dopamina. Es el principal neurotransmisor que controla el movimiento y está involucrado en la búsqueda de placer, el deseo sexual y las emociones. Su déficit produce la enfermedad de Parkinson. Como tratamiento se receta la droga L-dopa, un precursor de este neurotransmisor. Problemas en su síntesis o en su liberación pueden producir desmotivación y/o depresión.

Noradrenalina o norepinefrina. Ha sido relacionado con la atención o estado de vigía, el aprendizaje y la sociabilidad.

Serotonina. Tiene una función principalmente inhibitoria, es el principal modulador del sueño y participa en la modulación de los estados de ánimo y en las emociones.

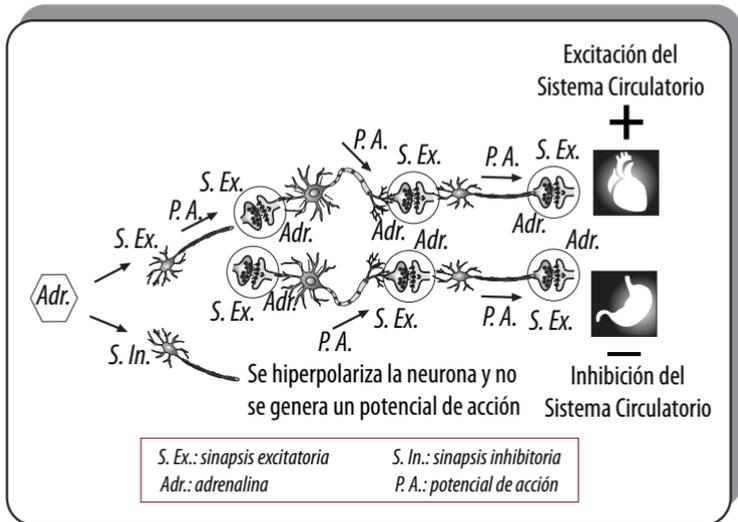


Figura 3.8. Ante una reacción de alerta o estrés, se libera adrenalina en el organismo, este neurotransmisor a través de sinapsis excitatorias excita el sistema circulatorio e inhibe el funcionamiento del sistema digestivo.

Glutamato. Es el neurotransmisor excitatorio por excelencia y el más abundante en nuestro organismo. Muy importante en los procesos de memoria y aprendizaje.

Adrenalina. Tiene una amplia distribución en todo el sistema nervioso, y su principal función es excitatoria, es la fuente del estado de alerta y de escape de los organismos, fundamental en situaciones de estrés. Altas concentraciones de adrenalina pueden producir la falta de sueño y de atención y ansiedad.

Para el adecuado funcionamiento de los neurotransmisores en los procesos de sinapsis son necesarios diversos pasos.

El primero de ellos es la síntesis de los neurotransmisores en las neuronas, para lo cual son necesarios productos básicos o precursores, muchos de los cuales se adquieren a través de una dieta balanceada. Estos neurotransmisores deben ser almacenados en las vesículas que se encuentran en

el botón terminal y estar disponibles para futuros procesos de sinapsis. Son necesarios también la correcta migración y el anclaje de las vesículas en la membrana presináptica para su liberación al espacio sináptico. Una vez que los neurotransmisores interactúan con los receptores de la membrana postsináptica estos deben ser desactivados que evitan la sobrestimulación de la neurona postsináptica.

Normalmente hay dos vías de desactivación: la recaptación de los neurotransmisores por la neurona presináptica que luego son almacenados en vesículas, lo cual posibilita su reutilización; o la degradación (o inactivación) de los mismos por enzimas catabólicas (aquellas responsables de los procesos de degradación).

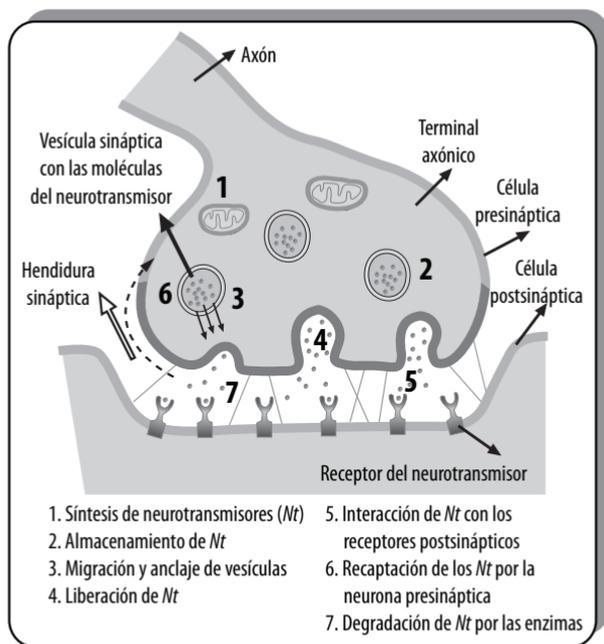


Figura 3.9. Botón terminal donde se observan las etapas del funcionamiento de los neurotransmisores para los procesos de sinapsis (Fuente: <http://psi-anjen.blogia.com>).

El efecto de las drogas en la sinapsis

Los efectos de las drogas se producen a nivel de nuestro sistema nervioso, principalmente afectan el funcionamiento de los neurotransmisores y en algunos casos producen daños en la estructura de las neuronas. Cada droga produce un efecto diferente en los pasos ya mencionados: síntesis, almacenamiento, liberación, interacción con los receptores, receptación y degradación (ver Figura 3.9) de los neurotransmisores. Las drogas pueden dividirse en: estimulantes, depresoras o alucinógenas.

En términos generales los estimulantes, como su nombre lo indica, producen la sobreestimulación del sistema nervioso central mediante la liberación de neurotransmisores, provocan una sensación de felicidad y respuestas más rápidas. En este grupo encontramos a la cocaína (también producto base del *crack*) que actúa sobre los neurotransmisores como la dopamina, la noradrenalina y la serotonina, inhibiendo su recaptación. Como resultado los neurotransmisores permanecen en el espacio sináptico y pueden volver a interactuar con los receptores de la membrana postsináptica, se produce entonces una acción sostenida o prolongada de la sinapsis.

Los depresores relajan el sistema nervioso central, en pequeñas dosis poseen algunas propiedades estimulantes provocando un estado de euforia, sin embargo, en términos generales reducen la actividad cerebral. Dentro de este grupo están el alcohol y la heroína (y otros opiáceos). El alcohol produce modificaciones en las membranas celulares interrumpiendo el correcto desplazamiento de los iones (fundamentales para la despolarización de la membrana) y el funcionamiento de los receptores anclados en ellas. Produce una interacción especial haciendo que el neurotransmisor se mantenga unido al receptor por más tiempo, provocando múltiples excitaciones de la neurona postsináptica.

La heroína promueve la liberación de endorfinas. Produce sensación de euforia y bloquea el dolor al igual que el neurotransmisor. Como consecuencia de un consumo sostenido el organismo deja de sintetizar endorfina y depende totalmente del consumo de heroína generando entonces la adicción a esta droga.

Los alucinógenos producen percepciones irreales. Estas fantasías se generan a través de una activación cerebral por la cual se confunden los canales sensitivos. El LSD (dietilamida de ácido lisérgico o lisérgida, o comúnmente conocida como ácido) y la planta *Cannabis* (origen de la marihuana y el hachís) son los alucinógenos más conocidos. Las drogas derivadas de estos tienen una estructura muy similar a la dopamina y por ende pueden interactuar directamente con los receptores.

Se describió el efecto de las drogas sobre los procesos de sinapsis pero, sin embargo, este es un tema más complejo, ya que es necesario tener en cuenta el centro de refuerzo y las adicciones que estas generan. El centro de refuerzo es una pequeña zona del encéfalo que despierta sentimientos de placer cuando comemos, bebemos o mantenemos relaciones sexuales. Esto produce una asociación entre estas actividades y el placer, lo cual genera el querer repetir las una y otra vez. En términos generales, las drogas estimulan este centro de refuerzo al igual que lo hace la comida, la bebida o el sexo, generando entonces la asociación entre el placer y su consumo.

Integración con el aprendizaje

Como ya se mencionó, el aprendizaje es posible gracias a la actividad de las neuronas. A continuación veremos en detalle cómo se produce la habituación (uno de los tipos de aprendizaje ya descriptos) a nivel del funcionamiento neuronal. Los



Figura 3.10. A la izquierda, el Dr. Erik Kendel y a la derecha una liebre de mar o *Aplysia*, donde es posible observar el manto que la recubre.

primeros descubrimientos que permitieron entender los procesos neuronales sobre los cuales se apoya el aprendizaje se produjeron en los años '20 del siglo XX, por parte del grupo de investigación del Dr. Erik Kendel. Se utilizó como modelo de estudio la liebre de mar *Aplysia*, un molusco, debido principalmente a la morfología de esta especie.

Las liebres de mar tienen un bajo número de neuronas (frente al número de los seres humanos) pero más importante aún, estas son neuronas de gran tamaño, por lo que recibieron el nombre de neuronas o axones gigantes. Esto les permitía a los investigadores realizar experimentos durante los cuales el animal manifestaba diferentes comportamientos y al mismo tiempo registrar qué sucedía a nivel neuronal. Estos animales poseen en su parte dorsal un manto que recubre las branquias y el sifón (estructura por donde ingresa y sale agua del animal). Al tocar el sifón se produce la retracción de la branquia, que el animal protege al introducirla en la cavidad del manto. Se sabía que este mecanismo de retracción tiene su base en un ganglio abdominal (un ganglio es una agrupación de somas o cuerpos neuronales), y al mismo tiempo se sabía que al tocarlo repetidas veces el animal dejaba de retraer la branquia. Como ya se mencionó, este comportamiento es un ejemplo de un tipo de aprendizaje: la *habituación*.

Las liebres de mar tienen un grupo de neuronas sensoriales que reciben los estímulos externos, y otro grupo de neuronas motoras que producen la respuesta de retracción de la branquia. Luego de muchos años de investigación, se encontró que durante la habituación, no se produce ninguna modificación a largo plazo ni en las neuronas sensoriales (estas seguían respondiendo bien a otros estímulos) ni a modificaciones en las neuronas motoras (frente a un estímulo distinto se seguía produciendo la retracción de las branquias). Lo que se observó fue una disminución en la frecuencia de los potenciales de acción de las neuronas motoras a medida que se producía el aprendizaje de habituación. El proceso se da a través de la disminución de la liberación de neurotransmisores por lo que al final del aprendizaje la neurona motora no recibe cantidad suficiente de neurotransmisores como para excitarse. En resumen, el aprendizaje de habituación frente al tacto tiene su base en la parte presináptica, con la disminución de la funcionalidad de los canales de sodio y potasio en el botón terminal; esto produce una disminución en la eficiencia de la migración y anclaje de las vesículas conteniendo neurotransmisores y por ende una disminución en la cantidad de neurotransmisores liberados.

Contrariamente, como se describió en capítulos anteriores, la sensibilización es la respuesta facilitada a algún estímulo, el desarrollo de una respuesta exagerada a cierto estímulo. Por ejemplo, la situación de un corredor al sonar el disparo de largada mientras se encuentra apoyado en los tacos es un claro caso de sensibilización. Al igual que con la habituación este aprendizaje se analizó y estudió en la *Aplysia*, ya que los investigadores habían observado que frente al ataque de un predador (estímulo novedoso) la liebre de mar reaccionaba en demasía en relación a cualquier otro estímulo, ya fuera conocido o inocuo. En este caso en el laboratorio se pinchaba/estimulaba el pie de los individuos, lo

cual simulaba un ataque de un predador, y en simultáneo se estimulaba con agua sobre el sifón (pequeños estímulos ya conocidos como el movimiento de la corriente de agua), se desencadena una retracción prolongada y frecuente a cada estimulación del sifón, tornándose una respuesta exagerada. Se descubrió también el mecanismo neuronal que sustentaba la sensibilización en *Aplysia*.

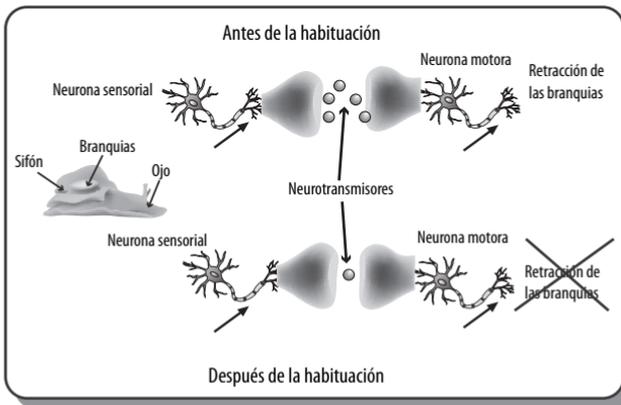


Figura 3.11. Representación gráfica del proceso de habituación en *Aplysia*.

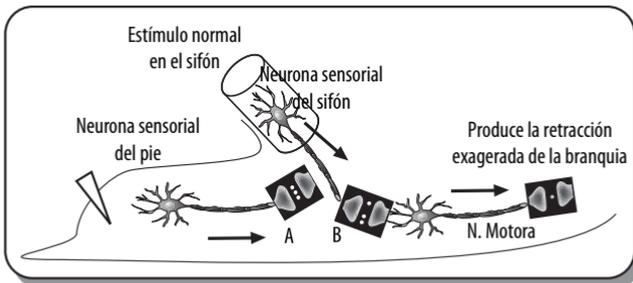


Figura 3.12. Mecanismo de sensibilización en *Aplysia*. Frente a la estimulación del pie se libera serotonina que potencia la liberación de neurotransmisores de la neurona sensorial del sifón que, al ser excitada con un estímulo conocido e inocuo, se produce entonces una reacción exagerada de retracción de la branquia. Los círculos blancos representan neurotransmisores: serotonina en la sinapsis A, y glutamato en la sinapsis B; las flechas indican el sentido de la transmisión del impulso nervioso.

En este caso participan tres neuronas: una sensorial que recibe los estímulos del pie, otra sensorial que recibe los estímulos del sifón y una motora que produce la respuesta o retracción de las branquias. La estimulación del pie produce que la neurona sensorial del pie libere serotonina como neurotransmisor. Esta serotonina estimula la neurona sensorial del sifón que estaba produciendo potenciales de acción como resultado de la estimulación del sifón.

Ahora, la serotonina produce un aumento en duración en la apertura de los canales de calcio de esta neurona sensorial del sifón haciendo que la misma libere una mayor cantidad de neurotransmisor (glutamato) sobre la neurona motora efectora que produce la retracción de las branquias. En resumen, la actividad de la neurona sensorial del pie al ser estimulado, potencia o aumenta la liberación del neurotransmisor por parte de la neurona sensorial del sifón produciendo un mayor efecto sobre la neurona motora.

Bibliografía

- Allen, N. J. y Barres, B. A. 2009. "Neuroscience: Glia-more than just brain glue", *Nature* 457, pp. 675-677.
- Córdoba García, F. 2005. *Fundamentos biológicos del aprendizaje y la memoria*. Huelva, Universidad de Huelva.
- Carlson, N. R. 1994. *Physiology and behaviour*. 5° ed. Boston, Allyn & Bacon.
- Cervino, C. O. 2010. *Neurofisiología, Tomo I: Principios anátomo/funcionales del sistema nervioso*. 3° ed. Morón, Praia.

CAPÍTULO 4

Sistema nervioso

Manuela Chomnalez

¿Cuáles son las bases neurobiológicas de nuestro comportamiento?

¿Cómo hace un alumno para tomar apuntes mientras escucha al docente?

¿De qué manera coordina estas acciones?

Sistema nervioso

La función del sistema nervioso es percibir, procesar y responder a los estímulos del ambiente. Conformado por células nerviosas, conocidas como neuronas y células de la glía, recibe información del medio que lo rodea a través de los órganos de los sentidos, la traduce a impulsos nerviosos, que constituyen el lenguaje de las neuronas, y genera respuestas en forma de movimiento, pensamiento, liberación de hormonas, memoria y aprendizaje. El patrón de comportamiento de un individuo reúne todas las respuestas que genera el sistema nervioso frente a los estímulos recibidos. Algunas de estas conductas son innatas y otras son apren-

didadas pero, en ambos casos, es el sistema nervioso central, principalmente el encéfalo, el que coordina y organiza el comportamiento del individuo.

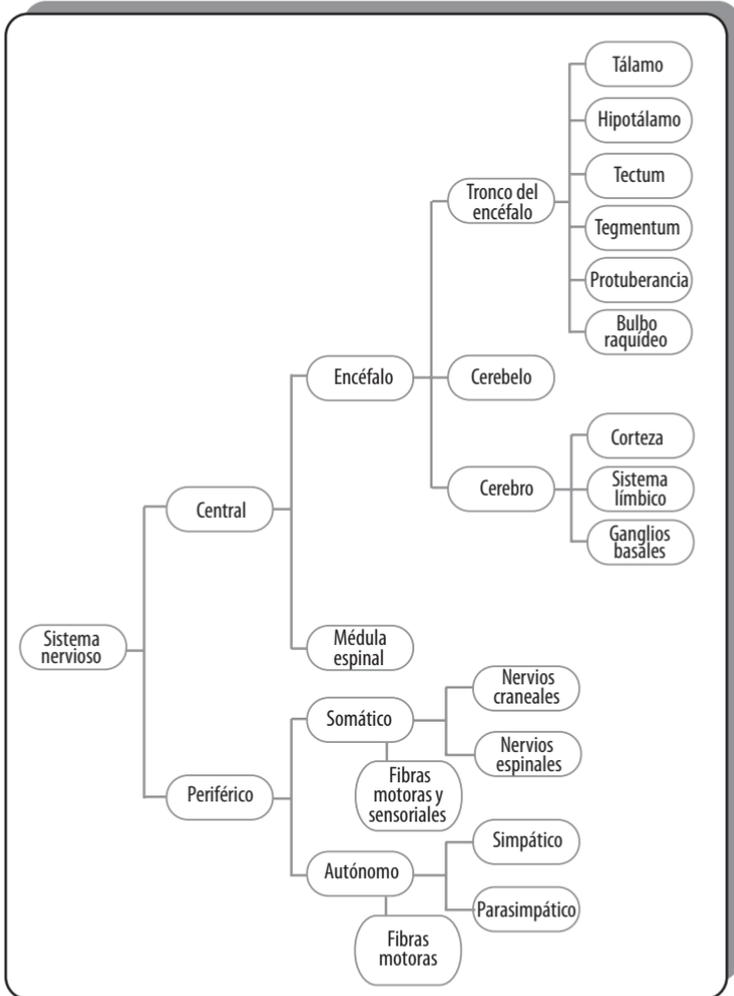


Figura 4.1. Estructura y organización anatómica del sistema nervioso.

Respecto a su organización anatómica, podemos encontrar una primera división del sistema nervioso: sistema nervioso central y periférico. El sistema nervioso central (SNC) incluye el encéfalo y la médula espinal, que se encuentran alojados dentro del cráneo y la columna vertebral, respectivamente. El sistema nervioso periférico (SNP) conecta los órganos sensoriales de todo el cuerpo mediante fibras nerviosas que llevan la información sensorial hacia el sistema nervioso central (vías aferentes) o las respuestas motoras originadas en el SNC hacia los músculos u órganos efectores (vías eferentes). Por lo tanto, puede también subdividirse de acuerdo con la dirección en la que viajan los impulsos nerviosos, en sensorial o motor, respectivamente. A su vez, las fibras nerviosas pueden pertenecer al sistema somático, si se trata de respuestas voluntarias, o al autónomo que controla las respuestas involuntarias mediante sus dos divisiones: simpática o parasimpática.

Las células del sistema nervioso

Como vimos en el capítulo anterior, el sistema nervioso está conformado por células nerviosas, llamadas neuronas, además de otras células conocidas como células gliales. Las neuronas se caracterizan por responder a los estímulos con una descarga eléctrica o impulso nervioso, y luego transmitir ese impulso por largas distancias. De esta manera las señales pueden transportarse en milisegundos desde y hacia cualquier parte del organismo.

Como cualquier otra célula, la neurona tiene un núcleo celular y un citoplasma, sin embargo este último cuenta con prolongaciones cuya función es la de la comunicación: las dendritas y los axones. Las primeras generalmente se ramifican y reciben señales de otras células o del ambiente. En

cambio el axón es uno solo en cada célula y está especializado en transmitir el impulso nervioso desde el cuerpo celular hacia otras células u órganos. La comunicación entre células nerviosas ocurre en la sinapsis. Dado que el tema se trató con anterioridad, solo mencionaremos aquí que la transmisión de las señales no ocurre mediante la propagación directa del impulso nervioso, sino que tiene lugar la liberación de moléculas que influyen en la célula receptora. Dichas moléculas se conocen como neurotransmisores.

Habitualmente los cuerpos neuronales se encuentran en grupos, que se denominan núcleos si están en el SNC o ganglios si están en el SNP. Asimismo, los axones y las dendritas largas de las neuronas forman fibras nerviosas. Las fibras se agrupan y forman tractos o haces en el SNC, y nervios en el SNP.

Como se verá a lo largo del presente texto, se pueden diferenciar tres clases de neuronas:

- 1) Motoras: son las que envían señales a los músculos, órganos o glándulas.
- 2) Sensoriales y sensitivas: son las que llevan la información sensorial y sensitiva desde los órganos de los sentidos hacia el SNC.
- 3) De asociación son las que conectan las neuronas motoras con las sensoriales, por ejemplo en los arcos reflejos.

El sistema nervioso central

El SNC cumple con las más altas funciones del sistema nervioso, ya que es el responsable de las necesidades vitales y da respuesta a los estímulos. Compuesto por la médula espinal y el encéfalo, ejecuta tres funciones principales: detección de estímulos, transmisión de información y coordinación general.

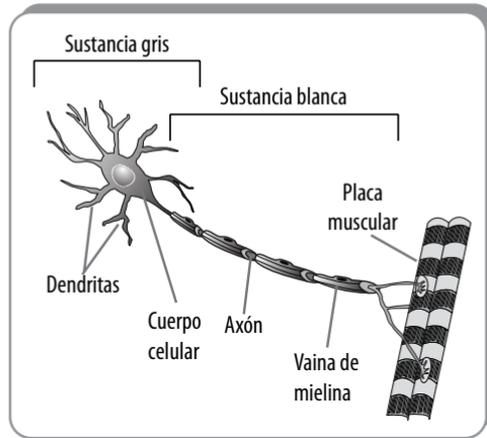


Figura 4.2. Estructura de una neurona motora tipo (Hickman, 2000).

Una de las características anatómicas más visibles del SNC es la presencia de áreas claramente distinguibles de sustancia gris y sustancia blanca. La primera contiene principalmente cuerpos neuronales y cumple, sobre todo, tareas de integración. La sustancia blanca, en cambio, está conformada en mayor medida por fibras nerviosas, que son los axones de las neuronas recubiertos de mielina (sustancia con alto contenido graso que permite acelerar la conducción de los impulsos nerviosos); su principal tarea es, por lo tanto, la difusión de los mensajes a gran velocidad.

Protección frente a las lesiones

¿Cómo se protegen las funciones vitales del sistema nervioso? ¿Qué sucede cuando los niños se golpean en el recreo? ¿Cómo se logra mantener en funcionamiento un sistema tan complejo en estos casos?

Tanto el encéfalo como la médula espinal se encuentran protegidos frente a eventuales lesiones mediante el cráneo y la columna vertebral, respectivamente. Además de esta

protección ósea, están recubiertos por tres capas de tejido conectivo, las meninges, entre las cuales se encuentra el líquido cefalorraquídeo (LCR). Es tal la amortiguación que aportan las meninges y el LCR que se podría decir que estas estructuras centrales del sistema nervioso flotan en suspensión dentro de sus respectivas cavidades óseas.

Las meninges sostienen y protegen el encéfalo y la médula espinal, estabilizando su forma y posición, ya que su capa externa se encuentra anclada en los huesos del cráneo y de la medula espinal. Además proveen de rutas de acceso y soporte a los vasos sanguíneos que nutren al SNC.

El LCR es transparente, pobre en proteínas, pero contiene glucosa (fuente de energía) y algunas sales. Este líquido se encuentra entre las meninges en todo el SNC y, además, en el encéfalo, dentro de cuatro cavidades llamadas ventrículos. Se produce y reabsorbe continuamente, renovándose por completo más de tres veces al día, por lo que está en permanente circulación. Además de su función protectora, el LCR permite el movimiento de sustancias a lo largo del SNC, ya sea que se trate de moléculas con alguna función específica, como los neurotransmisores, péptidos y hormonas, o simplemente sustancias de desecho, como pueden ser los productos de la degradación de los anteriores. Por lo tanto no es sorprendente que diversas moléculas que activan el sistema nervioso se encuentren allí, pese a que su presencia no signifique que estén cumpliendo alguna función determinada.

Médula espinal

La médula espinal corre a lo largo y en el interior de la columna vertebral, que la protege. Su parte exterior está compuesta por sustancia blanca, y la interior, por sustancia gris. Es la vía conductora de impulsos entre el cerebro y el

resto del cuerpo, incluyendo los órganos internos, y también es el centro de la mayoría de los movimientos reflejos. Sus tres funciones principales son: el transporte de información entre los nervios espinales y el encéfalo, el control de las reacciones automáticas o reflejos espinales, y la transmisión de los impulsos nerviosos hacia los músculos, vasos sanguíneos, glándulas y órganos. En la médula espinal se encuentra el conducto medular por donde también circula líquido cefalorraquídeo

En una sección transversal de la médula, se pueden diferenciar dos zonas: una interna de sustancia gris que tiene forma de H, constituida por los cuerpos celulares de las neuronas motoras y por las neuronas de asociación. La zona externa, formada por sustancia blanca, contiene los paquetes de axones y dendritas que conectan los distintos niveles de la médula unos con otros y con el encéfalo.

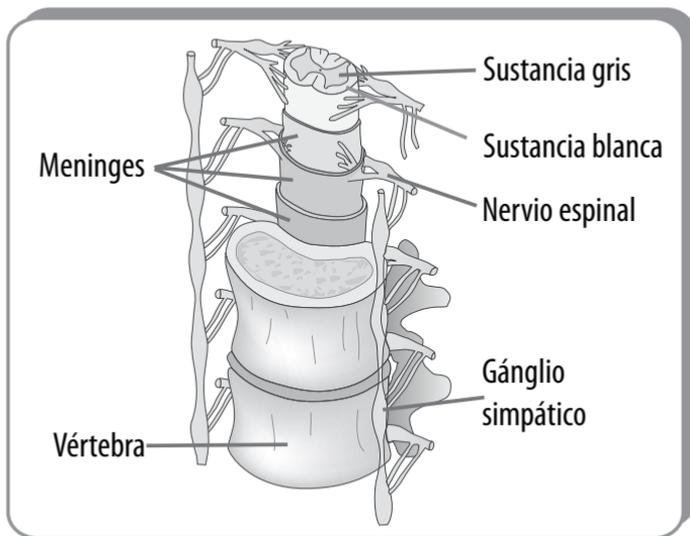


Figura 4.3. Corte transversal de la médula espinal junto a las vértebras y meninges que la protegen (Hickman, 2000).

Cada segmento de la médula espinal es, hasta cierto punto, una unidad funcional, dado que cada par de nervios se relaciona con un segmento particular del cuerpo. Recibe información sensorial de esa región, la procesa y envía como respuesta órdenes a los músculos y glándulas mediante las neuronas motoras. Sin embargo, la independencia de cada segmento es limitada, muchas de las funciones de la médula están bajo estricto control de otras áreas superiores del SNC. Dicho control es mediado por fibras que surgen del tronco encefálico y de la corteza cerebral. Es decir que el encéfalo coordina la actividad de todos los segmentos de la médula espinal, de manera que el cuerpo funcione como un todo, excepto en los reflejos espinales.

Encéfalo

A diferencia de la médula espinal, que sufrió pocos cambios a lo largo de la evolución de los vertebrados, el encéfalo se modificó drásticamente. El encéfalo lineal de peces y anfibios se expandió y plegó enormemente en los mamíferos, alcanzando una notable complejidad en humanos con más de 35.000 millones de células, cada una de las cuales recibe información de decenas de miles de sinapsis.

Tal como ocurre con la médula espinal, el encéfalo se encuentra protegido por las meninges y el LCR, que se encuentra en el encéfalo entre las capas de meninges

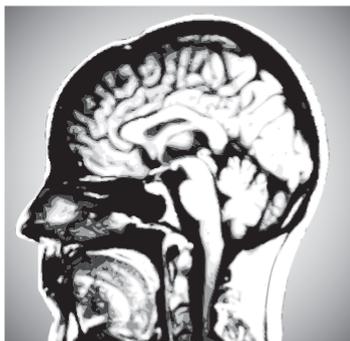


Figura 4.4. Imagen de Resonancia Magnética donde pueden verse la mayoría de las estructuras del encéfalo (Brodal, 1992).

y dentro del sistema ventricular, que corresponde a una serie de cavidades que se desarrollan en el interior del SNC, también conocidas como ventrículos. Estos se encuentran en los hemisferios cerebrales (ventrículos laterales), sobre el tronco encefálico (tercer ventrículo) y entre el tronco encefálico y el cerebelo (cuarto ventrículo).

Además del LCR, que ayuda a eliminar sales y desechos producto de la actividad nerviosa, el encéfalo se encuentra muy vascularizado, ya que las neuronas tienen altos requerimientos de oxígeno en su funcionamiento. Es por ello, en parte, que muchas de las lesiones del tejido nervioso se deban a fallas en la irrigación. El cerebro, que solo supone el 2% del peso corporal, consume un 20% del oxígeno requerido por el cuerpo en forma diaria. Las distintas partes que componen el encéfalo son el tronco del encéfalo, los ganglios basales, el sistema límbico y la neocorteza o corteza.

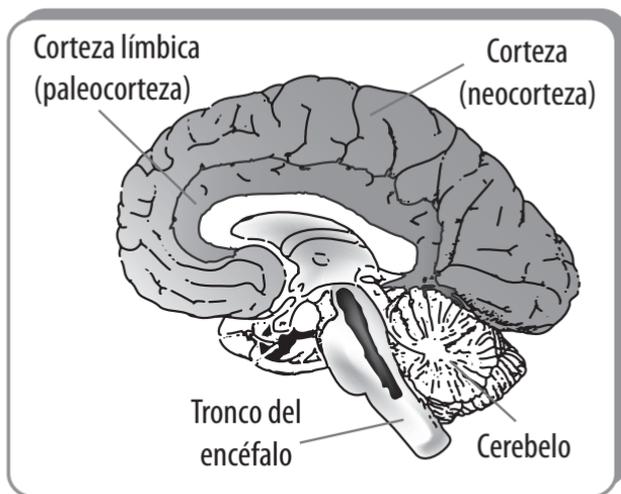


Figura 4.5. Corte transversal del encéfalo y sus áreas principales (Kolb, 2002).

Tronco del encéfalo

El tronco del encéfalo comienza donde la médula espinal entra al cráneo y se encuentra ubicado bajo los hemisferios cerebrales. Recibe nervios aferentes de todos los sentidos, y envía nervios eferentes que controlan todos los movimientos del cuerpo, excepto los más complejos movimientos de los dedos de las manos y los pies. Se compone de varias partes, que se enumeran a continuación:

Bulbo raquídeo: se extiende a continuación de la médula espinal y controla numerosas actividades vitales y subconscientes, como el ritmo cardíaco, la respiración y las secreciones digestivas.

Protuberancia: contiene un paquete de fibras nerviosas que lleva impulsos de un lado a otro del cerebelo y también conecta a este con la médula y otras partes del encéfalo.

Tectum: contiene núcleos que son centros de reflejos de los músculos oculares y uno de los lugares de destino y análisis de la información auditiva.

Tegmentum: incluye estructuras como el núcleo rojo y la sustancia negra, que forman parte del sistema de control motor inconsciente.

Formación reticular: contiene un conjunto de fibras y núcleos que atraviesan el tronco del encéfalo hasta llegar a la corteza cerebral por medio de una red neuronal llamada SARA (sistema activador reticular) asociado a la regulación de los estados de sueño, vigilia y atención.

Tálamo: es una estructura de relevo que procesa la mayoría de la información sensorial proveniente de otras áreas del SNC y dirigida hacia la corteza, excepto la del olfato.

Hipotálamo: es el nexo entre los sistemas nervioso y endócrino, manteniendo la constancia interna u homeostasis, es decir, que regula la temperatura corporal, balance de agua, apetito y sed. También se encuentran centros para

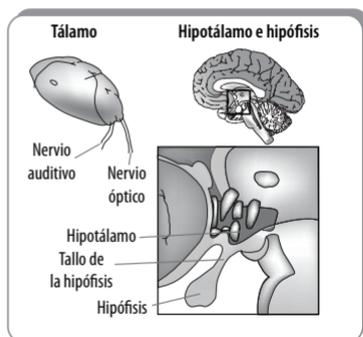


Figura 4.6. Esquema del tronco del encéfalo y cerebelo (Kolb 2002).

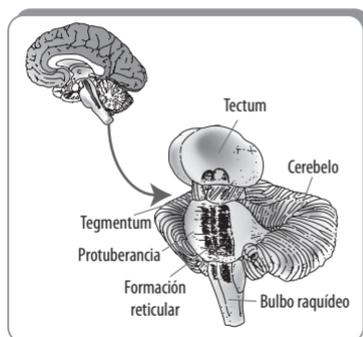


Figura 4.7. Detalle del tálamo y del hipotálamo (Kolb, 2002).

diversas sensaciones como el placer, la agresividad y el apetito sexual.

Cerebelo

Controla el equilibrio, postura y movimiento. No inicia el movimiento pero opera en la precisión y control de errores de los movimientos iniciados en la corteza motora. Los primates, y en especial el hombre, poseen una notable destreza manual que requiere de la coordinación del cerebelo para el correcto funcionamiento de cientos de músculos simultáneamente.

Cerebro

Conformado por los ganglios basales (también conocidos como núcleos de la base), la neocorteza y la paleocorteza, el cerebro constituye la región superior del encéfalo.

Los ganglios basales cumplen una función importante en el control y la coordinación de los movimientos. En las personas que sufren de mal de Parkinson, pueden apreciarse los síntomas de su mal funcionamiento: temblor en las manos, dificultad para moverse y postura encorvada.

La región anterior del cerebro se divide en dos áreas anatómicamente distintas: el sistema límbico y la corteza cerebral. Ubicado entre los hemisferios cerebrales, el sistema límbico participa en varias funciones del comportamiento destinado a satisfacer necesidades primarias como la alimentación o el sexo. Una de sus regiones, el hipocampo, ha sido muy estudiada como centro mediador del aprendizaje espacial y formación de memorias a largo plazo.

Otra de las funciones del sistema límbico, dada por la amígdala, es la expresión de las emociones. Esta pequeña estructura, que recibe su nombre por tener forma similar a la de una almendra, es considerada el centro generador de las emociones del cerebro. Por último, el septum y la corteza entorrinal, también pertenecen al sistema límbico y son considerados muy importantes en los procesos de formación de memoria. Convencionalmente, en neurología se ha planteado que algunos órganos sensoriales llevan las señales recibidas al tálamo y de ahí a zonas de la corteza para su procesamiento sensorial, donde las señales se unen para formar objetos a medida que son percibidos. Sin embargo, recientemente se descubrió un conjunto más pequeño de neuronas que conducen las señales desde el tálamo hasta la amígdala, además de las que hacen el recorrido más largo a la corteza. Este recorrido más corto permite a la amígdala recibir algunas entradas directas de los sentidos y desencadenar una respuesta emocional antes de que aquellas queden registradas en forma consciente por la corteza. Mientras el hipocampo recuerda los hechos y datos simples, la amígdala retiene el contexto emocional que rodea y acompaña tales datos y hechos.

Otra estructura presente en el sistema límbico es la corteza cingulada, que cumple funciones de control emocional y también estaría implicada, junto a la corteza prefrontal, en el control ejecutivo de acciones y movimiento. Algunos autores sugieren que participa en funciones como el procesamiento

de conflictos y la posterior selección de respuesta y ejecución del movimiento. Además, la corteza cingulada anterior actúa en casos de conflicto emocional suprimiendo la actividad de la amígdala y sus conexiones salientes, lo que conduce a un debilitamiento de las respuestas autonómicas simpáticas. Por tanto, estamos hablando de un fenómeno top-down emocional en el cual podría ejercer un control consciente de la emoción inicial producida por la amígdala, dilucidando dos etapas de procesamiento emocional.

Corteza cerebral

Pese a haber surgido recientemente en la evolución de los vertebrados, la neocorteza, o corteza cerebral se expandió tanto que envuelve completamente al tronco encefálico, tomando y complejizando diferentes funciones que antes eran llevadas a cabo por otras estructuras. Contiene más de 20.000 millones de neuronas, que superan la mitad de la materia gris de todo el sistema nervioso, lo que brinda una idea de su importancia funcional. Casi todas las tareas de integración primitivamente asignadas al tronco del encéfalo fueron transferidas a la corteza. En los vertebrados más simples, solo hay un esbozo de la misma, y es recién en los mamíferos, particularmente en los primates, donde la corteza domina el resto del sistema nervioso. La corteza cerebral está compuesta por sustancia gris, que consiste principalmente en cuerpos neuronales, junto con algunas fibras nerviosas.

Cuando hablamos del funcionamiento del SNC y, en particular, del encéfalo, decimos que una determinada función es cortical si su ejecución ocurre en la corteza cerebral. En cambio, cualquier función que se lleve a cabo en el tronco encefálico o sistema límbico se conoce como subcortical.

Todas las áreas de la corteza tienen una estructura básica, que consiste en distintos tipos de neuronas ordenadas en seis capas que se orientan en forma paralela a la super-

ficie de la misma. Además, las neuronas están organizadas en columnas orientadas perpendicularmente a la superficie cortical. Ambas disposiciones están relacionadas con especializaciones funcionales entre las neuronas.

Las capas corticales difieren entre sí en cuanto al origen de sus aferencias, por lo tanto existe algún grado de especialización en las capas respecto al tipo de información que procesan. Sin embargo, las conexiones entre estas capas aseguran la integración de los datos y, por lo tanto, de las respuestas. Por ejemplo, hay capas que procesan la información visual y hay otras que la integran con los otros sentidos.

Por debajo de la corteza, dentro de cada hemisferio, hay un centro de sustancia blanca compuesto por fibras con mielina, sostenidas por células gliales. Se clasifican en tres grupos: fibras comisurales, de asociación y de proyección. Las fibras comisurales conectan las regiones correspondientes de los dos hemisferios; entre ellas se destaca el cuerpo calloso, una conexión nerviosa a través de la cual los hemisferios intercambian información y coordinan las actividades mentales. Un ejemplo de su funcionamiento puede verse en la integración del lenguaje, mientras que el hemisferio izquierdo elabora el lenguaje verbal, el derecho se encarga de la entonación y énfasis de nuestras palabras.

Las fibras de asociación conectan varias regiones corticales dentro de un mismo hemisferio. Pueden ser cortas, si conectan regiones adyacentes, o largas, cuando conectan entre sí zonas más distantes dentro de un hemisferio. Gracias a las fibras de asociación es posible tocar un instrumento mientras se lee la partitura, o tomar apuntes a la vez que se escucha al docente. Por último, las fibras de proyección son las aferentes y eferentes que conectan la corteza con el tronco encefálico.

Debido al aumento de la superficie de la corteza cerebral se originaron pliegues o circunvoluciones, a su vez separa-

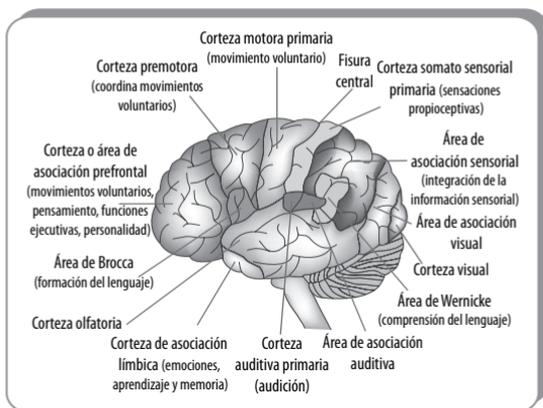


Figura 4.8. Esquema de la corteza cerebral con las principales funciones de cada lóbulo y áreas de asociación (Reyes-Velarde, 2010).

dos entre sí por surcos o cisuras, que son simplemente pliegues más profundos. Para facilitar la descripción se suele dividir cada hemisferio en lóbulos, que se denominan de acuerdo con los huesos craneales debajo de los cuales se encuentran. Se trata de los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital. El surco central divide las cortezas motora y sensitiva. Hacia adelante del mismo, la corteza motora envía información que inicia los movimientos del lado opuesto del cuerpo y, por detrás, se encuentra la corteza sensitiva, que recibe información también del lado contralateral del cuerpo. Entre las áreas motoras y sensoriales de la corteza, se encuentran las áreas de asociación, también denominadas “silenciosas”, pero que de hecho cumplen funciones tan importantes como las anteriores.

Las funciones de las distintas áreas del cerebro han sido localizadas mediante la estimulación directa de cerebros expuestos de humanos y de algunos animales, por examen *postmortem* de personas que sufrían lesiones o por remoción quirúrgica de algunas áreas en animales experimentales. A continuación se detallan las funciones diferenciales de am-

bos hemisferios cerebrales así cómo la localización de los distintos lóbulos junto a sus habilidades específicas.

Hemisferios cerebrales

¿Por qué se dice que el hemisferio izquierdo es el inteligente y el derecho es el artístico? ¿Qué hay detrás de esa creencia popular? ¿Cuál es el aporte de cada hemisferio cuando un alumno estudia las provincias argentinas leyendo un mapa? ¿Y cuando memoriza la letra y entonación del himno?

Cada hemisferio del cerebro humano está especializado en funciones diferentes: el izquierdo en el lenguaje hablado y escrito, habilidades lógicas y matemáticas, aprendizaje y procesos de pensamiento secuencial; el hemisferio derecho contiene las actividades espaciales, musicales, artísticas, intuitivas y de percepción. A su vez, cada hemisferio controla el lado opuesto del cuerpo, es decir que la información del cuerpo conecta con los hemisferios cerebrales en forma contralateral.

El hemisferio izquierdo no maneja una memoria del tipo textual sino que almacena conceptos que luego traduce a palabras. Es decir que comprende las ideas y conceptos, los almacena en un lenguaje no verbal y luego los traduce a un lenguaje o idioma aprendido por el individuo.

Al evaluar las habilidades de un individuo en cuanto al vocabulario, comprensión verbal, memoria y cálculo aritmético, se detecta el origen de la actividad en el hemisferio izquierdo. Este hemisferio procesa la información usando el análisis, es decir, descomponiendo el problema en piezas y examinando estas una por una (pensamiento secuencial).

La forma de elaborar y procesar la información del hemisferio derecho es distinta a la del izquierdo. Es un hemisferio integrador, centro de facultades visuo-espaciales no verbales, especializado en sensaciones, sentimientos, prosodia y habilidades artísticas y musicales.

Es fuertemente visual y trabaja en una forma intuitiva y simultánea integrando varios tipos de información (sonidos, imágenes, olores, sensaciones) y trasmitiéndolos como un todo. Utilizando sus facultades somos capaces de situarnos y orientarnos; podemos saber por qué calle estamos caminando mirando simplemente la arquitectura de los edificios. Al reconocer a una persona, la identificación del rostro también corre a cargo de la memoria visual del hemisferio derecho. El nombre que corresponde a la persona que posee dicho rostro conocido lo proporciona, en cambio el hemisferio izquierdo.

Dado que esta diferenciación en la simetría del cerebro existe al nacer, parecería ser innata y no un producto del aprendizaje y las experiencias, como se creía antiguamente.

Tabla 4.1. Funciones específicas de cada hemisferio

Izquierdo	Derecho
Pensamiento secuencial	Procesamiento holístico
Aprendizaje	Intuición
Habilidades matemáticas	Habilidades artísticas
Atención focalizada	Percepción
Lógica	Identificación de objetos por su forma
Lenguaje	Reconocimiento de temas musicales
Control y noción de tiempo	Relaciones visuales y espaciales

Lóbulos

Pese a que la distinción de lóbulos en el cerebro se realiza para facilitar su descripción y no cumple estrictamente con una división funcional, es posible asignar algunas tareas principales a cada uno.

El lóbulo frontal ocupa el área anterior al surco central y superior al surco lateral. Las funciones principales descriptas para este área tienen que ver con la elaboración del pen-

samiento, la planificación y toma de decisiones, el control o regulación de las emociones, los movimientos voluntarios y el lenguaje, tanto escrito como hablado. El lóbulo temporal, ubicado hacia el costado de la cabeza, ocupa el área inferior al surco lateral. Sus funciones consisten en la comprensión del lenguaje, el habla, la audición y la capacidad de reconocer, identificar y nombrar objetos. El lóbulo parietal cumple funciones relacionadas con la sensibilidad consciente (tacto, temperatura y dolor), el reconocimiento del espacio y el procesamiento de la información proveniente de receptores que se localizan en el interior del organismo. Se encuentra ubicado por detrás del surco central y por encima del lateral. Por último, el lóbulo occipital, ubicado en la parte posterior de la cabeza, se ocupa principalmente de las funciones relacionadas con la visión; incluyendo el reconocimiento de las letras y palabras.

Tabla 4.2. Funciones principales de los distintos lóbulos cerebrales

Lóbulo	Funciones
Frontal	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración del pensamiento, planificación y toma de decisiones - Control de las emociones - Movimientos voluntarios - Elaboración del lenguaje
Temporal	<ul style="list-style-type: none"> - Comprensión del lenguaje - Audición - Habla - Reconocimiento, identificación y nominación de objetos
Parietal	<ul style="list-style-type: none"> - Sensaciones conscientes - Reconocimiento espacial
Occipital	<ul style="list-style-type: none"> - Visión

Áreas de asociación

¿Cuáles son las funciones de la corteza cerebral humana que la hacen única? ¿De qué manera se llevan a cabo las funciones cognitivas tan complejas de nuestra especie?

Las áreas de asociación ocupan una extensión mayor de la corteza que el resto de las áreas corticales y son el sitio de actividades mentales elevadas. Reciben información sensorial de distintas áreas y la integran junto con los recuerdos almacenados, estableciendo conexiones complejas y numerosas con áreas corticales del mismo hemisferio cerebral o del hemisferio contralateral. Son las responsables de las funciones cognitivas superiores exclusivas de los humanos, ya que otros primates no presentan áreas de asociación tan complejas, capaces de integrar información proveniente de todos los canales sensoriales y de la memoria almacenada.

También son conocidas como áreas de asociación multimodal, en contraposición con las unimodales que solo reciben aferencias de una única modalidad sensitiva. Podemos mencionar tres áreas de asociación multimodal en la corteza: el área de asociación prefrontal; el área de asociación occipitoparietotemporal; y el área de asociación límbica.

El área de asociación prefrontal utiliza la información que recibe y ejecuta tareas de juicio reflexivo, planificación y toma de decisiones.

El lenguaje, por otro lado, es el resultado de la interacción entre diversas áreas de asociación: en la región occipitoparietotemporal están las áreas de asociación de la lectura y el habla, que obtienen a su vez información visual a partir de los centros de visión.

Debido al tipo de tareas que desempeñan, cualquier lesión en las áreas de asociación tiene efectos más difusos y difíciles de predecir que los daños que ocurren en otras partes de la corteza cerebral. Por ejemplo, las lesiones en el área de asociación occipitoparietotemporal derecha provocan el

llamado Síndrome de Negligencia Contralateral, en el cual se experimentan dificultades para percibir estímulos externos provenientes del lado izquierdo del cuerpo, ya sean estos visuales, auditivos o táctiles. En algunos casos también se ven afectados los estímulos del propio cuerpo, llegando a la inca-

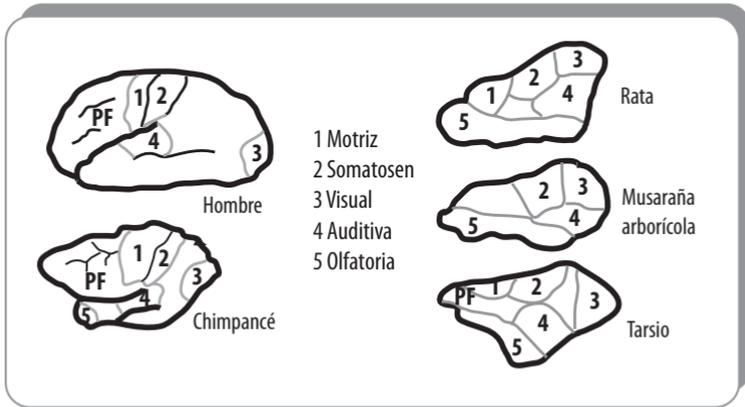


Figura 4.9. Corteza cerebral en diferentes mamíferos (Cervino, 2010).

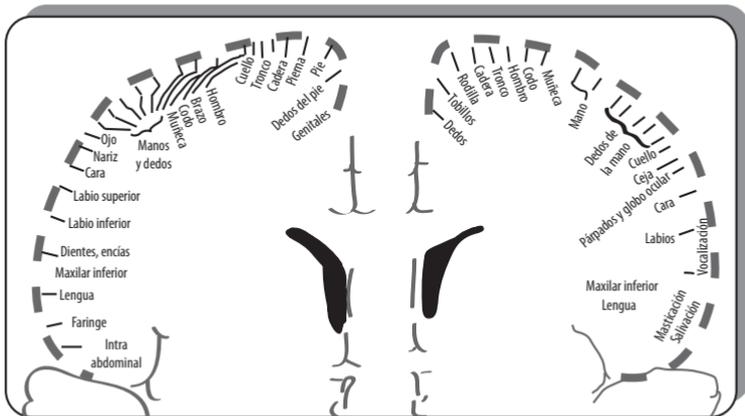


Figura 4.10. Una de las imágenes originales presentadas por Penfield y Rasmussen en 1950 donde se muestran las cortezas sensorial y la motora. Se indican las áreas corticales estimuladas junto a la parte del cuerpo que mostraba una respuesta (*Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 1993).

pacidad para reconocer el propio brazo o pierna izquierdos.

El área límbica es la encargada de la memoria, la identificación de los estímulos complejos del ambiente externo e interno, e influye en los aspectos emocionales y de motivación del comportamiento.

Homúnculo

En 1937 Wilder Penfield, neurocirujano de origen canadiense, elaboró un mapa de la corteza representándola mediante un homúnculo (del latín *homunculus*, “pequeño hombre”), cuyas formas desproporcionadas dan una idea de la diferente representación que tiene cada región del cuerpo en la corteza.

El trabajo surgió gracias a la estimulación cerebral en un paciente a fin de delimitar las zonas adecuadas para una cirugía. Se logró trazar la topografía precisa de la corteza y así relacionar partes discretas del cerebro con fenómenos motores o sensoriales que afectaban distintas partes del cuerpo. Pese a que el trabajo de Penfield amplió notablemente los conocimientos acerca de las funciones corticales, lo más llamativo de su trabajo fue la manera gráfica en la cual presentó los resultados.

La superficie de la corteza motora que controla los músculos de movilidad más amplia, y al mismo tiempo más fina y precisa, como los de la cara, boca, manos, pulgar y lengua, es mucho mayor que aquella del tronco, muslo y piernas. Lo mismo ocurre en la corteza sensitiva, a la cual llegan los estímulos táctiles de todo el cuerpo. En este caso, la superficie de la corteza más extensa corresponde a los sitios del cuerpo que poseen sensibilidad más exquisita, como labios, lengua, faringe, dedos de mano y pies, así como órganos genitales.

Sistema nervioso periférico (SNP)

El SNP consiste en las prolongaciones neuronales aferentes y eferentes reunidas entre sí en forma de nervios. Las dos divisiones funcionales son la sensorial o aferente que lleva información sensorial al SNC, y la motora o eferente que lleva información motora hacia los músculos y glándulas.

A su vez, la división eferente tiene dos componentes:

- 1) el sistema nervioso somático: nervios craneales y espinales que inervan los músculos esqueléticos, y
- 2) el sistema nervioso autónomo, que inerva la musculatura lisa, cardíaca y glándulas.

Nervios craneales

¿De qué manera el encéfalo coordina el funcionamiento del cuerpo? ¿Cómo se conduce toda esa información?

En total hay 12 pares de nervios craneales que, con la excepción del primero, emergen del tronco del encéfalo y llevan o traen información de todo el cuerpo en forma de impulsos nerviosos. Al igual que los nervios espinales, muchos de los nervios craneales contienen fibras que conducen impulsos desde el tronco encefálico hacia los órganos o músculos del cuerpo, es decir que son fibras eferentes o motoras. Otras son fibras aferentes, sensoriales, que llevan impulsos desde los órganos de los sentidos y órganos internos, en forma similar a lo que ocurre en la médula espinal.

Los nervios craneales se numeran de acuerdo con la posición desde la que emerge cada uno en el tronco del encéfalo, desde el más rostral (hacia el rostro), al caudal (hacia la médula espinal).

Tabla 4.3. Los nervios craneales y sus conexiones

I	Olfatorio	Lleva información de olores desde la cavidad nasal al bulbo olfatorio, en el lóbulo frontal.
---	-----------	--

II	Óptico	Información visual hacia el tronco encefálico y la corteza visual.
III	Óculomotor	Nervios aferentes que se encargan de los movimientos de los ojos, apertura y cierre de las pupilas y foco.
IV	Troctear	
V	Trigeminal	Sensaciones del rostro e inervación a músculos masticatorios.
VI	Abducente	Fibras motoras a los músculos externos del ojo, rotación lateral de los ojos.
VII	Faciales	Expresiones faciales, habla, alimentación.
VIII	Vestibulococlear	Información sensorial del equilibrio y la audición.
IX	Glossofaríngeo Sentido del gusto	Movimiento de la lengua y la faringe.
X	Vago	Inervación de varios órganos del cuerpo, entre ellos: laringe, faringe, esófago, vejiga, corazón y pulmones.
XI	Accesorio espinal	Fibras motoras a los músculos del cuello.
XII	Hipogloso	Fibras motoras a los músculos de la lengua.

El único nervio craneal que no emerge del tronco encefálico es el primero, el olfatorio, ya que lleva la información de los olores del ambiente directamente desde la cavidad nasal hasta la corteza cerebral. Consiste en axones cortos que llevan estos impulsos desde el epitelio olfatorio hasta el bulbo olfatorio, en el lóbulo frontal de la corteza cerebral. Se trata, entonces de un nervio que solo contiene fibras sensoriales.

El quinto nervio craneal, o nervio trigeminal, deja el tronco lateralmente a la altura media de la protuberancia. Se trata del principal nervio sensorial del rostro, cuya mayor porción consiste en fibras sensoriales de la cara, mientras que una pequeña cantidad está integrada por fibras motoras destinadas a los músculos masticatorios. Se trata, por lo tanto de un nervio mixto.

También en la parte inferior de la protuberancia, pero

más ventralmente, emergen los nervios faciales o séptimo par de nervios, que llevan impulsos motores a los músculos de la cara, también llamados músculos miméticos. Los impulsos provenientes del núcleo facial evocan contracciones de los músculos miméticos y son, por lo tanto, responsables de nuestras expresiones faciales conscientes. Dichos múscu-

La expresión facial de las emociones no depende
del núcleo facial

Mientras que los impulsos del núcleo facial activan las motoneuronas del rostro en movimientos conscientes como el habla, la alimentación o la gesticulación, son otros caminos neurales los responsables de la expresión de las emociones, tales como la pena o el placer. Como todos sabemos, una sonrisa genuina no puede producirse a pedido sino que surge espontáneamente sin poder mediar el control consciente. Es más, nuestras expresiones faciales a menudo revelan emociones que preferiríamos mantener ocultas. Es necesario un esfuerzo voluntario para suprimir estas expresiones espontáneas, que mayormente están controladas por conexiones descendientes del hipotálamo y posiblemente los ganglios basales.

Por lo tanto, las lesiones en cualquier segmento de los nervios faciales o sus inserciones no afectan las expresiones faciales involuntarias. Los pacientes con este tipo de lesiones rien al escuchar un buen chiste, pero no pueden fingir una sonrisa de amabilidad. Incluso en algunos de estos casos el paciente muestra expresiones faciales exageradas, ya que le es imposible suprimir la sonrisa o evitar el llanto. En enfermedades donde se ven afectados los ganglios basales, tales como el Parkinson, se observa el cuadro opuesto: el paciente puede sonreír voluntariamente, pero no presenta ninguna muestra espontánea de sus emociones.

Brodal, P. 1992. *The Central Nervous System. Structure and Function*, 3° ed. Oxford University Press.

los se usan además en conjunto con el habla, la alimentación, el parpadeo y demás movimientos del rostro.

Nervios espinales

Los nervios periféricos median la comunicación entre el sistema nervioso central y otras regiones del cuerpo. Estas fibras nerviosas entran y salen de la médula espinal en raíces. La unión de cada raíz dorsal y ventral forma un nervio y en total son 31 pares de nervios los que salen de la médula espinal. Las raíces dorsales corresponden a fibras sensitivas, aferentes, y las ventrales a fibras motoras, eferentes.

Los nervios sensoriales aferentes conducen impulsos desde los receptores y entran a la médula espinal a través de las raíces dorsales. Los cuerpos celulares de estas neuronas se encuentran en los ganglios espinales. Las fibras de las raíces dorsales se conectan tanto directa como indirectamente a través de interneuronas con neuronas de la médula espinal, enviando sus axones a varias partes del encéfalo. Estos axones se agrupan en la sustancia blanca de la médula. Todas las neuronas mencionadas, ya sean motoras o sensoriales, se encuentran bajo la influencia de sinapsis provenientes de niveles superiores del SNC.

En cuanto a las fibras motoras, que dejan la médula a través de las raíces ventrales, podemos distinguir dos tipos de neuronas. Las neuronas somáticas siguen los nervios espinales y envían señales a los músculos (músculos controlados voluntariamente). Por otro lado, las neuronas motoras del sistema nervioso autónomo inervan la musculatura lisa del cuerpo, controlando órganos, vasos y glándulas.

Reflejos

¿Puede la médula producir actos reflejos por sí misma o requiere siempre de la intervención del encéfalo? ¿Qué ocurre cuando un alumno gira la cabeza frente a un sonido repentino, como el timbre del recreo? ¿Es necesario para los bebés aprender el reflejo de succión o es innato?

Cuando la respuesta a un estímulo es automática (involuntaria), y está mediada por el SNC, se conoce como reflejo. Ya sea que se trate de reflejos espinales, craneales o viscerales, todos comparten algunas propiedades. Los actos reflejos son estereotipados: el mismo estímulo desencadena siempre el mismo tipo de respuesta y al aumentar la fuerza del estímulo, también se incrementa la respuesta, en fuerza o magnitud. Asimismo, son innatos: no pueden aprenderse a partir de la experiencia y son fundamentales en la supervivencia o reproducción de los individuos; sin embargo, en algunos casos, la acción puede ser mejorada mediante el aprendizaje o la práctica. Un ejemplo claro lo ofrece el reflejo de succión de los recién nacidos, sin el cual no podrían alimentarse.

En todos los casos, la base estructural de los actos reflejos es el arco reflejo. Algunos son simples, tanto por el estímulo que los desencadena como por su respuesta, tal es el caso del parpadeo (cerrar los ojos cuando un objeto se acerca a la córnea); otros son más complejos y requieren la cooperación de muchas estructuras, como ocurre en el reflejo de tragar. Pueden involucrar solo algunas regiones del SNC, como la médula espinal o el tronco del encéfalo, o bien incluir otras áreas, incluso la corteza cerebral.

En cuanto a la cantidad de neuronas involucradas también encontramos diferencias. Algunos reflejos están mediados por una cadena de solo dos o tres neuronas, otros por redes neuronales extensas. Los componentes de un arco reflejo típico son:

- 1) un receptor, que pueden ser células sensoriales de la piel, un

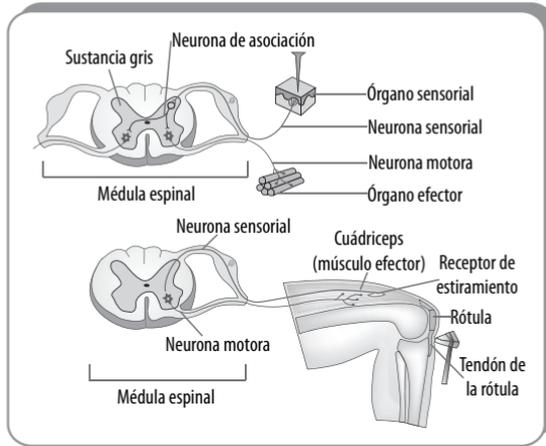


Figura 4.11. Esquema de un arco reflejo espinal típico (arriba). Componentes del reflejo patelar o rotuliano (abajo) (Hickman, 2000).

músculo u otro órgano;

- 2) una neurona aferente o sensorial que transporta el impulso hasta el SNC;
- 3) el SNC, donde se producen las sinapsis entre las neuronas sensoriales y las de asociación;
- 4) la neurona eferente o motora que lleva el impulso desde el SNC hacia el efector y
- 5) el efector, mediante el cual se responde al estímulo inicial y puede tratarse de un órgano, músculo o glándula.

Uno de los ejemplos más conocidos de arco reflejo es el reflejo patelar que se utiliza como prueba clínica de rutina e implica el movimiento de la pierna, como una patada, al recibir un golpe suave bajo la rodilla. En ocasiones también un músculo puede responder al estiramiento con una contracción; el reflejo de estiramiento se distingue del estiramiento voluntario por el brevísimo tiempo que transcurre entre la flexión y el estiramiento. Este reflejo permite mantener constante la longitud de los músculos y, por consi-

guiente, la posición de los miembros involucrados.

Otros arcos reflejos complejos intervienen en movimientos automáticos de la cabeza y los ojos, o incluso el cuerpo, en dirección a un sonido sorpresivo, por ejemplo al sonar el timbre en el aula mientras los alumnos se encuentran trabajando en silencio. También pueden describirse varios reflejos vestíbulo-oculares que son los responsables de que la imagen se mantenga constante en la retina aunque la cabeza se mueva. Así, por ejemplo, es posible leer las anotaciones hechas sobre un pizarrón muy ancho.

Tabla 4.4. Ejemplos de reflejos espinales y craneales

Espinales	Craneales
<i>Rotuliano</i> : estiramiento de la pierna frente a un golpe bajo la rótula.	<i>Pupilar</i> : control de la entrada de luz en el ojo.
<i>Flexión</i> : retiro de la mano o el pie frente al dolor.	<i>Vestíbulo ocular</i> : mantenimiento de la imagen en la retina.
<i>Estiramiento</i> : contracción del músculo frente al estiramiento.	<i>Corneal</i> : cierre de ambos ojos frente a un objeto que se acerca o toca la córnea.

Sistema nervioso autónomo

En situación de examen, un alumno suda, su ritmo cardíaco aumenta y sus pupilas se dilatan. ¿De dónde provienen dichas reacciones fisiológicas? ¿Cómo se generan y regulan las funciones internas del cuerpo? El sistema nervioso autónomo gobierna las funciones involuntarias e internas del cuerpo que normalmente no involucran la conciencia, tales como los movimientos del sistema digestivo y el corazón, las contracciones del músculo liso, vasos sanguíneos, vejiga o iris del ojo, junto con las secreciones de varias glándulas.

Los nervios autónomos se originan en el encéfalo o médula espinal, al igual que los del sistema nervioso somático

pero, a diferencia de aquellos, las fibras autónomas están formadas por dos neuronas en lugar de una sola. Estas neuronas hacen sinapsis en ganglios, fuera de la médula espinal, aunque antes de llegar al músculo efector, y se las conoce como preganglionar a la neurona presináptica y posganglionar a la postsináptica.

Todas las fibras preganglionares, ya sean de la división simpática o parasimpática, liberan acetilcolina como neurotransmisor en la sinapsis con las neuronas posganglionares. Sin embargo, las fibras posganglionares del sistema parasimpático liberan acetilcolina, mientras que las de la división simpática, salvo pocas excepciones, liberan noradrenalina.

Las dos subdivisiones del sistema nervioso autónomo son la simpática y la parasimpática. La mayoría de los órganos del cuerpo están inervados por fibras de las dos divisiones y sus acciones sobre los órganos son antagónicas. Si una fibra estimula la actividad en determinado órgano, la otra lo inhibe. Por ejemplo, las fibras parasimpáticas inhiben el latido cardíaco pero estimulan los movimientos peristálticos del intestino, mientras que las fibras simpáticas incrementan el ritmo cardíaco a la vez que inhiben el movimiento peristáltico.

A comienzos del siglo XX, cuando Langley, definió las divisiones simpática y parasimpática, también caracterizó una tercera división: el sistema nervioso entérico. Se trata de una capa de numerosas agrupaciones pequeñas de neuronas, que se unen entre sí y regulan la motilidad de la pared intestinal. El sistema nervioso entérico ha sido considerado un “pequeño cerebro intestinal” e, inicialmente, poseedor de un alto grado de autonomía. Sin embargo, en la actualidad se estima que actúa coordinadamente con fibras eferentes correspondientes al nervio vago (parasimpáticas) que regula la actividad motora, procesos secretores y de absorción intestinales.

Como regla general, la división parasimpática está relacionada con situaciones de reposo, cuando actividades tales como comer, digerir, orinar y otras de tipo vegetativo deben ponerse en funcionamiento. La división simpática se activa en situaciones de estrés físico o emocional. Bajo dichas condiciones, se acelera el ritmo cardíaco, se dilatan los vasos sanguíneos que van a la musculatura esquelética y se constriñen los que van a las vísceras, baja la actividad del sistema digestivo y la tasa metabólica aumenta. La importancia de estas respuestas en situaciones de emergencia es permitir que el cuerpo se encuentre preparado en caso de tener que huir o pelear. De todas formas

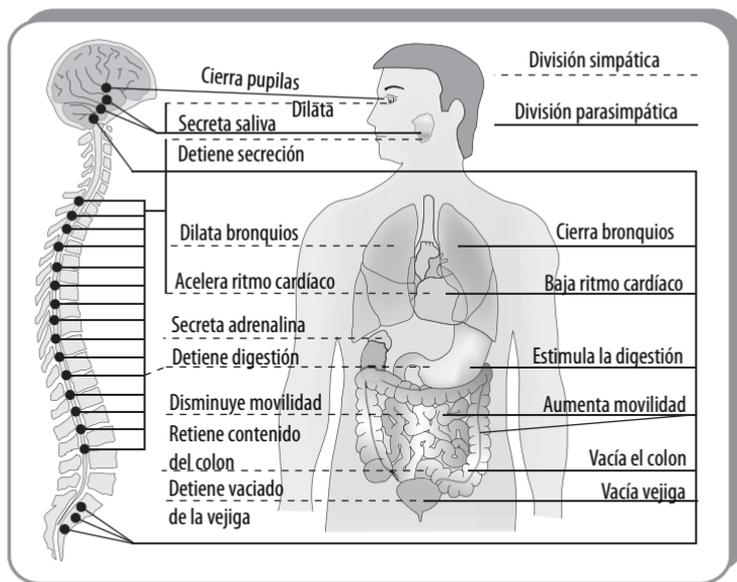


Figura 4.12. Representación esquemática de las funciones principales del sistema nervioso autónomo. A la izquierda, la salida de los nervios autónomos desde el SNC. Los nervios simpáticos (línea punteada) que dejan la espina dorsal en las áreas torácica y lumbar. La salida de los nervios parasimpáticos (línea sólida) desde las regiones craneales y sacra. La mayoría de los órganos está inervada por fibras de ambas divisiones (Hickman, 2000).

es importante aclarar que el sistema simpático, en situación de reposo, también se ocupa de mantener constantes la temperatura corporal y la presión sanguínea.

Bibliografía

- Brodal, P. 1992. *The Central Nervous System. Structure and Function*, 3° ed. Oxford, Oxford University Press.
- Campbell, N. A. 2001. *Biología*. México, Pearson Educación.
- Cervino, C. 2010. *Neurología: principios anátomo-funcionales del sistema nervioso*, 3° ed. Buenos Aires, Praia.
- González, S. T. 2000. "Demencia cortical y subcortical. ¿Dónde está la diferencia?", *Medicina Clínica* 114, pp. 577-578.
- Grammatico, D. y Romero, C. 2010. "Áreas corticales elocuentes: estudio con RMF", *Revista Argentina de Neurociencia* 24, p. 107.
- Hernández-Muela, S.; Mulas, F. y Mattos, L. 2004. "Plasticidad neuronal funcional. Neurodesarrollo y trastornos del aprendizaje", *Revista de Neurología* 38, pp. 58-68.
- Hickman, C. P. Jr.; Roberts, A. y Larson, L. 2000. *Principios integrales de Zoología*. 10° ed. Madrid, McGraw Hill Interamericana.
- Kandel, E. R.; Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. 1995. *Essentials of neural science and behavior*. Nueva York, McGraw Hill Professional.
- Kolb, B. y Whishaw, I. 2002. *Desarrollo del sistema nervioso*. Madrid, McGraw Hill.
- Muslow, G. G. 2008. "Desarrollo emocional: impacto en el desarrollo humano", *Educação, Porto Alegre* 31, pp. 61-65.
- Myers, D. G. y Sigaloff, P. 2005. *Psicología*. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- Reyes-Velarde, M. A. 2010. "Entendiendo la anatomía de la EM". <http://www.hablemosdeem.com>.
- Rodríguez-Santos, F.; Aranceta, B. J. y Serra, M. L. 2008. *Psicología y Nutrición*.

Barcelona, Elsevier.

Schott, G. D. 1993. "Penfield's homunculus: a note on cerebral cartography",
Journal of Neurology 56, pp. 329-333.

Snell, R. S. 2007. *Neuroanatomía clínica*. Buenos Aires, Médica Panamericana.

CAPÍTULO 5

Sistema neuroendocrino

Carolina Facchinetti

¿Cómo afectan las hormonas al comportamiento, y éste a la liberación de hormonas?

¿Qué ocurre en nuestro cuerpo en un momento de estrés? ¿Y en nuestro cerebro?

¿Qué factores hormonales afectan nuestro metabolismo?

Un poco de historia

Los organismos multicelulares requieren de la comunicación entre células para llevar a cabo sus funciones. En este sentido, la biología ha revelado una gran similitud en los genomas y vías de comunicación entre especies no emparentadas del reino animal, que difieren en su ecología, morfología y comportamiento. Durante la evolución han surgido dos sistemas principales de comunicación: nervioso y endocrino. Estos dos sistemas de control son los responsables de coordinar las actividades entre los órganos en respuesta a las necesidades fisiológicas, manteniendo las condiciones del cuerpo en un estado de equilibrio, denominado

homeostasis. La distinción clásica entre el control nervioso y el control endocrino radica, principalmente, en los medios por los cuales es transmitida la información. En el sistema nervioso central se forman redes neuronales donde las señales eléctricas viajan a lo largo de los axones y dendritas de las neuronas, el impulso nervioso llega a la terminal de la neurona y los neurotransmisores son liberados al espacio sináptico y se difunden a las células blanco, que por lo general son otras neuronas (Fig. 5.1).

Por el contrario, en el sistema endocrino las células liberan un tipo de mensajeros químicos llamados *hormonas* al torrente sanguíneo (sangre) que, si bien circulan por todo el cuerpo, sólo son captadas por las células blanco (Fig. 5.1). Una célula *blanco* o *diana* presenta receptores específicos que le permiten interactuar con la hormona. Este proceso de secreción hormonal y encuentro entre la hormona y el receptor puede durar minutos u horas, lo mismo que su efecto. Los órganos que liberan hormonas se denominan glándulas endócrinas, debido a que las hormonas que liberan se secretan directamente al torrente sanguíneo e intervienen en el medio interno del organismo, es decir, en los tejidos que componen su órganos.

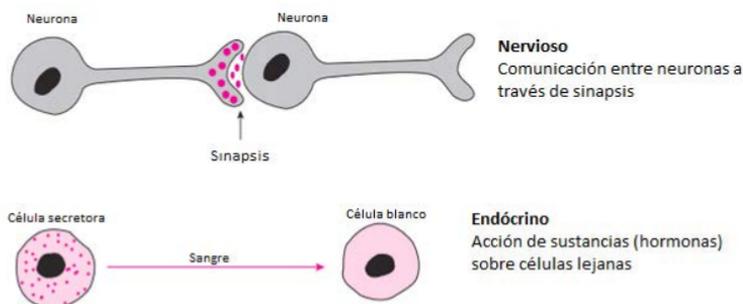


Figura 5.1. Esquemas de las comunicaciones entre neuronas (sinapsis) y células del sistema endocrino (vía sanguínea). Adaptado de Tresguerres (2005).

En base a estas diferencias, durante muchos años se consideró que ambos sistemas funcionaban de manera completamente independiente. Sin embargo, con posteriores investigaciones se conoció cómo interactúan ambos sistemas, cómo el encéfalo controla la comunicación hormonal y cómo las hormonas afectan el funcionamiento del sistema nervioso. A comienzos del siglo XX se comprobó que la mayoría de las glándulas del cuerpo liberan sus hormonas únicamente si son activadas por otra hormona específica liberada por la hipófisis o glándula pituitaria (Fig. 5.2). Esto llevó, en esa época, a considerar a la hipófisis como la principal glándula reguladora del sistema endocrino. Sin embargo, perdió su protagonismo cuando se descubrió que el hipotálamo, una estructura del cerebro, es el que desempeña el papel principal en el control del sistema endocrino y del que depende el funcionamiento de la hipófisis.

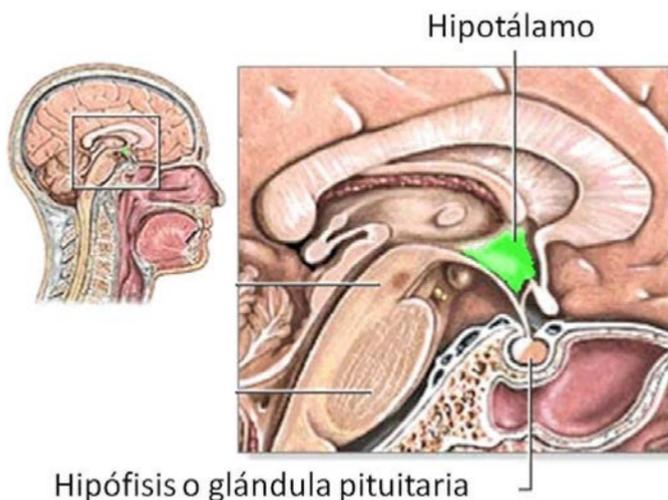


Figura 5.2. La hipófisis está situada en la base del encéfalo, por debajo del hipotálamo, al cual se encuentra estrechamente conectada.

Posteriores estudios demostraron la existencia de una conexión directa entre el hipotálamo y la hipófisis, y fueron Ernst y Berta Scharrer y el fisiólogo Geoffrey Harris quienes aportaron el conocimiento actual sobre la función endocrina del hipotálamo. Los Scharrer desarrollaron el concepto de neurosecreción (Fig. 5.3), la idea de que ciertas neuronas actúan como transductores neuroendocrinos transformando la información de las señales eléctricas provenientes de las neuronas en información química hormonal, que se libera al torrente sanguíneo. Harris advirtió que el hipotálamo libera determinadas neurohormonas a la circulación sanguínea que interactúan con la hipófisis provocando la liberación de las hormonas hipofisarias. Estos dos acontecimientos observados constituyen la base de la neuroendocrinología moderna.



Figura 5.3. Comunicación neuroendocrina; algunas neuronas actúan como transductores neuroendocrinos transformando la información de las señales eléctricas provenientes de las neuronas del sistema nervioso en información química hormonal, que se libera al torrente sanguíneo. Imagen adaptada de Tresguerres (2005).

De qué manera intervienen e influyen las hormonas en el comportamiento y de qué modo el comportamiento regula la concentración de hormonas, se estudia con detalle al tratar los mecanismos neurobiológicos de la motivación, de la emoción, del aprendizaje y de la memoria.

Sistema neuroendocrino

Se denomina sistema neuroendocrino a la interacción entre el sistema nervioso y el sistema endocrino. Esta comunicación depende de la traducción de información mediante impulsos nerviosos y sinapsis en información hormonal (neurosecreción, Fig. 5.3), y se manifiesta a través del hipotálamo, por lo que a este se lo denomina órgano neuroendocrino. Los órganos blanco del sistema neuroendocrino son justamente las glándulas del sistema endocrino, entre las que se encuentran las glándulas hipófisis, tiroides, páncreas, suprarrenal, los ovarios y los testículos (Fig. 5.4).

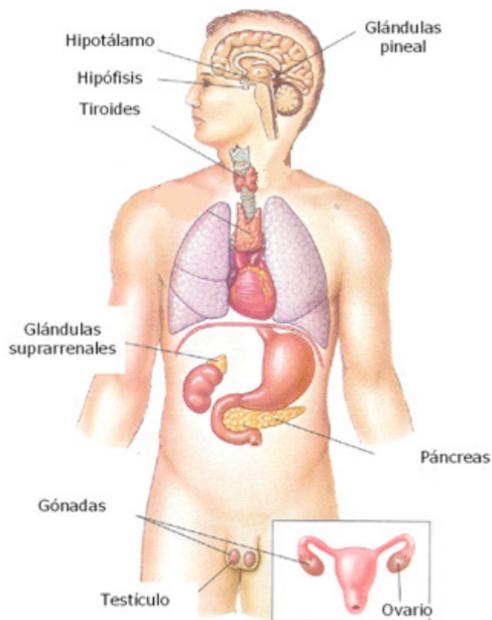


Figura 5.4. Las glándulas endócrinas que están en diferentes regiones del cuerpo. Adaptado de Tresguerres (2003).

¿Qué son las hormonas?

Las hormonas son moléculas orgánicas producidas y liberadas fundamentalmente por el hipotálamo, hipófisis y otras glándulas endocrinas. Son mensajeros internos a “larga distancia” relacionados a funciones reguladoras como el crecimiento, el metabolismo y la reproducción. Las hormonas son transportadas a todos los lugares del cuerpo por medio del torrente sanguíneo. Sin embargo, si bien pueden llegar a todo el cuerpo, sus efectos se producen únicamente al llegar a las células que tienen la capacidad de reconocerlas. Estas células se denominan diana o blanco, ya que presentan receptores específicos a los que las hormonas se unen (un proceso similar al que sucede con los neurotransmisores y sus receptores en el sistema nervioso).

Todas las hormonas presentan ciertas características:

- » Se liberan fuera de la célula, hacia el torrente sanguíneo.
- » Se difunden a los vasos sanguíneos viajando a través de la sangre.
- » Intervienen en el metabolismo.
- » Afectan tejidos que pueden encontrarse lejos de su punto de origen.
- » Provocan efectos a concentraciones bajas y, en algunos casos, estos son directamente proporcionales a su concentración.
- » Requieren de la adecuada funcionalidad del receptor.

La producción hormonal requiere de determinados mecanismos para mantener la homeostasis del cuerpo. La mayor parte de las secreciones hormonales son reguladas por un proceso conocido como *retroalimentación negativa* (*feedback negativo*). Este mecanismo se puede comparar al me-

canismo de control del termostato de una estufa. Cuando la temperatura desciende con relación a un determinado nivel, el termostato activa la caldera para que ella genere una mayor temperatura; cuando la temperatura se incrementa y pasa ese determinado nivel, el termostato desactiva la caldera para que no genere más calor. En el cuerpo humano existe un equivalente al termostato de una estufa: la interacción hipotálamo-hipófisis, que está conectada a sensores periféricos que envían información tanto del exterior como del interior del cuerpo. Dependiendo de la información recibida, a través de esos sensores se van a liberar o dejar de liberar diferentes hormonas al torrente sanguíneo.

Las hormonas, según sus características y funciones, pueden tener un efecto estimulante, promoviendo la actividad del tejido u órgano; o, por el contrario, un efecto inhibitorio, disminuyendo su actividad. Es importante destacar que dos hormonas pueden ser antagonistas cuando tienen efectos opuestos o sinergistas cuando, en conjunto, tienen un efecto mayor que por separado. Tomemos el caso de la insulina y el glucagón, dos hormonas antagonistas secretadas por el páncreas y que participan en la regulación de la glucosa. La insulina facilita la incorporación de glucosa por las células disminuyendo su concentración en sangre, mientras que el glucagón produce la liberación de glucosa desde los reservorios, como en el caso del hígado, aumentando así la concentración de glucosa en sangre. Es decir, cuando los niveles de glucosa aumentan, se produce una inhibición en la secreción de glucagón y un aumento en la secreción de insulina, mientras que cuando la concentración de glucosa disminuye, aumenta la secreción de glucagón y disminuye la de insulina.

Por otro lado, hay dos hormonas sinergistas, como son la lutinizante (LH) y los estrógenos. Cuando los estrógenos, hormonas secretadas en el ovario, aumentan su concentra-

ción en sangre, estimulan a la hipófisis para que, en respuesta a este estímulo, secreta la hormona LH provocando la ovulación. Además, la LH secretada actúa sobre los ovarios estimulando la síntesis de más estrógenos, los que a su vez incrementan la secreción de LH.

La síntesis de todas las hormonas depende de la producción de proteínas, a partir de la vía de transcripción y traducción (ver Capítulo 1). Una vez que se convierten en hormonas activas, se almacenan en gránulos o vacuolas de secreción que serán los encargados de liberar las hormonas al torrente sanguíneo. Pensemos qué ocurre con los niños desnutridos o malnutridos. ¿De qué manera impacta la desnutrición en la producción de hormonas? Una malnutrición o desnutrición lleva a un déficit de aminoácidos esenciales, por lo tanto a un déficit en la producción de hormonas o en la sensibilidad de los órganos diana a las hormonas, ya que hay una disminución de receptores.

Hipotálamo-hipófisis

El hipotálamo es un centro de integración esencial ya que posee funciones esenciales para la vida. Forma parte del diencefalo y se sitúa por debajo del tálamo. Cumple múltiples funciones reguladoras del sistema nervioso autónomo y endocrino, incluyendo el crecimiento, metabolismo, respuestas de estrés, regulación de agua y sales corporales y ritmos biológicos. Regula comportamientos relacionados con la supervivencia de las especies como la reproducción, sed, hambre, sueño y comportamientos de lucha o huida. A su vez, presenta múltiples conexiones que le proporcionan información del medio celular (medio interno) y del medio externo, y utiliza dicha información controlando la secreción de hormonas que regulan las actividades metabólicas de otros órganos (ver Fig. 5.5).

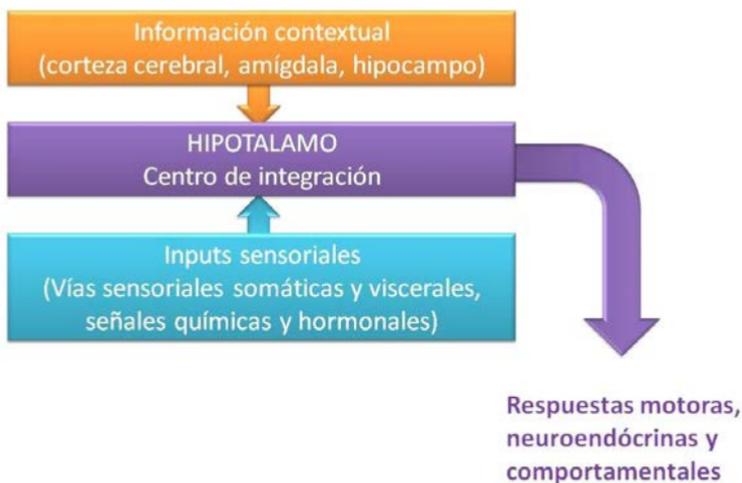


Figura 5.5. Mecanismos fisiológicos que subyacen a la función del hipotálamo.

La mayoría de las estructuras del sistema nervioso central se comunican con el hipotálamo y están influenciadas por el mismo. El hipotálamo presenta grupos de células denominadas *neurosecretoras* (Fig. 5.6), que tienen características neuronales y endocrinas. Estas células neurosecretoras, ante la llegada de un estímulo que provoca la generación y conducción de un impulso nervioso, tienen la capacidad de liberar hormonas al torrente sanguíneo. Es similar a lo que ocurre con los neurotransmisores; sin embargo, estas hormonas son liberadas al torrente sanguíneo y no al espacio sináptico, por lo que reciben el nombre de *neurohormonas* (Tabla 5.1 y Fig. 5.3). En resumen, el hipotálamo es la vía de comunicación entre el sistema nervioso y el endocrino a través de las neurohormonas, que son sintetizadas en neuronas neurosecretoras del hipotálamo y liberadas al torrente sanguíneo.

	Sistema nervioso	Sistema endócrino	Sistema neuroendócrino
Células	Neuronas	Células endócrinas	Células neuroendócrinas
Liberan	Neurotransmisores	Hormonas	Neurohormonas
Medio al que los liberan	Espacio sináptico	Torrente sanguíneo	Torrente sanguíneo
Distancia que recorren	Corta	Larga	Corta o Larga
Órganos blanco	Otras neuronas, glándulas y células neuroendócrinas, células musculares,	Glándulas endócrinas (por ejemplo ovario, testículo, corteza adrenal, entre otras) e hipotálamo	Hipotálamo (retroalimentación negativa) Adenohipófisis y glándulas endócrinas
Duración del efecto	Milisegundos	Segundos o meses	Segundos o meses

Tabla 5.1. Diferencias y similitudes entre los sistemas nervioso, endocrino y neuroendocrino

El hipotálamo no sólo recibe información desde diferentes áreas del encéfalo, sino que recibe a su vez señales de retroalimentación de las hormonas que circulan en la sangre (ver Fig. 5.7). Por lo tanto, no solo es una fuente liberadora de neurohormonas sino que también actúa como órgano blanco de otras hormonas. Todos estos mensajes se integran en el hipotálamo, y éste responde produciendo neurohormonas que pasan al siguiente eslabón en esta jerarquía, la hipófisis, que se encuentra estrechamente conectada al hipotálamo. La hipófisis consta de dos regiones funcionalmente diferenciadas: la hipófisis posterior o neurohipófisis, que se encarga de almacenar y liberar las neurohormonas sintetizadas por el hipotálamo (oxitocina y vasopresina); y la hipófisis anterior o adenohipófisis, que actúa como una glándula endocrina por sí misma, ya que ella misma fabrica sus hormonas respondiendo a las neurohormonas liberadas por el hipotálamo (ver Fig. 5.6 y 5.7). Estas neurohormonas,

que actúan sobre la adenohipófisis, se denominan *factores liberadores* o *inhibidores*, según actúen estimulando o inhibiendo la secreción hormonal, respectivamente (ver Fig. 5.6).

La adenohipófisis está directamente conectada con el hipotálamo por medio de un complejo sistema vascular (sanguíneo) denominado *sistema portal hipotálamo-hipofisario*. En este sistema, el flujo de sangre es de hipotálamo a hipófisis, lo que permite que los “factores liberadores o inhibidores” liberados lleguen con facilidad a las células de la adenohipófisis. Esta conexión sanguínea es crítica para el mantenimiento de numerosas funciones fisiológicas involucradas en el metabolismo, crecimiento, reproducción, respuesta al estrés y lactancia. Por el contrario, las conexiones hipotálamo-neurohipófisis son fundamentalmente de tipo nervioso; las neurohormonas que recibe y circulan por la neurohipófisis son producidas directamente por neuronas del hipotálamo.

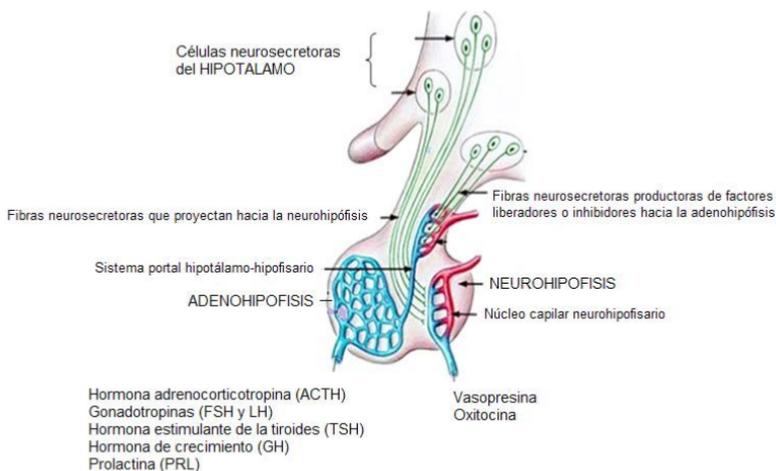


Figura 5.6. Detalle de la comunicación entre el hipotálamo y la hipófisis (lóbulo anterior = adenohipófisis y lóbulo posterior = neurohipófisis), y las hormonas y neurohormonas liberadas.

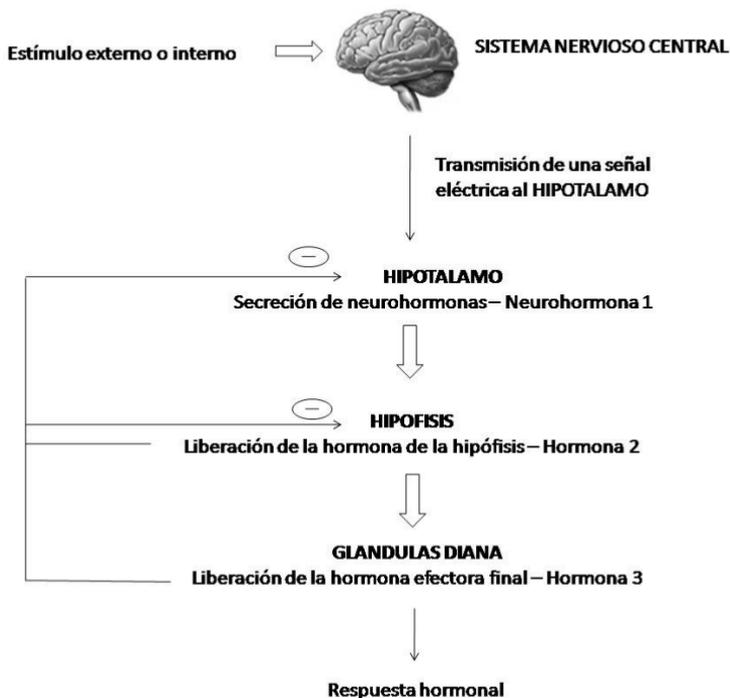


Figura 5.7. Ante la llegada de un estímulo externo o interno al sistema nervioso central, este lo trasmite al hipotálamo, el cual libera una neurohormona (neurohormona 1) cuya acción puede ser la liberación de una nueva hormona a partir de la hipófisis (hormona 2), que a su vez originará una respuesta o la liberación de otra hormona (hormona 3) a partir de las glándulas diana. El aumento de los niveles de las hormonas 2 y 3 genera una retroalimentación (*feedback*) negativa, inhibiendo la liberación hipotalámica de la hormona 1 e hipofisaria de la hormona 2 que puso en marcha el proceso.

Regulación de las neurohormonas liberadas por la neurohipófisis

La neurohipófisis o lóbulo posterior de la hipófisis está formada por la proyección de axones de neuronas hipotalámicas.

micas cuyos cuerpos neuronales o somas están situados en el hipotálamo (Fig. 5.8). Por lo que, aunque anatómicamente la neurohipófisis está separada del hipotálamo, funcionalmente ha de considerarse como parte de este. La neurohipófisis es el lugar de almacenamiento y secreción de dos neurohormonas: la vasopresina y la oxitocina, que se sintetizan en neuronas hipotalámicas.

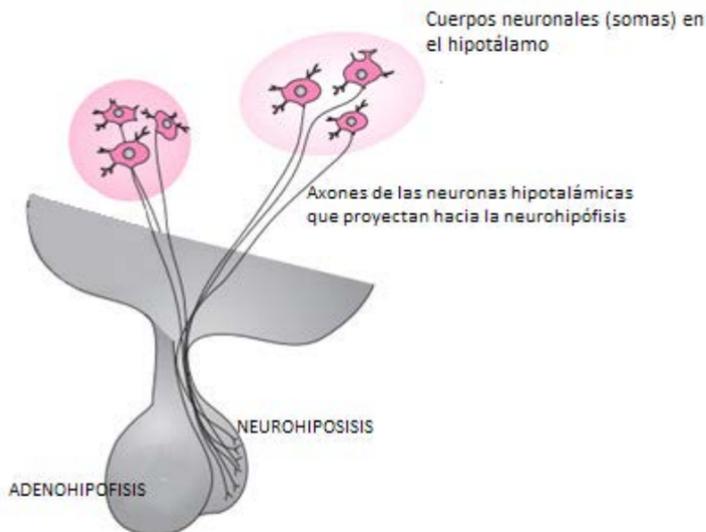


Figura 5.8. Esquema de la conexión nerviosa hipotálamo-neurohipófisis. Las neurohormonas vasopresina y oxitocina son producidas en los somas de las neuronas hipotalámicas que proyectan sus axones hacia la neurohipófisis, donde finalmente se liberan al torrente sanguíneo. Imagen adaptada de Tresguerres (2005).

Oxitocina

Su liberación se produce principalmente como respuesta a la presión ejercida sobre el cuello del útero en el parto, estimulando la contracción del útero durante el proceso. En el período que lo precede hay un aumento considerable en el número de receptores de esta hormona en la musculatura

del miometrio (músculo del útero). Durante el parto, por un mecanismo de retroalimentación mediado por la oxitocina, se produce un ciclo de contracciones uterinas que van aumentando en intensidad y frecuencia y que culminan con el nacimiento.

También estimula la producción de leche en las glándulas mamarias. La succión del bebé actúa como estímulo táctil, que viaja a través de los nervios, llegando al hipotálamo y estimulando la secreción de oxitocina. La oxitocina, liberada al torrente sanguíneo a través de la neurohipófisis, llega a las glándulas mamarias donde promueve la contracción de las células de las glándulas de leche. La lactancia es un buen ejemplo de reflejo neuroendocrino, donde los impulsos nerviosos que llegan hasta el hipotálamo provocan la secreción endocrina (ver Fig. 5.9).

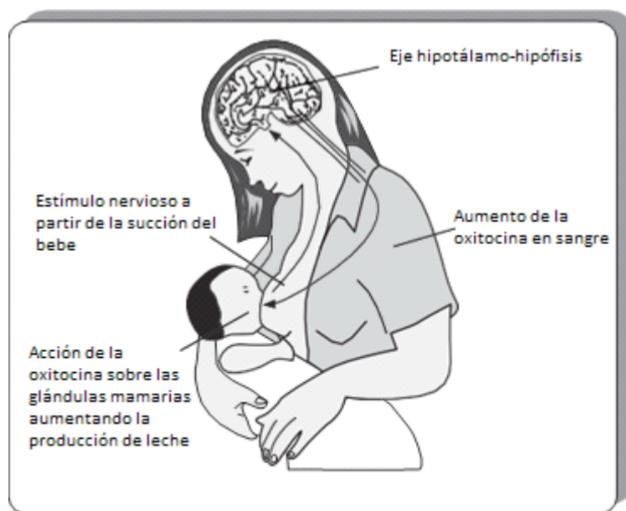


Figura 5.9. Regulación de la producción de leche.

Principales hormonas de la adenohipófisis y su regulación

La adenohipófisis es una verdadera glándula endocrina compuesta de células secretoras bajo un estricto control hipotalámico. Como mencionamos anteriormente, la adenohipófisis está conectada directamente con el hipotálamo por medio del sistema portal hipotálamo-hipofisario (Fig. 5.6). En este sistema, el flujo de sangre es de hipotálamo a hipófisis, lo que permite que los factores liberados por el hipotálamo lleguen con facilidad a las células de la adenohipófisis.

Las principales hormonas adenohipofisarias son las siguientes (Fig. 5.10):

- » Hormona adrenocorticotropina (ACTH): actúa sobre la glándula suprarrenal, estimulando la síntesis hormonal (fundamentalmente de glucocorticoides como el cortisol) y el desarrollo de la corteza suprarrenal.
- » Hormona foliculoestimulante (FSH): actúa sobre las gónadas. Estimula el crecimiento folicular y la síntesis de estrógenos en las mujeres. En los varones estimula la formación de espermatozoides.
- » Hormona luteinizante (LH): actúa sobre las gónadas. En las mujeres estimula la ovulación y la formación del cuerpo lúteo, además de estimular la síntesis de estrógenos y progesterona. En los varones, estimula la síntesis de testosterona.
- » Hormona estimulante de la tiroides (TSH): actúa sobre la tiroides. Estimula la síntesis y la liberación de hormonas tiroideas y estimula el crecimiento de la glándula tiroides.
- » Hormona de crecimiento (GH): estimula el crecimiento corporal aunque, a diferencia del resto de hormonas adenohipofisarias, la GH carece de un órgano diana

definido, de modo que el crecimiento corporal es, en gran medida, resultado de sus múltiples e importantes acciones sobre el metabolismo.

- » Prolactina (PRL): estimula la producción de leche y el desarrollo de la glándula mamaria.

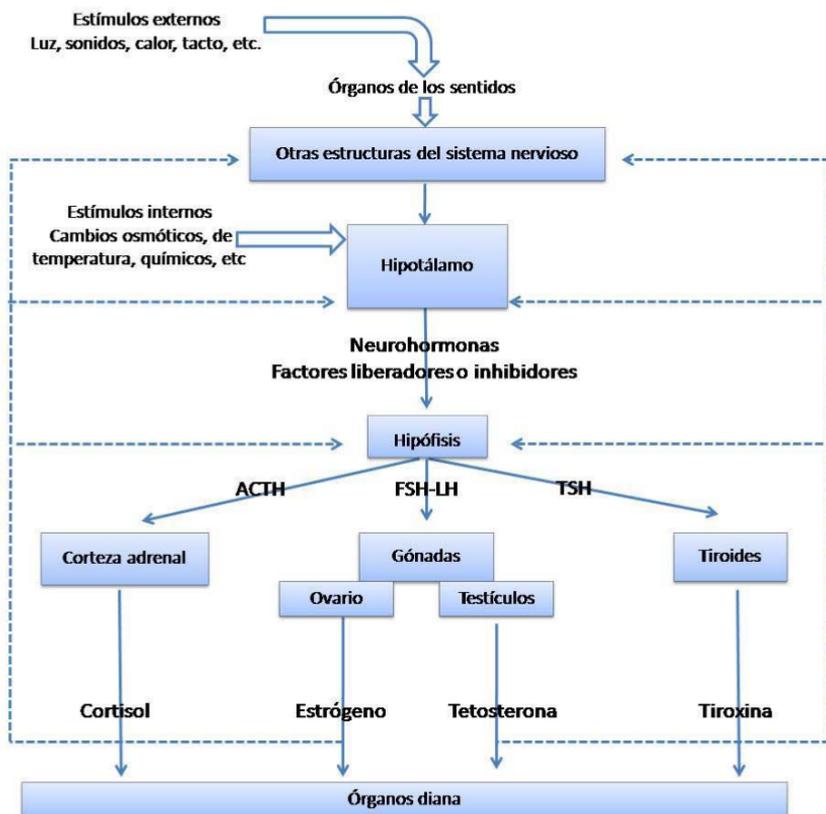


Figura 5.10. Resumen de las principales hormonas adenohipofisarias y su regulación.

Las hormonas y el estrés

Cuando sufrimos una situación de amenaza, ya sea estrés físico o psicológico, como dolor, cansancio, miedo a un examen o cambios de la temperatura, es un claro ejemplo de cómo se produce una integración neuroendocrina. Ante alguno de estos estímulos se producen una serie de reacciones que preparan al organismo para la respuesta de huida, miedo o lucha. Esta respuesta involucra un conjunto de estímulos sensoriales que se integran a nivel de sistema nervioso central y estimulan la actividad muscular. Por un lado se genera la respuesta de ansiedad (esta respuesta se verá en detalle en el Capítulo 9), a partir del sistema nervioso autónomo (simpático y parasimpático) y a ciertas estructuras del sistema límbico. Por otro lado se genera la respuesta hormonal, en el hipotálamo se estimula la liberación de la neurohormona denominada “Factor de liberación de corticotropina (CRH)” que actúa sobre la adenohipófisis estimulando la liberación de adrenocorticotropina (ACTH) al torrente sanguíneo. Ésta viaja hasta la corteza suprarrenal estimulando la liberación de cortisol (Fig. 5.11).

Las funciones principales del cortisol son estimular el metabolismo de hidratos de carbono, proteínas y grasas, la regulación de agua y sales, incrementar el nivel de glucosa en la sangre y suprimir la acción del sistema inmunitario. Influye en el comportamiento, el estado de ánimo, la excitación e incluso en la actividad de las neuronas del cerebro, principalmente del hipocampo, amígdala y corteza prefrontal. Existe una retroalimentación negativa (*feedback negativo*), por la cual al aumentar los niveles de cortisol en sangre, estos se fijan a los receptores del hipotálamo inhibiendo la secreción de CRH. Al mismo tiempo, el cortisol actúa sobre la hipófisis inhibiendo la liberación de ACTH.

De esta manera disminuye la estimulación sobre la corteza adrenal y la liberación de cortisol (*feedback negativo*).

Los cambios fisiológicos y de comportamiento que se producen como respuesta al estrés, así como las estructuras activadas del sistema nervioso central, dependen del tipo de situación que provoque estrés, su duración y su intensidad. El organismo necesita de esta respuesta hormonal para enfrentar estas situaciones estresantes, sin embargo una activación prolongada de este eje, reflejada en niveles elevados de cortisol, puede afectar negativamente importantes mecanismos biológicos y actuar como factor de riesgo para la salud física y emocional de las personas.

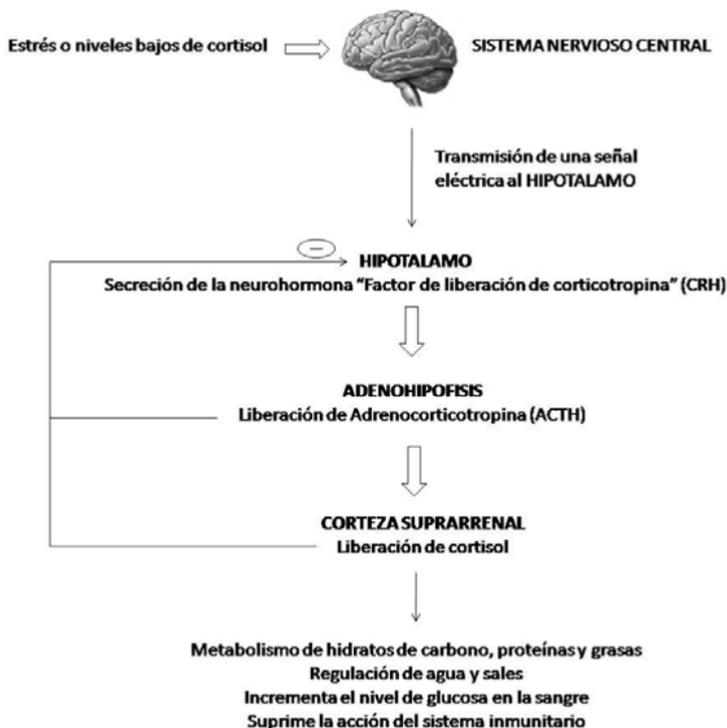


Figura 5.11. Respuesta hormonal antes un factor estresante.

Ritmos biológicos

La concentración de hormonas en sangre es dinámica debido a varios factores. Además de los sistemas de regulación, como el feedback negativo, las hormonas se encuentran sometidas a ritmos biológicos, relacionados en muchas ocasiones con los ciclos de luz-oscuridad, sueño-vigilia, o con las distintas estaciones del año.

Se denomina *ritmo biológico* a la recurrencia temporal de un fenómeno biológico a intervalos regulares. Estos ritmos pueden variar de minutos a horas (como la secreción de GH y prolactina), días (como la secreción de cortisol), semanas (por ejemplo el ciclo menstrual con variaciones en los niveles de estrógenos y progesterona) y hasta períodos más prolongados (como la variación estacional en la producción de tiroxina). Las formas de regular esta secreción pueden ser, incluso, distintas en etapas diferentes de la vida. Estos ritmos biológicos están determinados genéticamente; sin embargo, algunas señales externas, conocidas como *sincronizadores*, hacen coincidir estos ritmos con los factores ambientales. El ritmo biológico más estudiado es el ciclo luz-oscuridad provocado por la rotación de la tierra (24 horas), que se conoce como ritmo circadiano.

La regulación de los ritmos circadianos está dada por el núcleo supraquiasmático (NSQ), un conjunto de neuronas situado en el hipotálamo que recibe ese nombre por estar localizado sobre el punto en el que se cruzan las vías de la visión. Es un oscilador biológico y está regulado por el ciclo luz-oscuridad a través de la vía directa que va desde la retina al hipotálamo, denominada *haz retino-hipotalámico*. Esta es la vía de conexión entre el exterior y el reloj biológico y asegura que los ritmos circadianos, como el de sueño-vigilia, se sincronicen con el ritmo noche-día. La información sobre luz-oscuridad es transmitida desde los receptores del

ojo hacia las neuronas del NSQ a través del haz retino-hipotalámico y desde allí a una glándula ubicada también en el cerebro, denominada *glándula pineal*, encargada de transmitir estas señales del reloj biológico a los órganos del cuerpo. La glándula pineal es un órgano neuroendocrino, recibe información nerviosa del hipotálamo y, dependiendo de cual sea esa información, libera o no una neurohormona denominada *melatonina*.

Veamos un ejemplo. ¿Qué sucede durante el día? En presencia de luz, el NSQ (en el hipotálamo) libera glutamato inhibiendo a la glándula pineal y ésta no secreta melatonina, por lo tanto no hay inhibición de otras glándulas del cuerpo. Por el contrario, en ausencia de luz, por ejemplo durante la noche cuando dormimos o estamos en un lugar a oscuras, el NSQ libera serotonina excitando a la glándula pineal, ésta libera melatonina la cual inhibe la acción de otras glándulas del cuerpo.

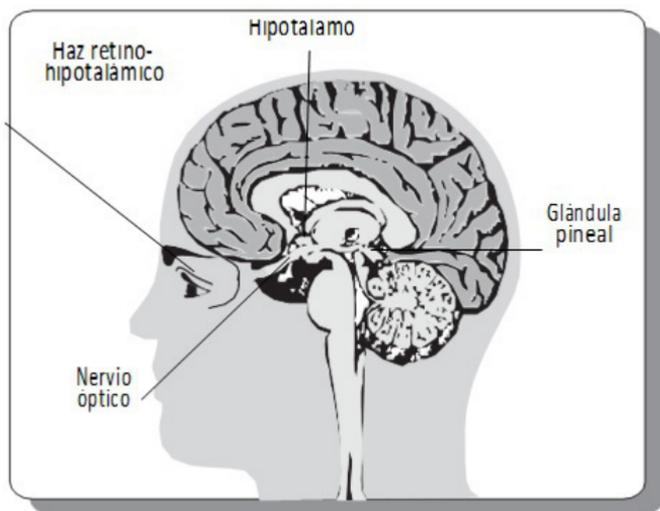


Figura 5.12. Estructuras que intervienen en la regulación de los ritmos circadianos.

La melatonina actúa a su vez sobre el NSQ, regulando el reloj circadiano, y de esta manera afecta los ritmos biológicos que, a su vez, sincronizan toda la actividad del organismo a través de las vías nerviosas (sistema autónomo simpático) y endocrinas (hormonas). Los ritmos circadianos comienzan a deteriorarse con la edad, y es por esto que las personas mayores presentan, por ejemplo, un sueño desordenado.

La secreción de la hormona de crecimiento (GH) depende de la liberación intermitente del factor liberador de GH (GHRH) liberado por el hipotálamo. Se segrega en pulsos cada dos horas, siendo la mayor descarga durante el sueño. La concentración de GH en sangre es mayor en niños y adolescentes que en adultos. Por esta razón, es importante que los niños cumplan un horario de sueño acorde con su edad y etapa de crecimiento. En cualquier caso sigue un ciclo circadiano, aumenta mientras dormimos y disminuye durante la vigilia. La regulación de la secreción de GH depende de factores metabólicos, hormonales (ya mencionados, factores liberador e inhibidor de GH) y nerviosos. Dentro de los factores metabólicos, la hipoglucemia y la hiponutrición estimulan la liberación de GH. Otros factores que elevan la concentración en sangre son el ejercicio, el sueño profundo, los traumatismos, fiebres y cirugías.

La concentración en sangre de adrenocorticotropina (ACTH) presenta un ciclo circadiano, con una secreción mayor durante el día y menor durante la noche. Existe un pico entre las 7 y las 9 de la mañana, debido a la necesidad de generar fuentes de energía (glucosa) luego de largas horas de sueño, lo que indica que esta hormona y el cortisol son muy importantes para la normal actividad de alerta. El pico que se observa al despertar posee influencias genéticas, mientras que la variabilidad en el descenso a lo largo del día está relacionada con influencias ambientales,

por lo que puede alterarse al modificar el patrón del sueño por ejemplo, pero sólo si esta alteración persiste varios días. Cuando se producen estos desfasajes, por ejemplo en un viaje intercontinental, se produce un desfasaje en el ciclo de ACTH, responsable del malestar físico y psíquico conocido como jet-lag.

¿Por qué estudiamos mejor a una hora del día? Como mencionamos, el cortisol presenta un ritmo circadiano característico: la concentración en sangre es más alta al despertar y declina durante el día, hasta llegar a un mínimo durante la primera y segunda horas del sueño. Luego, sus niveles suben en forma gradual en las fases posteriores del sueño para volver a un máximo al despertar (Fig. 5.13). Por esta razón, a primeras horas de la mañana son mayores las fuentes de energía a partir de la estimulación del metabolismo de hidratos de carbono, proteínas y grasas, estimulados por el aumento de cortisol.

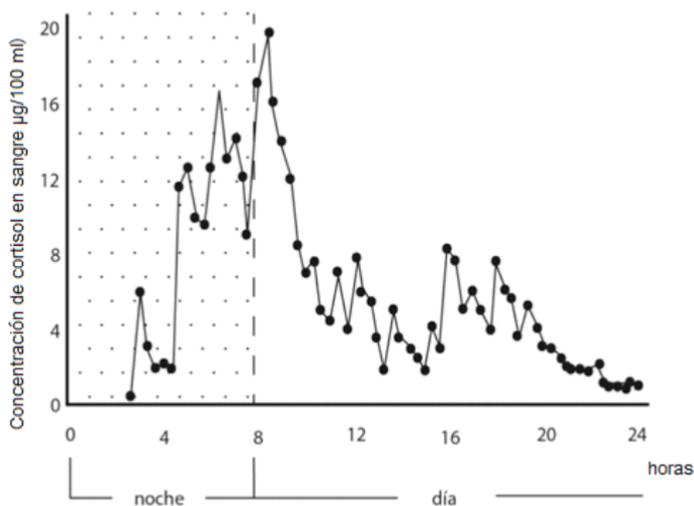


Figura 5.13. Ritmo circadiano de cortisol durante 24 horas. Adaptado de Weitzman y col. (1971).

Otro ejemplo de ritmo biológico es el ciclo menstrual, donde su regulación está a cargo del hipotálamo, hipófisis y ovarios. El ciclo menstrual es el proceso que prepara al cuerpo de la mujer, mediante el desarrollo de los gametos femeninos y una serie de cambios fisiológicos, para un posible embarazo. Las hormonas que intervienen en este complejo ciclo son la neurohormona liberadora de gonadotropinas del hipotálamo (GnRH), las gonadotropinas hipofisarias (FSH y LH) y las hormonas que secreta el ovario, progesterona y estrógenos. El ciclo habitualmente es de 28 días, pero existen variaciones entre las mujeres e incluso una misma mujer puede tener ciclos de distinta duración. El inicio del ciclo se define como el primer día de la menstruación y el fin del ciclo es el día anterior al inicio de la siguiente menstruación. Al principio del ciclo (fase folicular, 14 ± 2 días) algunos folículos ováricos son estimulados a través de la influencia de la hormona folículo estimulante (FSH), y uno presenta un mayor desarrollo, llamado *folículo dominante*. A medida que van madurando, los folículos secretan estrógenos que, entre otras cosas, generan la proliferación del endometrio e impiden la liberación de gonadotropinas (FSH y LH) a la sangre, con lo cual los niveles en sangre bajan (*feedback negativo*). Cuando el ovocito está a punto de llegar a la madurez, los niveles de estrógeno alcanzan un valor umbral que estimula la producción de LH (*feedback positivo*). El aumento de LH provoca que el folículo se rompa y libere el ovocito maduro, proceso conocido como *ovulación*.

La ovulación no ocurre siempre en el mismo momento del ciclo, y aunque el ciclo menstrual no requiere de factores externos para su regulación, está influenciado por los mismos. Por ejemplo, cuando algunas mujeres se encuentran bajo mucha presión, suelen demorar o interrumpir la menstruación, o cuando realizan un viaje ésta se atrasa o adelanta. Una vez liberado, el ovocito se desplaza a lo largo de

la trompa de Falopio hacia el útero. En el momento en que finaliza la ovulación, la estructura folicular, que queda en el ovario, se reorganiza y convierte en una glándula conocida como *cuerpo lúteo*, responsable de la secreción hormonal en la segunda parte de ciclo (fase lútea, 14 ± 2 días). El cuerpo lúteo secreta progesterona provocando el crecimiento del endometrio, con el fin de prepararlo para recibir un óvulo fecundado en caso de embarazo. Si el ovocito no se fecunda, los niveles de estrógeno y de progesterona disminuyen. Una vez que disminuyen los niveles de hormonas que favorecen la conservación del endometrio, parte de éste comienza a desprenderse y se libera; éste es el inicio de la menstruación y el comienzo del siguiente ciclo menstrual. ¿Qué sucede cuando una mujer que menstrúa normalmente se alimenta mal? Como dijimos anteriormente, esta puede llevar a alteraciones hormonales que, entre otras consecuencias, pueden provocar la interrupción de la menstruación.

El estrés afecta los procesos de aprendizaje

El estrés puede definirse como la respuesta fisiológica de un individuo ante una amenaza o alarma. El término estrés se suele asociar a un estado patológico, sin embargo éste implica una reacción del ser humano ante distintas situaciones. Se puede categorizar como “bueno”, “tolerable” o “tóxico”. Por ejemplo, recuperarse de una experiencia estresante puede llevar al crecimiento, adaptación y aprendizaje que promueven una futura resiliencia. Otras experiencias, sin embargo, pueden promover vulnerabilidad.

Cuando se generan respuestas eficaces y controladas que permiten una mejor adaptación se denomina *eustrés*. Tanto los estilos de vida actuales (reducción de horas de sueño, dificultades económicas, las exigencias laborales, frag-

mentación social, entre otros), o experiencias personales negativas, como fallecimiento de un ser querido, ruptura de relaciones, desempleo, entre otras, pueden generar respuestas que impliquen una inadecuada adaptación a estos estímulos estresores. Cuando estas reacciones se prolongan en el tiempo se produce una sobrecarga en el organismo que puede desencadenar problemas en la salud, lo que se conoce como *disestrés*.

Los estresores pueden clasificarse en físicos y psicológicos. Los primeros son estímulos que alteran el estado fisiológico del individuo afectando la homeostasis del cuerpo (por ejemplo frío, hambre, falta de oxígeno, etcétera). Estos estímulos llegan a regiones localizadas en la parte superior de la médula espinal y en el tronco cerebral, las cuales envían estímulos al hipotálamo generando una respuesta rápida e importante para la supervivencia, pero no requieren mayor procesamiento por áreas superiores del cerebro. Por otro lado, los estresores psicológicos (por ejemplo enfermedad, despido, embarazo, entre otros) son estímulos que amenazan el estado general del individuo, aún cuando no representan una amenaza inmediata a las condiciones fisiológicas. Son procesados por la corteza antes de iniciarse la respuesta al estrés, y dependen sobre todo de experiencias previas, lo que va construyendo la memoria emocional (se verá en detalle en el Capítulo 9).

Son numerosos los sistemas que facilitan el aprendizaje y necesitan del procesamiento de distintos tipos de información; involucran mecanismos hormonales y neuronales relacionados con el estado de alerta, el estrés y la plasticidad neuronal. Estos procesos dependen de sistemas interactivos donde intervienen el hipocampo, la amígdala, la corteza frontal y el hipotálamo. El hipocampo es una estructura fundamental del sistema límbico implicada en la memoria de las experiencias recientes y en la consolidación de las

memorias futuras; es la principal estructura, luego del hipotálamo, reconocida como órgano blanco de las hormonas relacionadas con el estrés. La amígdala es una estructura del sistema límbico relacionada con las emociones y la memoria, muy importante en la detección y respuesta antes las amenazas del medio (ver Capítulo 9); es el sitio de interacción entre la noradrenalina y el cortisol, regulando los efectos del estrés en la consolidación de la memoria, por lo tanto afectando el aprendizaje. La corteza prefrontal, como vimos en el capítulo anterior, cumple un rol muy importante en la toma de decisiones y regulación de las emociones e impulsos.

El cortisol afecta la excitabilidad neuronal; su ausencia o exceso resultan perjudiciales, mientras que las concentraciones moderadas favorecen la adquisición y la evocación de los aprendizajes. El cortisol liberado moderadamente (*euestrés*) después de una experiencia emocional facilita los procesos de memoria y aprendizaje interviniendo favorablemente sobre las sinapsis del hipocampo. A su vez, el impacto del factor liberador de adrenocorticotropina sobre la amígdala, además de mediar los efectos del estrés, produce un incremento del neurotransmisor noradrenalina, que estimula un estado de alerta, favoreciendo la memoria y el aprendizaje. Sin embargo, la repetición de eventos estresantes causa una intoxicación de cortisol que puede llevar a la atrofia de las neuronas del hipocampo, que es reversible cuando la exposición al cortisol se interrumpe. Cuando la exposición se prolonga por meses o años (*disestrés*), el daño puede llegar a ser permanente. Si consideramos el rol del hipocampo en los mecanismos de memoria, tanto la atrofia reversible como el daño permanente causan efectos significativos en el aprendizaje. Experiencias tempranas negativas durante el desarrollo y crecimiento de los niños, como el maltrato, conflictos familiares, condiciones sociales y físicas

adversas, pueden modificar la plasticidad del hipocampo, amígdala y corteza prefrontal. De esta manera, se ven afectados los procesos de memoria, el comportamiento y regulación de las emociones, la reacción y recuperación a situaciones estresantes y, en definitiva, los procesos cognitivos de niños, adolescentes y futuros adultos. Sin embargo, los familiares, la escuela u otros lugares de contención pueden contribuir a la disminución de los posibles efectos de estas situaciones, y a través de la resiliencia, mejorar la calidad de vida y futuros aprendizajes.

Bibliografía

- Adkins-Regan, E. 2005. *Hormones and Animal Social Behaviour*. Princeton University Press.
- Carlson, N. R. 2000. *Physiology of Behaviour*, 5° ed. Nueva York, Allyn&Bacon.
- Curtis, H. y Barnes N. S. 2000. *Biología*, 5° ed. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- De Robertis, E. M. F.; Hib, J. y Ponzio, R. 1998. *Biología celular y molecular*, 12° ed. Buenos Aires, El Ateneo.
- Fanjul, M. L. y Hiriart, M. (eds.). 2008. *Biología funcional de los animales I*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- Kacosh, B. 2000. *Endocrine Physiology*, 1° ed. Nueva York, McGraw Hill.
- Kandel, E. R.; Schwartz, J. H. y Jessel, T. M. 1999. *Neurociencia y conducta*. Madrid, Prentice Hall.
- Kardong, K. V. 2002. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function and Evolution*, 3° ed. Nueva York, McGraw Hill.
- Lovejoy, D. A. 2005. *Neuroendocrinology*, 1° ed. Toronto, Wiley & Sons.
- McEwen, B. S. 2007. "Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain". *Physiol. Rev.* 87, pp. 873-904.
- Purves, D.; Augustine, G. J.; Fitzpatrick, D.; Hall, W. C.; Lamantia, A. S. y McNamara, J. O. (eds.). 2004. *Neuroscience*, 3° ed. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- Ramon, G. S. 2008. *Sistema neuroendocrino y actividad física. Apuntes de la asignatura Conocimiento Corporal II*. Medellín, Instituto Universitario de Educación Física de la Universidad de Antioquia.
- Ranjit, A.; Young, E. A.; Raghunathan, T. E. y Kaplan, G. A. 2005. "Modeling cortisol rhythms in population-based study". *Psychoneuroendocrinology*, 30, pp. 615-624.
- Squire, L.; Berg, D.; Bloom, F.; du Lac, S.; Ghosh, A. y Spitzer, N. 2008. *Fundamental Neuroscience*, 5° ed. La Jolla, Elsevier Inc.
- Thibodeau, G. A. y Patton, K. T. 1998. *Estructura y función del cuerpo humano*, 10° ed. Madrid, Harcourt Brace.

Tresguerres, J. A. F. 1999. *Fisiología humana*. Interamericana McGraw-Hill.

_____. 2005. *Fisiología humana*, 3ra edición. Interamericana McGraw-Hill.

Weitzman, E. D., Fukushima, D., Nogeire, C., Roffwarg, H., Gallagher, T. y Hellman, L. 1971. "Twenty-four hour pattern of the episodic secretion of cortisol in normal subjects". *J ClinEndocrinolMetab*, 33, pp. 14-22.

CAPÍTULO 6

Desarrollo del sistema nervioso

Adriana Maldonado y Claudio Glejzer

Primeras etapas del desarrollo embrionario

Muchas veces nos preguntamos: ¿cómo es posible que a partir de una única célula sencilla, y mediante divisiones celulares, se produzcan células distintas, especializadas, con propiedades específicas, que componen tejidos y órganos tan diferentes como son nuestro sistema nervioso, sentidos y músculos, entre otros?

Esta única célula de donde provenimos se llama cigoto. Se origina por la unión de dos células, cada una transmitida por cada padre, un espermatozoide y un ovocito (el ovocito se transforma en óvulo cuando se une al espermatozoide). Este proceso por el cual se fusionan las gametas o células sexuales se llama fecundación. Cada una aporta la mitad de nuestro material genético, que por un lado nos da nuestras características biológicas humanas y, por el otro, características particulares que nos identifican como individuos y nos hacen diferentes entre nosotros.

Pero nuestro cuerpo está formado por millones de células que se originan a partir del cigoto, todas ellas son iguales genéticamente pero pueden diferir en su fenotipo. ¿Cómo se originan tantas células y cómo adquieren estas características particulares?

Una vez que se origina, el cigoto comienza a dividirse formándose dos, cuatro, ocho, dieciséis, treinta y dos, etc. partes hasta formar un embrión constituido por cientos de células. Este período de división celular se llama segmentación y su función es formar un embrión multicelular. En esta etapa el embrión no crece. Imaginemos que cortamos una manzana muchas veces en partes iguales, esta va a quedar formada por numerosos trozos de manzana pequeños. Todos ellos son idénticos, todas estas células del embrión son idénticas genotípica y fenotípicamente. Estas células son totipotenciales, no diferenciadas, poseen el potencial de convertirse en una célula de cualquier tejido.

Volviendo a nuestra pregunta anterior: ¿cómo adquieren características particulares estas células que son todas iguales? ¿Cuándo comienzan a diferenciarse en su fenotipo?

Después del período de segmentación, el embrión inicia una de las fases más críticas de su desarrollo: la etapa de gastrulación. Hasta este momento, la dirección del desarrollo embrionario está dada por las instrucciones del genoma materno y de los procesos que se llevaron a cabo en el ovocito antes de la fecundación.

Aunque el número de células del embrión en proceso de segmentación ha aumentado enormemente, en su mayoría no han comenzado a expresar propiedades específicas únicas o irremplazables. Es en este momento que se inicia la transición del control del genoma materno al del genoma embrionario.

En la gastrulación comienza el crecimiento del embrión y se caracteriza por profundos rearrreglos mediante los cuales el embrión adquiere la forma característica de su especie. Esto se produce porque las células embrionarias se desplazan, células que antes estaban alejadas ahora están próximas y se comunican entre sí mediante señales químicas. Esto lleva a una reorganización del embrión completo

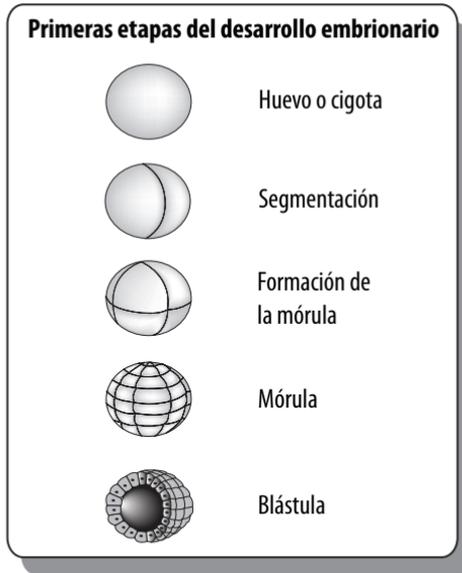


Figura 6.1. Esquema de las primeras divisiones embrionarias de un cigoto.

o en regiones más pequeñas en su interior. Por otro lado, en la gastrulación se inicia la diferenciación celular por la cual las células adquieren sus características particulares: funciones específicas, formas y tamaños diferentes, e inician la producción y secreción de sustancias. Por lo tanto la diferenciación celular genera la aparición de los tejidos y luego de los órganos y sistemas de nuestro cuerpo.

Origen y formación del sistema nervioso

¿Cuántas veces nos preguntamos: cómo se origina el sistema nervioso que se encuentra distribuido por todo nuestro cuerpo?

Mencionamos que en la gastrulación se inicia la diferenciación celular. En esta etapa el embrión posee forma de

esfera. Al final de la tercera semana de gestación, un grupo de células localizadas externamente cambia de forma y se desplaza hacia el interior, formándose así un pliegue y dos crestas que sobresalen como muestra la Figura 6.2.A. En la Figura 6.2.B observamos la formación de un surco cuyas crestas se unen formando así el tubo neural (ver Figura 6.2.C). Las células de la cresta neural son aquellas que permitieron el cierre del tubo para luego migrar ubicándose lateralmente.

En la cuarta semana de gestación el tubo neural se alarga especialmente en dirección cefálica (donde posteriormente se localizará la cabeza). En esa región se originan tres vesículas: una anterior, una media y una posterior que, a su vez, darán origen al encéfalo. La vesícula anterior se subdivide en dos vesículas más pequeñas: el telencéfalo y el diencefalo. La vesícula del medio permanece intacta y se llama mesencéfalo. La vesícula posterior

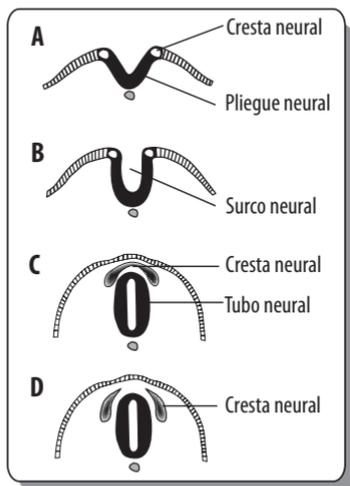


Figura 6.2. Formación del tubo y de la cresta neural (Carlson, 2000).

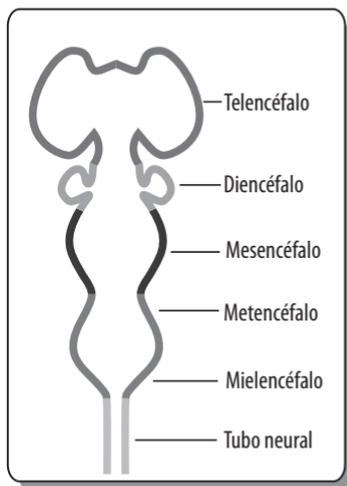


Figura 6.3. Diferenciación de las vesículas encefálicas.

sufre una división, formándose el metencéfalo y el mielencéfalo. En dirección caudal el resto del tubo neural persiste delgado con un diámetro uniforme y originará la médula espinal.

- » El telencéfalo es la vesícula más grande y se subdivide en dos. Ambas crecen tanto que cubren al diencefalo quedando en la línea media y tapando ambas vesículas. No conforme con esto, la parte superficial del telencéfalo que dará origen a la corteza cerebral crece superando un espacio restringido, formando surcos y circunvoluciones y algunos surcos más profundos (las cisuras): así se duplica o triplica la longitud de la corteza cerebral. Ese extremo anterior da origen a los hemisferios cerebrales como se observa en la Figura 6.3.
- » El diencefalo origina el tálamo, el hipotálamo, la neurohipófisis y la epífisis o glándula pineal.
- » El mesencefalo forma el tectum y el tegmentum.
- » El metencefalo origina por delante la protuberancia y, por detrás, el cerebelo.
- » La vesícula más caudal, próxima a la médula espinal, es el mielencéfalo y forma el bulbo raquídeo.

En síntesis, el tubo neural origina el sistema nervioso central y las neuronas motoras de los nervios craneales y espinales.

Las células de la cresta neural tienen la propiedad de migrar y alejarse entre sí. Ellas formarán el sistema nervioso autónomo y las neuronas sensitivas de los nervios craneales y espinales.

En todo este proceso, las células del tubo neural y de la cresta neural se dividen repetidas veces y luego se diferencian adquiriendo la forma y las funciones del tejido nervioso. A diferencia de la mayoría de los animales, los Primates y

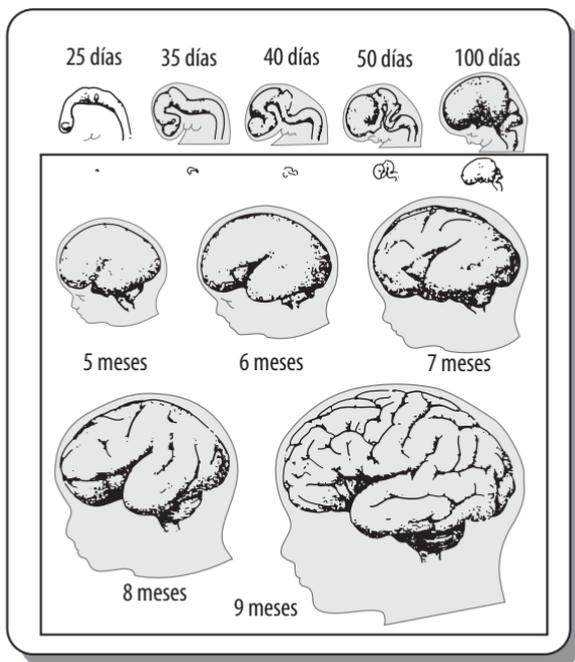


Figura 6.4. Desarrollo del encéfalo (Cervino, 2010).

Tabla 6.1. Crecimiento y desarrollo del sistema nervioso (Cervino, 2010)

Edad	Tamaño (mm)	Desarrollo del sistema nervioso
18-20 d	1,5	Surco y tubo neural. Neurulación
21 d	3,0	Comienza la aparición de vesículas cerebrales
26 d	3,0	Cierre del neuroporo anterior
27 d	3,3	Cierre del neuroporo posterior; aparecen las células del asta anterior
31 d = 1 mes	4,3	Raíces nerviosas anteriores y posteriores
35 d	5,0	Cinco vesículas cerebrales
42 d	13,0	Primordio del cerebro
2 m	25,0	Diferenciación de la corteza cerebral y las meninges

dentro de ellos los humanos adquieren su dotación de neuronas durante la primera mitad de su desarrollo.

Las primeras sinapsis aparecen en el segundo mes de gestación y durante el tercer trimestre se genera una explosiva producción de sinapsis estableciéndose múltiples conexiones.

Desarrollo cerebral prenatal

Durante el desarrollo embrionario se producen millones de neuronas, muchísimas más de las que se conservan en forma definitiva. Se calcula que se generan 50.000 neuronas por segundo durante la vida intrauterina y se producen unas 100.000.000.000 durante los cinco primeros meses para luego ir decayendo su número durante la vida de los individuos.

En estos nueve meses el cerebro crece y se desarrolla influenciado por factores tanto genéticos y ambientales como nutricionales, sensoriales, hormonales, entre otros. Es relevante tomar en cuenta la importancia de la salud y la nutrición de la madre y el posible contacto con sustancias tóxicas como alcohol, tabaco, drogas de abuso, virus, etc.

Como mencionamos previamente, un factor ambiental que influye en el desarrollo cerebral está relacionado con los aspectos sensoriales y sensitivos. El feto, especialmente en el tercer trimestre, es sensible a los estímulos del ambiente externo materno. Hay investigaciones que demuestran que responde más rápidamente a las palabras del idioma de su madre que a aquellas en otro idioma.

Por lo tanto, siendo estos factores relevantes en el desarrollo, nos preguntamos: ¿la experiencia puede cambiar la estructura cerebral? Sabemos que aquellas redes neuronales que son activadas permanentemente crecerán más y harán

nuevas conexiones, mientras que aquellas que son raramente excitadas van siendo dejadas de lado. La eliminación de estas sinapsis se llama poda o recorte sináptico. Esto permite la construcción de nuevos aprendizajes.

Entre los procesos de desarrollo prenatal del sistema nervioso encontramos:

Proliferación neuronal “neurogénesis”: entre el segundo y el cuarto mes de vida intrauterina se produce la proliferación celular, llamada neurogénesis. En este proceso el número de células generadas en el encéfalo fetal es entre un 30 y un 70% superior al número del adulto. Las células “sobrantes” sobreviven por un período de días a semanas (durante la gestación), tras lo cual, en forma espontánea, se inicia una cascada de cambios degenerativos y un proceso fisiológico de muerte celular programada o apoptosis.

Migración neuronal: entre el tercero y el quinto mes ocurre la migración de los neuroblastos, guiadas por procesos gliales en base a señales químicas, como las moléculas de adhesión celular y factores de crecimiento neuronales. La migración neuronal es un proceso en el que los neuroblastos migran hasta su ubicación definitiva. Las células gliales acompañan y sostienen a los neuroblastos para que puedan alcanzar esa ubicación. Los neuroblastos en estas etapas aún están indiferenciadas, por lo que pasan a la fase de diferenciación neuronal que les permitirá adquirir las características morfológicas y fisiológicas de la neurona madura. Además, se establecen las diferentes sinapsis, si bien en el desarrollo se producen muchísimas más sinapsis de las necesarias durante la sinaptogénesis, con lo que muchas de esas conexiones son posteriormente eliminadas.

Una variedad de problemas intrauterinos y perinatales – como infecciones, falta de oxígeno, exposición a alcohol o drogas psicotrópicas– puede alterar la migración de neuronas y la expresión del potencial genético para muchas funciones.

Organización: posteriormente adquieren prioridad la organización y la arborización dendrítica, axonogénesis y sinaptogénesis, respectivamente, en las cuales las neuronas van estableciendo circuitos neurales de complejidad creciente. Este proceso, además de estar regulado genéticamente, es sensible a la experiencia, y es la base más importante de la plasticidad del sistema nervioso (neuroplasticidad) referida a los procesos de desarrollo normal y al aprendizaje.

Las conexiones sinápticas pueden ser más rígidas, como en las neuronas que controlan funciones autonómicas –respiración, ritmo cardíaco– para lo cual se requieren conexiones muy precisas, y este proceso está fundamentalmente bajo control genético. Por ejemplo, los axones que se originan en la retina están programados para llegar a la corteza visual del cerebro, pero las conexiones locales específicas dependen de señales provenientes del ambiente. En las áreas de asociación, las conexiones son más flexibles, pudiendo ser modificadas hasta en la edad adulta.

Mielinización perinatal: la mielinización es el recubrimiento de las neuronas con mielina, lo que permite una adecuada conducción y transmisión de los impulsos nerviosos. La mielinización es fundamentalmente un proceso posnatal, ya que al finalizar el segundo trimestre de la gestación se han mielinizado las raíces y la médula espinal y se ha iniciado en el tronco encéfalico.

Desarrollo de la función motora

Cuantas veces vemos mujeres embarazadas a las que les cuesta dormir o hacen una mueca con la cara porque su panza se mueve. Entonces nos preguntamos, ¿cuándo comienza a moverse el embrión?

Hasta la sexta semana el embrión se mece pasivamente hacia adelante y hacia atrás en el líquido amniótico, y los úni-

cos movimientos propios son los latidos del corazón. Al terminar el segundo mes efectúa sus primeros movimientos en forma espontánea y realiza los primeros reflejos sencillos. Al inicio del tercer mes se observan movimientos reflejos en las manos (cierra los puños) y en los pies (mueve los dedos hacia abajo). Mueve la cabeza, las extremidades y el tronco como reacción a los movimientos de la madre. Comienzan también los movimientos faciales, la deglución temprana y movimientos respiratorios rítmicos anticipando así sus principales requerimientos posnatales.

Al finalizar el tercer mes, casi toda la piel es sensible al tacto y se encuentra en un período de gran actividad, gira los pies, cierra los dedos, abre y cierra la boca, entre otros. Como el embrión es muy pequeño la madre no lo puede percibir aún. Esto sí sucede al finalizar el cuarto mes. Al poco tiempo alterna períodos de actividad y de descanso. Durante el tiempo restante de desarrollo maduran los patrones de conducta y reflejos que se han establecido, como abrir y cerrar los ojos, llorar, mirar en distintas direcciones, etc. El comportamiento del feto en los últimos meses es como el de un recién nacido, agarrando, chupando y dando patadas. Todos estos movimientos son consecuencia de la complejización y diferenciación del sistema nervioso.

El desarrollo posnatal del sistema nervioso

El cerebro humano adulto contiene unos cien mil millones de neuronas. Al nacer, el cerebro tiene un número similar de neuronas que el del adulto, sobreviviendo la mitad de las mismas. Solo lo hacen las neuronas que establecen conexiones activas con otras neuronas; el cerebro experimenta varios procesos de reorganización durante su desarrollo. No son las propias neuronas las que cambian, sino las

sinapsis, es decir la red de conexiones existente entre ellas.

Durante el primer año de vida, el cerebro humano se modifica de forma muy intensa. Poco después del nacimiento, el número de conexiones cerebrales comienza a incrementarse rápidamente, tanto que su cantidad supera los niveles adultos.

Los niños crecen y se desarrollan con ritmos diferentes y adquieren ciertos aprendizajes y capacidades. Aunque difiera el paso a través de la infancia y de la niñez, la mayoría atraviesa por una serie de períodos predecibles a lo largo del desarrollo. En condiciones adecuadas, el desarrollo durante la vida es continuo, progresivo e irreversible: los avances ya adquiridos en general no se pierden y tienen una secuencia fija. Para que aparezca una función determinada se requiere la adquisición previa de una función de base (sentarse, pararse, caminar).

Algunos principios de la maduración del sistema nervioso son:

- a) la velocidad cambia de acuerdo con las etapas del ciclo vital (es mayor, por ejemplo, en el primer año y en la adolescencia);
- b) la velocidad del desarrollo normal es diferente de un niño a otro;
- c) la velocidad es distinta de un área a otra en una etapa dada del desarrollo (un lactante presenta un mayor desarrollo motor, mientras que un niño en edad escolar presenta un mayor desarrollo cognitivo);
- d) el desarrollo progresa en dirección céfalo-caudal: las funciones complejas como visión, audición, succión, deglución se desarrollan primero.

Es importante aclarar que es tan crítico el crecimiento acelerado de sinapsis como la reducción de las mismas. Estos procesos que se establecen naturalmente tienen el objetivo de disminuir el exceso de conexiones que no son fun-

cionales para el niño en su ambiente.

Es así como el proceso llamado sinaptogénesis dura cierto tiempo seguido por el período de “poda” sináptica en el que las conexiones usadas con mucha frecuencia resultan reforzadas y las usadas con poca frecuencia son eliminadas. Esto se produce a lo largo de un período de varios años y reduce la densidad sináptica global a los niveles adultos.

El proceso de mielinización también acelera el desplazamiento o conducción de los impulsos eléctricos por la neurona y hace más rápida la transmisión de los neurotransmisores y las señales que estos transportan. A través de las conexiones sinápticas se generan los aprendizajes que son funcionales a la adaptación del niño a su entorno específico y a su cultura.

Mielinización

Si bien el proceso de mielinización presenta un período crítico durante las primeras etapas de desarrollo, este continúa hasta la edad adulta. Uno de los haces motores termina su mielinización a los 2 años, el cuerpo calloso lo hace en la adolescencia y la vía de asociación entre la corteza prefrontal y los lóbulos temporal y parietal lo hace alrededor de los 30 años.

Los lóbulos frontales no pueden cumplir su función ejecutiva hasta que no se hayan mielinizado por completo los circuitos que los conectan con otras regiones del cerebro.

Los procesos de maduración cerebral no actúan simultáneamente en todas las regiones del cerebro. Este fenómeno puede reconocerse entre los 8 y los 12 meses de edad. En los lóbulos frontales la cantidad de sustancia blanca aumenta gradualmente desde los 4 a los 13 años, aunque tanto su proceso de mielinización, como en otras áreas de asociación, así como los lóbulos temporales y parietales no terminan de completarse hasta en la edad adulta.

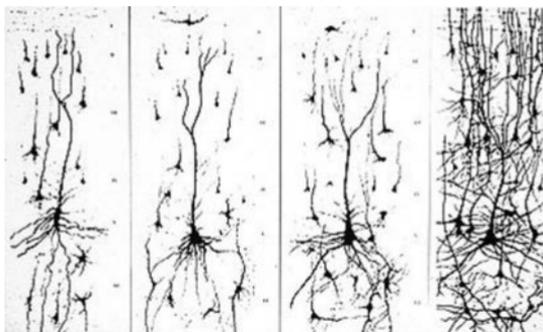


Figura 6.5. Crecimiento y desarrollo de la red neuronal cerebral durante los primeros meses de vida (Richmond, 2010).

Por esa razón el desarrollo de las funciones cognitivas del niño depende tanto de la maduración de regiones específicas del cerebro (corteza prefrontal), como de la maduración de las conexiones (procesos de mielinización).

Poda sináptica

En la infancia se observa un fenómeno de invasión de numerosas neuronas, esto implica que un niño tiene más conexiones sinápticas que un adulto, aunque no todas ellas son funcionales. Por esta razón es necesaria una poda que elimine ciertas sinapsis, lo cual implica que las que se repiten se mantendrán, mientras que las que no lo hacen se eliminarán. En ciertas capas de la corteza prefrontal, el proceso de poda es continuo desde los 5 hasta los 16 años, lo que se visualiza como una disminución de la densidad sináptica, relacionada con los cambios y fluctuaciones de la sustancia gris observados durante la infancia y la adolescencia.

El número de sinapsis de la sustancia gris frontal aumenta hasta la adolescencia, etapa en la que alcanza su valor máximo y, a partir de ese momento, disminuye. Esta disminución puede ocurrir incluso en la infancia y la preadolescencia.

encia. En síntesis, podríamos decir que la disminución (o poda) sináptica implica una eliminación selectiva de sinapsis que es fundamental para el desarrollo cognitivo del niño y el adolescente.

El desarrollo de la corteza prefrontal

Entre los 3 y los 5 años de edad observamos que los niños mejoran en los comportamientos relacionados con la memoria de trabajo e inhibición, conocidos como paradigmas de cambio de tarea y su ejecución requiere del desarrollo de la corteza prefrontal. La actividad de esta región es necesaria cuando hay que dirigir el foco atencional en una perspectiva diferente y no dentro de una misma dimensión.

A los 4 años, además de mejorar las actividades de memoria de trabajo e inhibición, los niños pueden desarrollar una “teoría de la mente”, o sea la capacidad de percibir conscientemente cuál es el pensamiento o intencionalidad del otro. Por ejemplo, si ven una persona sonriendo pueden percibir que está enojada a pesar de que se ría. Se basa en la capacidad que permite explicarnos los comportamientos de los demás de tal manera que nos resulten consistentes y que otorguen cierta respuesta al devenir de las acciones de los otros y al desarrollo de nuestros propios pensamientos. Este desarrollo podría relacionarse con la maduración del lóbulo frontal derecho.

Las funciones ejecutivas emergen alrededor de los 6 años de edad y permiten organizar un comportamiento estratégico y planificado. El desarrollo de esta habilidad no se completa hasta la primera adolescencia.

Por otra parte, la resolución de problemas va mejorando gradualmente desde los 6 hasta los 10 años de edad, aunque

la ejecución hasta los 12 años no se puede comparar con la del adulto. La inhibición o la posibilidad de modular las respuestas siguen desarrollándose gradualmente entre los 6 y los 10 años de edad, alcanzando el máximo a los 12 años. En cuanto a la fluidez verbal y la posibilidad de diseñar, se trata de una función más tardía que no completa su desarrollo hasta la primera adolescencia (12 a 15 años).

Existen 3 estadios en el desarrollo de las funciones ejecutivas: a los 6 años, a los 10 años y en la adolescencia, desde los 12 años en adelante. La corteza prefrontal es la última en desarrollarse, por lo tanto es probable que sea vulnerable al deterioro cerebral temprano. El siguiente cuadro muestra el desarrollo de la corteza cerebral prefrontal que se produce a los 6 años, a los 10 años y en la adolescencia.

Tabla 6.2. Desarrollo de funciones cerebrales por etapa madurativa

Etapa madurativa	Funciones cerebrales que se desarrollan
6 años	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación simple - Inhibición simple (de las respuestas motoras automáticas)
10 años	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobación de hipótesis (pensar que una cosa o situación se produce de una determinada manera y tratar de comprobar si es así o no) - Control de impulsos (controlar impulsos de comportamiento inadecuados)
Más de 12 años (adolescencia)	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación compleja - Comportamiento dirigido a una meta - Fluidez verbal

Período vulnerable y crítico: importancia del ambiente

La etapa de crecimiento y maduración acelerada del sistema nervioso central (SNC) se considera un “período vulnerable” ya que existe una serie de factores ambientales que, al actuar, pueden producir patrones de daño en distin-

tas regiones del cerebro. El resultado puede ser, como en el adulto, la pérdida de funciones adquiridas pero, con mucha mayor frecuencia, la no adquisición, retraso o desviación en la adquisición de habilidades.

El desarrollo secuencial y ordenado del sistema nervioso da origen a otro concepto fundamental, el de “períodos críticos” o, como se prefiere denominar, “períodos sensibles”. Este concepto se refiere a la existencia de momentos determinados en la maduración del sistema nervioso en que se establecen las condiciones para lograr una determinada función. Si las estructuras relacionadas a una función se mantienen privadas de las influencias ambientales necesarias para su desarrollo, esta no se logra en la forma adecuada, incluso si estas influencias logran ejercer su acción en un período posterior, como sucede, por ejemplo, con la adquisición del lenguaje.

El aprendizaje de un idioma extranjero como segunda lengua materna es posible solo hasta antes de la pubertad (período crítico). Posteriormente el aprendizaje es posible, pero con errores gramaticales y dificultad en el acento.

La desnutrición calórica proteica es uno de los factores que puede perjudicar el desarrollo cerebral y el aprendizaje. Esta ocurre cuando los requerimientos corporales de proteínas, sustratos de energía o ambos no pueden satisfacerse por medio de la dieta. Las deficiencias dietéticas de fuentes calóricas y de proteínas suelen presentarse al mismo tiempo.

El desarrollo del cerebro del bebé es muy sensible a la nutrición desde la gestación hasta los 2 años de edad. Es por esto que los niños desnutridos y mal nutridos que no consumen las proteínas y calorías adecuadas para el desarrollo del cerebro poseen cerebros de menor tamaño debido al crecimiento reducido de las dendritas, la disminución de las células glías y el proceso de mielinización. Esto explica su menor capacidad cerebral dificultándose la integración

de estímulos sensoriales, la memorización, el procesamiento de la información, el mantenimiento de la atención y la resolución de problemas, a lo que se añade una reducida habilidad para afrontar situaciones estresantes.

Por otra parte, se afecta el proceso de mielinización neuronal lo cual provoca una disminución en la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos. Las células más afectadas son las neuronas y las de la glía. Además de la desmielinización se puede producir degeneración axonal y reducción de espinas dendríticas.

El niño desnutrido tiene, además, un déficit de aminoácidos esenciales, perjudicando los procesos sinápticos por una disminución de la producción de neurotransmisores y receptores. Por ejemplo, la serotonina desempeña un importante rol en el desarrollo cerebral y es modulador de la proliferación celular en el cerebro. También interviene en diferentes funciones sensitivas, motoras y de memoria. Por otro lado, neurotransmisores como el glutamato y el GABA tienen un efecto regulador y de mucha importancia en los procesos de memoria y aprendizaje que se ven severamente afectados en los niños desnutridos. Las consecuencias de este desarrollo inadecuado del cerebro son:

- a) déficits cognitivos;
- b) déficits conductuales;
- c) retraso madurativo del lenguaje.

El retraso del desarrollo del cerebro inducido por malnutrición calórico-proteica precoz no se recupera completamente.

El acto de alimentar a un niño implica satisfacer su necesidad de nutrientes, pero también tiene una indudable connotación de satisfacción emocional. Actualmente es necesario considerar los efectos de la desnutrición como

uno de los determinantes del desarrollo, en un marco muy complejo de interacción de factores biológicos, psicológicos y ambientales. Las alteraciones asociadas a desnutrición, como mayor número de hospitalizaciones, falta de actividad y consecuente alteración del vínculo madre-hijo, pueden tener efectos más importantes sobre el desarrollo cognitivo que la falta de nutrientes en sí misma, especialmente si se asocian a situaciones de negligencia o abuso infantil.

Los datos disponibles apuntan a que mejores dietas en calidad y cantidad, junto con ambientes estimulantes y la satisfacción de necesidades básicas, podrían prevenir o minimizar los efectos tempranos de la desnutrición en el cerebro.

Luego de un daño del cerebro en desarrollo no solo hay una pérdida de las funciones presentes, sino también una imposibilidad de realizar funciones cerebrales futuras de manera que los niños irán retrasándose gradualmente en el logro de los objetivos de desarrollo cognitivo.

Es importante conocer el desarrollo cerebral en la infancia y adolescencia ya que el impacto de la desnutrición será diferente según sea que la actividad cognitiva esté emergiendo, desarrollándose o ya haya sido establecida.

Bibliografía

- Azcoaga, J. 1990. *Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico*. Buenos Aires, El Ateneo.
- Carlson, B. 2000. *Embriología básica de Patten*. 5° ed. México, Interamericana/McGraw Hill.
- Cervino, C. 2010. *Neurofisiología, bases neurofisiológicas de la conducta*, Tomo II. 3° ed. Morón, Praia.
- Jordan, V. J. 2004. "Funciones cognitivas del lóbulo frontal", *Revista Neurología* 39, pp. 178-182.
- Steinberg, L. 2005. "Cognitive and affective development in adolescence", *Trends in Cognitive Science* 9, pp. 69-74.
- Smidts, D. P.; Jacobs, R. y Anderson, V. 2001. "Development of behavioural regulation and social functioning in early childhood", *JINS Journal of the International Neuropsychological Society* 9, p. 310.
- Vygotsky, L. 1988. "Interacción entre aprendizaje y desarrollo", en *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. México, Grijalbo.

CAPÍTULO 7

Dispositivos del aprendizaje

Claudio Glejzer y Adriana Maldonado

Aprendí a ser formal y cortés
cortándome el pelo una vez por mes.
Y si me aplazó la formalidad
es que nunca me gustó la sociedad.
Viento del sur o lluvia de abril,
quiero saber dónde debo ir.
No quiero estar sin poder crecer,
aprendiendo las lecciones para ser.
Y tuve muchos maestros de que aprender,
solo conocían su ciencia y el deber.
Nadie se animó a decir una verdad,
siempre el miedo fue tonto.
Y el tiempo traerá alguna mujer
una casa pobre, años de aprender,
cómo compartir un tiempo de paz...
Nuestro hijo traerá todo lo demás,
él tendrá nuevas respuestas para dar...
Sui Generis, "Aprendizaje"

El aprendizaje

¿Cuándo comenzamos a aprender?, ¿dejaremos de hacerlo alguna vez? Nosotros somos el resultado de lo que aprendemos y heredamos.

Como dicen las estrofas de esta conocida canción de los años 70, "No quiero estar sin poder crecer, aprendiendo las

lecciones para ser”. Aprender a ser implica mucho más que lecciones escolares, que memorizar ríos o recordar verbos. La capacidad de aprender nos permite hallar agua cuando tenemos sed, calor cuando tenemos frío y compañía cuando nos sentimos solos.

Desde que nacemos, aprendemos a caminar, a hablar, a jugar, aprendemos a tener sentimientos y a controlar emociones, a andar en bicicleta, a resolver problemas o realizar cálculos complejos. Influye en todos los aspectos de la vida humana, en los gustos y en los miedos, en las opiniones y en las creencias.

El proceso de aprendizaje es, por lo tanto, una actividad individual que se desarrolla en un contexto cultural y social. Es el resultado de los procesos cognitivos de cada persona mediante los cuales asimilamos nuevas informaciones (hechos, conceptos, procedimientos, valores), construimos nuevas representaciones mentales significativas y funcionales (conocimientos), que luego podremos aplicar a otras situaciones en otros contextos diferentes a los del aprendizaje.

Por lo tanto aprender no solamente consiste en memorizar información, es necesario también utilizar otras operaciones cognitivas que implican: conocer, comprender, aplicar, analizar, sintetizar y valorar. En cualquier caso, el aprendizaje siempre genera un cambio morfológico y funcional a nivel cerebral.

El aprendizaje es un proceso que afecta nuestro comportamiento en forma relativamente estable consolidando así nuestra conducta. Es el resultado de nuestra experiencia. Es un proceso gradual que implica modificarse con el mundo. Las experiencias no solo se almacenan sino que cambian nuestro modo de percibir, pensar y planificar la realidad.

La incorporación de información nueva es fundamental para enfrentar las demandas futuras de nuestro entorno. En cada momento de nuestras vidas tenemos experiencias nue-

vas que son almacenadas en nuestra memoria y podremos utilizarlas en el futuro.

Todo nuevo aprendizaje es dinámico, por lo cual es susceptible de ser revisado y reajustado. Por ello se dice que es un proceso incompleto y espiralado.

Los humanos nacemos mucho más inmaduros que los monos antropoides. Al ser bípedos, las mujeres tienen una pelvis relativamente pequeña. La cabeza es muy grande y no puede pasar por el canal de parto. Los bebés humanos nacen con cabezas pequeñas y cerebros inmaduros al compararlos con las crías de estos monos. ¿Esta característica tiene alguna ventaja para los humanos?

Este hecho (cerebro inmaduro) es ventajoso para nuestro aprendizaje ya que permite, en una etapa muy temprana del desarrollo, el fortalecimiento de redes neurales, la poda de otras y la formación de nuevas conexiones producto de nuestras propias experiencias, lo cual facilita nuestra plasticidad y aprendizaje.

El concepto de aprendizaje se puede abordar desde numerosas posiciones teóricas. En primer lugar no es necesario reducir el aprendizaje a la biología celular o molecular. Como dice el Dr. Juan Azcoaga, médico especialista e investigador sobre el aprendizaje fisiológico: “Se pueden estudiar cómodamente todos los niveles de trabajo del sistema nervioso central humano, utilizando para ello los instrumentos metodológicos adecuados. No hace falta esperar siglos: por el contrario, ya hoy, es posible divisar las perspectivas del trabajo científico con claridad suficiente y, sin omnipotencia ninguna, puede decirse que estamos, avanzando en el conocimiento y buscando las respuestas adecuadas a las preguntas adecuadas”.

“Es alentador que el aprendizaje sea también uno de los temas del interés de un epistemólogo contemporáneo de las dimensiones de Mario Bunge y que forme parte de los intereses

científicos de miles de centros de investigación, que se ligue inevitablemente a la psicología cognitiva, a la inteligencia artificial y, en general, a todas las líneas más significativas del desarrollo científico” (Azcoaga, 1987: 13). Ahora bien, nos preguntamos ¿qué factores influyen en el aprendizaje de una persona?

Los componentes fundamentales que intervienen en el aprendizaje son cuatro: la actividad nerviosa superior, los dispositivos básicos de aprendizaje, las funciones cerebrales superiores y el equilibrio afectivo emocional. Estos dos últimos serán tratados en los capítulos siguientes.

Actividad nerviosa superior

Es una forma de trabajo de la corteza cerebral y zonas vecinas, compuesta por los fenómenos eléctricos neuronales primarios que se manifiestan a través de las determinaciones clásicas de potencial de membrana, potenciales de acción, presinápticos, postsináptico excitatorio e inhibitorio. Es mayor en los niveles más altos del SNC (cortical y subcortical), donde la densidad neuronal es alta.

Algunas de las actividades conocidas como nerviosas superiores son:

- » *Reflejos condicionales*: respuesta particular de un organismo ante un estímulo del medio (alimenticio, defensivo, sexual, etc.). Un perro asocia el sonido de una campana con la presencia de alimento. Luego con el solo hecho de hacer sonar la campana el perro saliva.
- » *Inhibición*: ante un estímulo ajeno a la experiencia, se bloquea el reflejo condicional. Por ejemplo, si a un perro que está por salivar ante el sonido de una campana se le presenta un estímulo nuevo como otro sonido, el reflejo condicionado de salivar, se inhibe.

- » *Sistematización*: capacidad de responder con simpleza ante situaciones complejas. Al cerebro llegan numerosas estimulaciones que coinciden, se oponen e interactúan con los procesos de inhibición; todo se concentra, se interrelaciona, se suma, se sistematiza y termina equilibrándose.
- » *Estereotipo dinámico*: un estereotipo es un conjunto de reflejos condicionados en sucesión. Son respuestas eslabonadas frente a una serie de estímulos de diferente calidad y magnitud de respuesta. Todas las circunstancias que llevan a la organización de las funciones superiores deben conducir a la organización de estereotipos o sea conductas que se repiten y refuerzan hasta que se produzca la función superior como por ejemplo el aprendizaje motor o praxia.

Dispositivos básicos de aprendizaje

Son capacidades innatas indispensables para el aprendizaje. Incluyen la motivación, memoria, atención, percepción sensorial y habituación. Son, en realidad, dispositivos básicos de funcionamiento.

Funciones cerebrales superiores

Se limita a tres capacidades cerebrales: gnosias (aprendizajes sensoroperceptivos), praxias (aprendizajes motores) y el lenguaje. Se adquieren a través del aprendizaje y son exclusivas de los seres humanos. Su alteración determina los llamados trastornos específicos del aprendizaje.

Equilibrio afectivo-emocional

Es un requerimiento muy importante para que tenga lu-

gar el aprendizaje, en particular por su influencia sobre la motivación y la memoria.

A continuación se profundizará a lo largo de este capítulo en uno de los componentes del aprendizaje: los dispositivos básicos del aprendizaje.

Los dispositivos del aprendizaje

La neuropsicología es la rama de las neurociencias que estudia las relaciones entre el cerebro y el comportamiento, tanto en personas sin patologías como en personas que han sufrido algún daño cerebral. La neuropsicología por definición es multidisciplinar. Utiliza metodología científica para estudiar las relaciones entre el cerebro y la conducta, apoyándose en el método hipotético deductivo. Se basa en modelos humanos porque reconoce la especificidad de cada especie. No obstante, puede valerse de estudios de neuropsicología animal para formular hipótesis ya que no es posible realizar experimentos invasivos en seres humanos.

Desde una visión neuropsicológica, cuando una persona se encuentra con una situación problemática persistente se incorpora en su cerebro información nueva, la que ingresa en los circuitos neurales y va determinando en forma gradual y creciente una síntesis entre lo nuevo incorporado y lo que ya existía como información almacenada en la memoria, siendo esta el resultado de procesos de aprendizaje anteriores.

Para que una persona aprenda se tiene que dar una serie de condiciones necesarias. Estas son capacidades innatas e indispensables para el aprendizaje y se llaman dispositivos básicos del aprendizaje e incluyen: la sensorpercepción, la motivación, la habituación, la atención y la memoria.

Sensopercepción

¿De qué forma adquirimos el conocimiento de nuestro cuerpo y del entorno con el que interactuamos? ¿Cómo aprendemos a comunicarnos y a darnos cuenta de nuestras posibilidades de hacer algo?

Este conocimiento lo construimos con imágenes, olores, sonidos, sabores, texturas y también con las sensaciones provenientes de los movimientos que realizamos.

Nosotros como docentes tenemos que tener muy presente este dispositivo en todos los niveles de enseñanza. Es muy importante que nuestros alumnos puedan tocar distintas texturas de los materiales y compararlos con objetos de uso cotidiano, puedan reconocer las plantas nativas yendo a la reserva ecológica de Costanera Sur y concurrir a conciertos en algún teatro de Buenos Aires en vez de leer la biografía del músico extrayéndola de Internet. Según Pavlov la sensopercepción es el primer sistema de señales, y este es clave en el aprendizaje.

¿A qué nos referimos como sensopercepción? La sensación es un proceso neurofisiológico que permite captar la información proveniente del medio y de nuestro propio cuerpo a través de los receptores. Estos se hallan distribuidos en todo el organismo o bien en lugares específicos.

Los receptores externos son los órganos de los sentidos que reciben o procesan información sensorial (vista, audición, gusto y olfato) o sensitiva (tacto, dolor, temperatura) del entorno.

Los receptores internos se hallan en nuestras vísceras y están muy relacionados con nuestra conducta emocional, entre otras funciones. Estos receptores también los encontramos en los músculos y en las articulaciones, muy vinculados con la función motora, la postura y la orientación espacial. Es decir que reciben la información sobre nuestro

estado interno, si tenemos frío o calor o en qué posición estamos sentados más cómodos, etc.

En las sensaciones encontramos un componente físico (un estímulo) y un componente fisiológico (el receptor, neu-

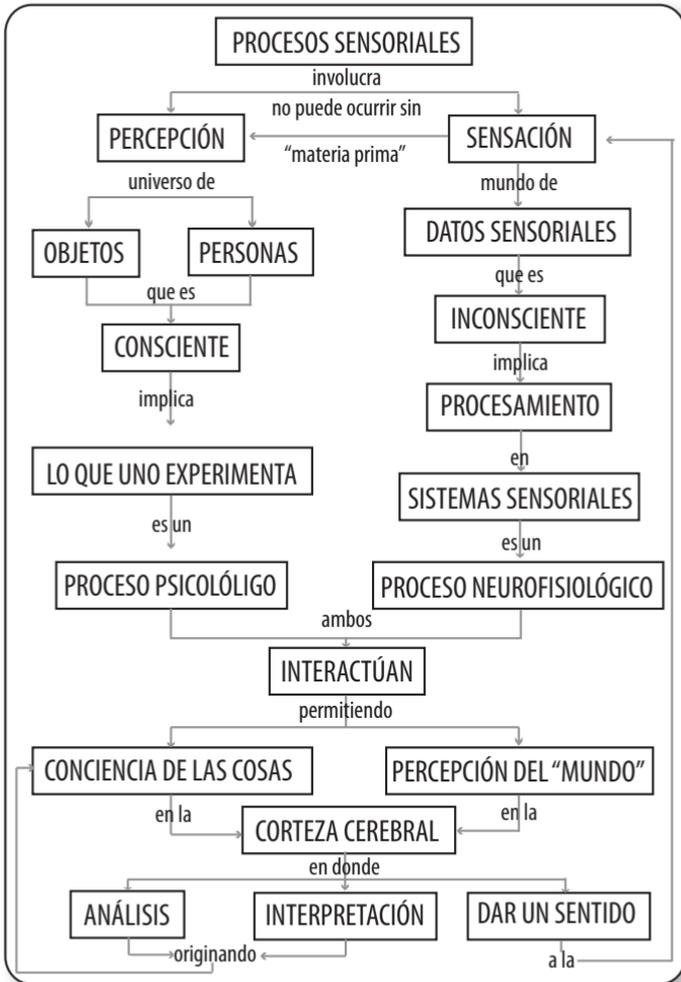


Figura 7.1. Mapa conceptual sobre las diferencias entre sensaciones y percepciones (Cervino, 2010).

ronas sensoriales o sensitivas y centro de procesamiento de la información). Colores, sonidos, olores, sabores y texturas son construcciones mentales formadas en el cerebro por el procesamiento sensorial. Son el punto de partida del aprendizaje porque las comparamos y las asociamos con experiencias sensoriales ya vividas, las interpretamos y les damos significado. Estas sensaciones ahora se convierten en percepción.

La percepción es un proceso mental que se construye interpretando y asociando datos aportados por las sensaciones. No son registros directos del entorno de una persona sino que son construcciones mentales.

El sistema nervioso solo extrae parte de la información de un estímulo y desecha el resto, y luego interpreta esa información en el contexto de la experiencia previa. Si pensamos en nuestra aula de la Facultad no todos recordamos los mismos detalles, cada uno la va a describir de manera diferente porque cada uno tiene su propia experiencia de vida.

La percepción se relaciona con nuestros pensamientos, en ella intervienen varios órganos de los sentidos, muchos receptores y nuestras experiencias anteriores guardadas en la memoria. Esto permite interpretar y estructurar la información a fin de obtener información más precisa.

Una vez establecidas las diferencias entre sensación y percepción, podemos establecer dos fases del funcionamiento del sistema sensorio-perceptivo:

1. La recepción de los estímulos del entorno por los órganos de los sentidos.
2. El análisis de esas sensaciones por procesos mentales de memoria y motivación, entre otros.

Estos dos momentos se dan simultáneamente y son inseparables.

En el siguiente cuadro están las diferencias entre sensaciones y sensopercepción.

¿De qué forma se organizan nuestras sensaciones?

La organización sensorial permite captar los estímulos mediante los receptores y transmitir esta información al cerebro donde se procesan como sensaciones.

La recepción sensorial es diferente en cada uno de los sentidos pero hay tres puntos comunes para todos ellos:

1. El estímulo físico dado por algún tipo de energía: lumínica, química, mecánica, térmica, etc.
2. El estímulo se traduce a energía electroquímica (impulsos nerviosos).
3. La respuesta al mensaje, dada por la representación interna de las sensaciones o percepción.

Cada sentido no funciona en forma aislada sino que los sentidos interactúan entre ellos enriqueciendo así nuestras percepciones. En una experiencia se integra la información captada por diferentes sentidos y se discrimina la información correspondiente a cada uno. Por ejemplo, estamos en un restaurante conversando sobre las noticias del día con una amiga que acaba de cortarse el pelo y saboreando una comida riquísima. En este ejemplo podemos reconocer que en una situación determinada de nuestra vida, como es ir al restaurante con una amiga, interactúan diferentes sensaciones provenientes de nuestros sentidos: la vista (observamos que se cortó el pelo), la audición (conversamos sobre las noticias del día), el gusto y el olfato (saboreamos una comida riquísima). Estas las podemos identificar individualmente pero forman un todo en nuestras percepciones.

Los transductores biológicos

Como hemos mencionado previamente el estímulo está dado por algún tipo de energía. La función de los receptores es ser transductores, es decir, transformar dicha energía recibida en un estímulo nervioso, es decir, en energía electroquímica. Por lo general, los órganos de los sentidos son sensibles a un tipo de energía, los oídos responden al sonido (energía mecánica), los ojos a la luz (energía lumínica o electromagnética), el olfato y el gusto a moléculas químicas (energía química), etc. Pero todas estas formas distintas de energía se transforman en energía electroquímica.

Tabla 7.1. Estímulos ambientales y el tipo de energía correspondiente (Cervino, 2010)

Luz Radiación infrarroja Radiación térmica (calor/frío) Electricidad Magnetismo	Energía térmica y electromagnética
Sonido y eco-localización Tacto y vibración Presión Gravedad Inercia	Energía mecánica y fuerza
Gusto Olfato Feromonas Humedad	Estímulos químicos

El proceso de transducción consta de dos etapas:

a) *Transducción*: es la transformación de la energía del estímulo en una despolarización o hiperpolarización de la membrana de la célula receptora. Los receptores poseen

mecanismos moleculares en una zona de la membrana especializada en la recepción que permiten la transducción. Cuando dicha zona capta el estímulo se genera la apertura de canales sodio, potasio y calcio iniciando así un potencial de acción. Estos canales iónicos pueden abrirse por:

- » cambios mecánicos, como deformación de la membrana modificando sus propiedades físicas;
- » cambios químicos, dados por los distintos sabores y olores;
- » cambios de temperatura de la membrana que modifica su permeabilidad;
- » cambios electromagnéticos como la luz que cambia sus características.

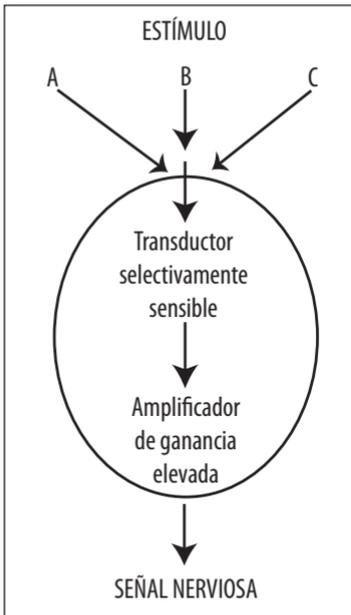


Figura 7.2. Esquema del proceso de transducción de señales mediado por las células receptoras (Cervino, 2010).

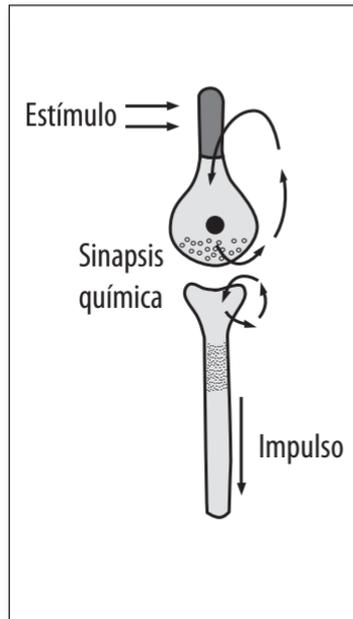


Figura 7.3. Esquema del proceso de transducción de señales. Se observa un ejemplo de célula receptora arriba y una neurona sensorial abajo (Cervino, 2010).

Cuando se aplica un estímulo sensitivo los receptores responden con impulsos con una frecuencia muy alta, pero luego de un período de estimulación prolongada la frecuencia es cada vez menor hasta que dejan de responder. Por ejemplo cuando sentimos un olor desagradable, que resulta muy fuerte en un comienzo pero luego dejamos de olerlo.

b) *Codificación nerviosa*: esta señal producida en la etapa anterior desencadena un potencial de acción a lo largo de una o varias neuronas sensoriales o sensitivas.

¿De qué forma se organizan nuestras percepciones?

La percepción es un proceso por el cual se estructuran, se asocian y se codifican nuestras sensaciones dotándolas de significado. Abarca diferentes aspectos:

- » Aspectos fisiológicos: calidad de los receptores y de las áreas cerebrales involucradas, edad del sujeto, estado de salud, etc.
- » Aspectos neurobiológicos: memoria, experiencias pasadas, motivación, atención, etc.
- » Aspectos mecánicos: distancia e intensidad del estímulo, condiciones físicas del medio, etc.

Motivación

Los docentes muchas veces decimos: “Yo hago de todo para motivar a mis alumnos e igualmente no se interesan por la materia”. En realidad sabemos que el docente no puede motivar al alumno ya que la motivación es un estado personal, de excitabilidad que permite iniciar un aprendizaje.

La motivación en los humanos puede referirse a “querer aprender”. Desde un punto de vista neurobiológico es un estado de excitabilidad óptima de la corteza cerebral que depende de la acción de diferentes neurotransmisores. La motivación es un estado interno que puede explicar la variabilidad de respuestas de nuestra conducta y se relaciona con algún evento interno o externo.

La motivación depende de varios factores, como el buen funcionamiento del cerebro, la incentivación de los otros y la historia personal.

Así, un niño que está desnutrido tendrá dificultades para estar motivado ya que no tendrá los nutrientes que le permiten mantener o engrosar su vaina de mielina y sus neurotransmisores. Tampoco tendrá suficiente cantidad de glucosa que es la fuente de energía que permite el buen funcionamiento en la generación, conducción y transmisión del impulso nervioso. Como consecuencia no podrá realizar las conexiones neuronales (sinapsis) que le permitan aprender, por ejemplo a leer.

Por otra parte, si un niño tiene problemas familiares y/o emocionales es muy probable que no esté motivado para aprender (este tema se profundizará en el capítulo sobre las emociones).

Las funciones de la motivación como proceso son:

- » Guía el comportamiento hacia objetivos específicos: la persona decide qué motivo satisfacerá y cuál meta se propone para lograr ese objetivo. La elección de un motivo depende de la intensidad del mismo, de lo atractivo que resulte el incentivo, de la probabilidad subjetiva de éxito y de la estimación del esfuerzo necesario para conseguir el objetivo. Un motivo en sus vidas seguramente es poder recibirse de Licenciados en Ciencias de la Educación y su meta próxima es aprobar la cursada de Biología.

- » Aumenta el estado de alerta y da energía a la persona para actuar: frente a la situación anterior cambia las horas de sueño, se concentra más en lo que lee, trata de integrar los nuevos conceptos a los anteriores y saca energía, que muchas veces parece que no la tiene, para poder estudiar.
- » Organiza la conducta en función de las metas: dejar de hacer muchas cosas, cambiar la rutina, organizar qué estudiar cada día a fin de lograr la meta. Esto se refiere al dinamismo conductual relacionado con las actividades que se llevan a cabo para satisfacer ese motivo y lograr esa meta.
- » Controla la acción realizada y analiza el resultado conseguido con las distintas acciones o conductas que se han efectuado. Es decir, se constata si, mediante las conductas que se realizan, se ha conseguido satisfacer o no el motivo elegido. Tanto si se ha conseguido la meta, como si se fracasa, se produce una reflexión sobre la acción realizada y sus resultados, a fin de volver a utilizar en el futuro las presentes conductas o tener que introducir algún tipo de modificación.

Tipos de conductas motivadas

El estudio de la motivación se refiere al estudio de las causas de ciertas conductas. Hay dos tipos de conductas motivadas: reguladoras y no reguladoras.

a) *Conductas reguladoras*

Son aquellas controladas por mecanismos autorreguladores u homeostáticos que permiten preservar ciertas funciones corporales más o menos constantes.

Por ejemplo, nuestra temperatura interna se mantiene aproximadamente a 37 °C. Su regulación se produce en el

hipotálamo. Pequeñas variaciones de ella generan cambios con el fin de volver al punto de equilibrio. Estos pueden ser involuntarios, como un escalofrío, o voluntarios como meterse en la cama, ponerse un abrigo o acercarse a una estufa. Esta regulación realizada por nuestro organismo se denomina homeostasis.

Cuando se rompe el equilibrio surge en el cuerpo un desbalance (en algunos casos una necesidad) que se mantiene hasta que nuestro organismo, a través del gasto de energía, restablece el equilibrio u homeostasis (u obtenemos lo que nos falta en caso de necesitar una fuente externa). Esta necesidad desencadena una motivación que lleva a la persona a actuar a fin de restablecer el equilibrio y por lo tanto satisfacer esa necesidad.

Por lo tanto reconocemos tres etapas de este proceso:

- 1) Aparición de un desbalance o desequilibrio: por ejemplo, la falta de agua en nuestro cuerpo.
- 2) Comienzo de la motivación: la sensación de sed nos hace levantar de la cama e ir a buscar agua a la heladera.
- 3) Disminución o satisfacción de la necesidad: por ejemplo, cuando bebemos el agua nos sentimos mejor.

b) *Conductas no reguladoras*

No están controladas por mecanismos homeostáticos, por lo tanto se refieren a una gran variedad de conductas que abarca desde las relaciones sexuales, la educación de los hijos, la vida laboral, etc. En algunas de ellas interviene el hipotálamo, como en las relaciones sexuales, mientras que en la mayoría está implicada la corteza cerebral, especialmente los lóbulos frontales.

Un ejemplo claro es cuando discutimos con nuestra pareja de algo sobre lo cual sabemos que estamos equivocados y luego nos arrepentimos. Esto genera en nosotros una sensa-

ción de malestar y deseamos reparar la situación. Hablamos por teléfono, nos encontramos para conversar y nos sentimos mejor.

Las bases biológicas de la motivación

La motivación, como dispositivo básico del aprendizaje, tiene la función de dirigir la conducta hacia una meta, incrementar el alerta general y dar energía al individuo, y organizar los componentes de la conducta en una secuencia coherente para alcanzar la meta.

En la mayoría de los animales estas funciones están principalmente gobernadas por regulaciones homeostáticas a partir del hipotálamo, pero, en animales más complejos y en los seres humanos, las necesidades se complejizan, así como la variedad de respuestas. En el ser humano las motivaciones responden a las necesidades homeostáticas y los deseos afectivos inmediatos, y en simultáneo permiten la formación de aprendizajes. En este sentido, la motivación puede describirse como una red de neuronas donde estructuras del sistema límbico funcionarán en coordinación con las direcciones de la corteza frontal. La motivación en los humanos tiene aspectos fisiológicos, de comportamiento motor, pero también cognitivos.

Las connotaciones fisiológicas de la motivación se refieren al ajuste interno del organismo en aquellas situaciones en las que son relevantes para una persona. En el correspondiente al del sistema nervioso central, la activación generalmente se refiere al estado de gran excitabilidad neuronal, o a la posibilidad de las neuronas de descargar (disparar) impulsos nerviosos cuando son activadas apropiadamente.

Las connotaciones comportamentales motoras de la motivación se refieren a la preparación para la acción, con la eventual ejecución de la misma. Cuando el individuo ha de-

cido que llevará a cabo alguna actividad motora, prepara energéticamente el organismo para realizar dicha actividad.

Las connotaciones cognitivas de la motivación se refieren a todos los procesos que lleva a cabo un individuo desde que detecta la presencia de un estímulo hasta que decide que dicho estímulo es significativo o no para él, decidiendo si trata de conseguirlo, trata de evitarlo o, simplemente lo ignora. Es decir, la activación con connotaciones cognitivas se encuentra vinculada al análisis del significado que tiene el estímulo o situación para una persona.

Las estructuras neurobiológicas relacionadas con la motivación involucran el circuito tálamo-corteza cerebral y el núcleo acumbens. Por otra parte, como existe una relación entre la motivación y nuestros estados emocionales, ciertas estructuras del sistema límbico, así como el hipotálamo y el núcleo acumbens, están involucrados en dicho proceso.

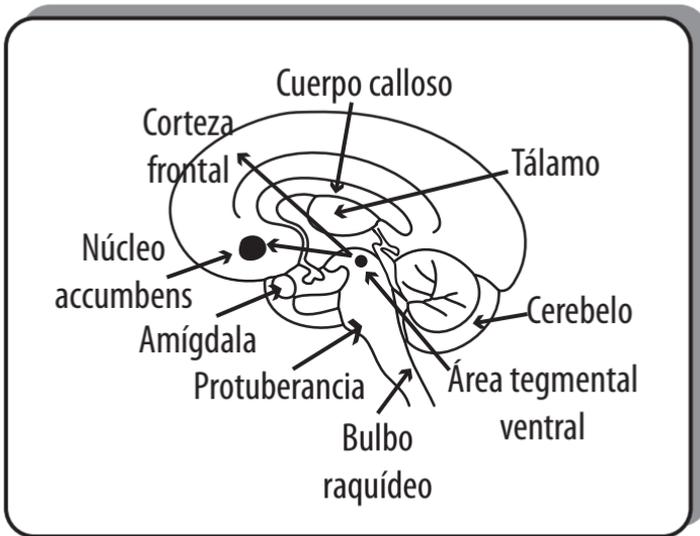


Figura 7.4. Esquema de las estructuras cerebrales que intervienen en la motivación (Fundación Iberoamericana Down, 21).

La activación ocasionada como consecuencia de algún estímulo o situación que pueda implicar el inicio de un proceso motivacional se encuentra íntimamente relacionada con otro dispositivo de aprendizaje que analizaremos posteriormente llamado atención, existiendo un circuito de motivación establecido por la formación reticular –el sistema límbico– y la corteza cerebral.

La motivación es un dispositivo que se desarrolla en el mesencéfalo y tiene como neurotransmisor principal la dopamina. Este neurotransmisor es esencial en los mecanismos que desencadenan la actividad motora participando en los mecanismos sensoriomotores, motivacionales y de control que impulsan a los animales en general y a los humanos a buscar fuentes de gratificación, por lo que puede ser tentativamente llamado “sistema activador dopaminérgico”.

Está asociado con emociones positivas y regula el comportamiento de incentivos o de aspectos motivacionales de interacción social, incluyendo el apego social y materno infantil. Las estructuras que intervienen en la motivación son: el tegmentum que proyecta hacia la amígdala (relacionada con las emociones) y el núcleo *accumbens* que relaciona los procesos de aprendizaje, como por ejemplo el refuerzo por gratificación o sistema de recompensa y la respuesta a los estímulos novedosos (ver Figura 7.4).

La dopamina en el núcleo *accumbens* cumple la función de provocar respuestas de acercamiento flexibles en presencia de varios estímulos salientes o, en otras palabras, modula los procesos de motivación.

Este núcleo es una interface entre ciertas estructuras del sistema límbico (estados emocionales) y el sistema nervioso motor (pasaje a la acción).

Este sistema dopaminérgico participa en la coordinación de diferentes etapas del “comportamiento orientado a una meta”.

Integremos con un ejemplo concreto: Aldana quiere aprobar el examen de Historia. Aldana está motivada para estudiar historia

En el proceso de motivación interviene la *dopamina*. Este neurotransmisor es muy importante tanto para sostener el foco de atención en el tiempo como para establecer nuevos aprendizajes en nuestra memoria.

Los estímulos comienzan en el *área tegmental ventral* a través de las vías dopaminérgicas; luego los impulsos nerviosos llegan a la amígdala donde se evalúa el placer y el dolor. Por ejemplo, si el estímulo es no placentero y reconocido como doloroso y/o peligroso, será rechazado con el fin de no repetir acciones que nos perjudiquen. En cambio, si nuestra amígdala interpreta una posible recompensa o estímulo placentero como lo es aprobar un examen de historia, la información se conducirá hacia el centro liberador de dopamina más importante: *el núcleo accumbens*.

La *dopamina* es un neurotransmisor que controla los sistemas encargados de activar los centros responsables de la actividad motora y los centros del placer. Es responsable de potenciar la atención y la memoria. Si bien se lo conoce como el neurotransmisor del placer y de la felicidad, en realidad es el neurotransmisor que anticipa el placer ya que genera una tensión que facilita la obtención de una recompensa.

Esta liberación de dopamina genera la activación de otros dos neurotransmisores, la *noradrenalina* y la *adrenalina*, que aumentan la tensión y nos movilizan para realizar una determinada acción, como en el caso de Aldana: estudiar para un parcial con el fin de obtener la recompensa de aprobar examen.

Es así que cuando la información llegue a los lóbulos frontales, y sea analizada, el cerebro de Aldana estará bajo los efectos de la noradrenalina y la adrenalina con el fin de mantener la atención sostenida para poder estudiar lo que

favorecerá el establecimiento de la memoria y el aprendizaje.

Finalmente, cuando Aldana obtenga la recompensa, por ejemplo aprobar el examen y, en definitiva, sienta la gratificación de haber aprendido, se presentará en ella un agradable sentimiento debido a la producción de otro neurotransmisor llamado *serotonina*. La serotonina favorece un estado de relajación en el que son predominantes la serenidad y la quietud aumentando el razonamiento y disminuyendo los estados emocionales negativos. La serotonina se segregará por un lado desde el mesencéfalo hacia determinadas áreas del sistema límbico involucradas con las emociones y la memoria. Por otro lado, se secretará desde el mesencéfalo hacia la corteza, lo que significará tomar conciencia de las acciones y consecuencias del comportamiento motivado.

La motivación y el apego

Los niños nacen con mecanismos biológicos que les permiten sobrevivir en determinadas condiciones pero también a partir de la carencia que implica que sus demandas básicas sean cubiertas. Las necesidades fisiológicas son alimentación, higiene, sueño, protección, exploración de su entorno, juego y establecimiento de vínculos afectivos.

El concepto de apego se define como la búsqueda de proximidad tanto de una figura vincular como de un compañero. Para que el apego se produzca debe existir un sistema motivacional integrado por la interacción entre las bases biológicas que traen las personas y las posibilidades que les brinda el ambiente.

La conducta de apego requiere de un sistema motivacional que tiene sus bases biológicas en el cerebro, cuyas estructuras se describieron anteriormente.

John Bowlby, quien desarrolló el concepto de apego, describió la existencia de un sistema motivacional en el compor-

tamiento del apego que estaría determinado genéticamente y que influiría en la supervivencia del recién nacido. El apego le conferiría a los recién nacidos una ventaja adaptativa al tener la potencialidad de influir positivamente en su desarrollo.

Consiste también en la espontánea cercanía e interacción de la madre o cuidador sustituto con su cría, la cual es protegida y cuidada por aquel hasta que se encuentre en condiciones de sobrevivir sola.

Los vínculos afectivos satisfacen una necesidad que forma parte del desarrollo de un niño recién nacido. Si esta necesidad no es satisfecha, el niño, adolescente, joven o adulto podrá sufrir problemas relacionados con las emociones.

Entonces podemos afirmar que los bebés que presentan un apego seguro exhiben una diversidad de conductas positivas que, por lo general, no se encuentran en los casos de bebés cuyas relaciones de apego son de baja calidad. Algunas de estas conductas positivas son las posibilidades cognitivas del niño. Existen evidencias de que los niños con un apego seguro tienen mayor capacidad de resolver problemas y de aprender. Esto no significa, sin embargo, que los bebés con apego inseguro estén predestinados a tener problemas.

Es importante destacar que independientemente del nivel de apego, otros sucesos del entorno pueden ser también relevantes en el aprendizaje y comportamiento del niño.

Habitación

La habitación es el proceso por el cual a través de la repetición de ciertos estímulos que se hacen monótonos se genera la diferenciación de la información relevante de la que no lo es. Se aprende a ignorar un estímulo por falta de significado.

Por ejemplo, si estamos leyendo un cuento es necesario habituarnos a otros estímulos como el ladrido del perro que tenemos al lado, la música que está escuchando un amigo, etc. Se trata de un mecanismo que favorece nuestra concentración. Si estamos en el aula no reaccionamos frente a los ruidos que vienen del pasillo o la bocina de un colectivo.

Cuando se produce la habituación, las neuronas del cerebro disminuyen sus impulsos nerviosos como respuesta a la repetición del estímulo. Este proceso concluye cuando se suprime por completo la respuesta. ¿Por qué las palomas de la Facultad pueden convivir con los estudiantes sin tenerles miedo? Las palomas pueden realizar dicho comportamiento porque se habituaron a convivir con los humanos sin que su presencia les provoque el menor índice de miedo.

La habituación se refiere a la pérdida de la capacidad que posee el estímulo para producir el estado de alerta tras la aparición repetida del mismo. La habituación es un fenómeno básico para nuestras interacciones con el medio.

En ausencia de habituación estaríamos respondiendo en forma ilimitada a cualquier estímulo sin la posibilidad de poder concentrarnos selectivamente en uno en concreto. Asimismo, la habituación es el mecanismo más básico del aprendizaje. Para que se produzca la habituación es necesario que el estímulo que llega no posea un vínculo emocional o de interés. En la habituación el efecto difuso del estímulo en el cerebro desaparece gradualmente.

El hipocampo y algunos ganglios basales del cerebro son estructuras esenciales para la eliminación de respuestas a estímulos irrelevantes, capacitando al individuo a comportarse de una manera selectiva en la elaboración de respuestas. Cuando mencionamos la liebre marina *Aplysia* en el capítulo sobre el comportamiento dijimos que los individuos están habituados a su propio hábitat, por ejemplo, no retiran su branquia ni su sifón cuando son sacudi-

dos por una ola del mar. En cambio si la liebre de mar toca una roca o algún otro animal, responde defensivamente retirando ambos.

La habituación, tanto en una liebre marina como en las personas, consiste en que los potenciales postsinápticos excitadores de la neurona motora se vuelven más pequeños. Lo más probable es que esto se produzca porque disminuye la cantidad de neurotransmisor en el espacio sináptico, entonces estos cambios relacionados con la habituación se producen en la terminal del axón de la neurona sensitiva.

Kandel y su equipo compararon la cantidad de neurotransmisor liberado por una neurona sensitiva habituada con la cantidad de otra no habituada y comprobaron que la primera libera menor cantidad de neurotransmisor que la segunda. Debemos recordar la importancia del ingreso de iones calcio a la neurona presináptica como respuesta a la llegada del potencial de acción y luego la liberación del neurotransmisor. Ante estímulos repetidos y no significativos disminuye la apertura de los canales de calcio y por lo tanto la entrada de dicho iones, generando la disminución de la liberación de neurotransmisores por la neurona presináptica.

Atención

Muchas veces cuando estamos en una reunión de amigos conversamos con alguno de ellos a pesar del ruido que producen las voces de los otros, ignorando lo que dicen los demás. Tal vez captamos algunos fragmentos de sus charlas. Pero si escuchamos nuestro nombre o alguna palabra de nuestro interés dirigimos la cabeza rápidamente hacia el estímulo y centramos toda nuestra atención en lo que están diciendo.

Ver o escuchar, atender y percibir no son procesos sinónimos. Atender o “prestar atención” consiste en focalizar

selectivamente nuestra conciencia, filtrando y desechando información no deseada, como un proceso que puede manifestarse a través de diversos mecanismos neuronales regulando la información sensorial que llega a nuestro cerebro e interactuando para resolver la competencia entre los estímulos. Procesarlos en paralelo, dar las respuestas necesarias en el tiempo adecuado y, de esta manera, controlar la conducta.

La atención es un dispositivo cuya función es seleccionar, entre una gran cantidad de estímulos sensoriales que llegan simultáneamente y de manera continua al cerebro, los que son útiles y pertinentes para producir un comportamiento motor o mental. En el ejemplo podemos reconocer dos tipos de atención:

a) *Atención involuntaria o fásica*: es brusca y breve, está ligada al reflejo de orientación y de estimulación rápida (cuando escuchamos nuestro nombre o una palabra que nos interesa, cuando golpeamos el pizarrón con el borrador para indicar a los estudiantes que deben empezar a trabajar).

Este tipo de atención se refiere a la atracción que produce sobre el organismo un estímulo biológicamente significativo y que se observa desde los primeros meses de vida del bebé.

b) *Atención voluntaria o tónica*: es un proceso más complejo, implica un mantenimiento de receptividad sostenida y adecuada de uno o más canales sensoriales. Esto conduce también a inhibir las respuestas a estímulos irrelevantes.

Ambos tipos de atención se retroalimentan, los maestros elevamos el tono de nuestra voz, lo que permite generar nuevamente en nuestros estudiantes un nivel adecuado de atención tónica.

Los aspectos que definen la atención son la orientación, la exploración, la concentración o la vigilancia.

Las bases biológicas de la atención

La complejidad conceptual neuroanatómica y neurofuncional de la atención hace que esta idea no pueda reducirse a una simple definición, ni estar ligada a una única región del encéfalo, y que nos conduzca a considerarla como un mecanismo que a su vez involucra la síntesis de complejos procesos cerebrales.

El individuo es “estimulado” durante la vigilia por señales sensoriales provenientes del exterior e interior del organismo; sin embargo, la cantidad de información que entra excede la capacidad de nuestro sistema nervioso para procesarla en paralelo, por lo que se hace necesario un mecanismo neuronal que regule y focalice, seleccionando y organizando la percepción. Este mecanismo es la atención, cuya capacidad se va desarrollando desde la infancia hasta la adultez y cuya actividad no se circunscribe únicamente a regular la entrada de información (aspectos sensoriales), sino que también es responsable del procesamiento mismo de la información (la percepción).

La atención está integrada por componentes perceptivos, motores y límbicos o motivacionales, por lo que la neuroanatomía y la neurofisiología de la atención se centran en el sistema reticular activador (SARA, el cual se encuentra dentro de la formación reticular), el tálamo, el sistema límbico, el núcleo acumbens, el lóbulo parietal posterior y la corteza prefrontal. Es decir que la base neurofisiológica de la atención abarca una amplia red neuronal entrelazada de estructuras subcorticales (por debajo de la corteza) y corticales (tales como la corteza visual en el lóbulo occipital, y la auditiva en el lóbulo temporal).

La formación reticular está constituida por fibras de sustancia blanca y núcleos de sustancia gris que atraviesan el bulbo raquídeo, la protuberancia y el mesencéfalo; y tiene como función controlar el nivel de vigilancia por medio de la alternancia “sueño-vigilia” y regular un tono de atención, incluso cuando el estado de vigilia es constante.

A la formación reticular llegan impulsos sensoriales desde el interior del cuerpo y la periferia, y desde la corteza cerebral y el resto del encéfalo. A su vez, este interviene como centro de retransmisión de impulsos nerviosos hacia la corteza cerebral y hacia la médula espinal.

El SARA está implicado en la atención selectiva y aunque también responde a estimulación no selectiva, permite filtrar la información importante de la que no lo es. Por ejemplo, interviene cuando los padres se despiertan ante el llanto de su bebé. También puede ser que dichos padres vivan cerca de las vías del ferrocarril y no se despierten ante el sonido del tren. Esto implica que el SARA también interviene en los mecanismos de habituación que mencionamos anteriormente.

La corteza prefrontal desempeña un papel fundamental en el control voluntario de la atención, y es la que facilita que la atención involuntaria de los niños se transforme progresivamente en atención controlada y voluntaria. Recordemos que además monitorea la secuencia en el tiempo de los acontecimientos, posibilita la formulación de conceptos abstractos y la toma de decisiones.

Es importante destacar que existe una lateralización en la atención. Mientras el hemisferio izquierdo está más relacionado con procesos conscientes que requieren de la conducta atencional y de fijar la atención específicamente en un foco o situación (atención tónica); el hemisferio derecho está más relacionado con los comportamientos inconscientes o automáticos como los que se independizan de un determinado foco (atención fásica).

En resumen, podemos explicar la atención como una función cerebral regulada por tres sistemas entrelazados:

- a) de alerta o *arousal*;
- b) de atención posterior o perceptiva;
- c) de atención anterior o atención supervisora.

El primero es el responsable del tono atencional, dependiente de la integridad del SARA y de sus conexiones subcorticales y corticales. El segundo sistema, que nos permite ser selectivos con la información prioritaria, está integrado por regiones del lóbulo parietal y sus conexiones corticales y subcorticales. Por ejemplo, no escuchamos el canto de los pájaros para escuchar a nuestro interlocutor. Por último, el tercer sistema, regulador de la dirección y el objetivo de la atención o atención deliberada, está integrado por regiones de la corteza prefrontal y ciertos ganglios basales. Por ejemplo cuando un alumno escucha atentamente el concepto que le explica el profesor.

Memoria

Sabemos que la memoria es la capacidad de almacenar, poder recordar y evocar experiencias pasadas propias o ajenas. En el aprendizaje integramos nuestras experiencias nuevas con las ya vividas que quedaron en nuestras memorias y que van a ser utilizadas para formar nuestras memorias futuras. Por lo tanto la memoria es un dispositivo clave en la construcción de nuestros aprendizajes.

Se han observado distintos tipos de memoria, entre los cuales pueden destacarse las formas explícita e implícita (conceptos que se trabajarán en profundidad en el capítulo siguiente).

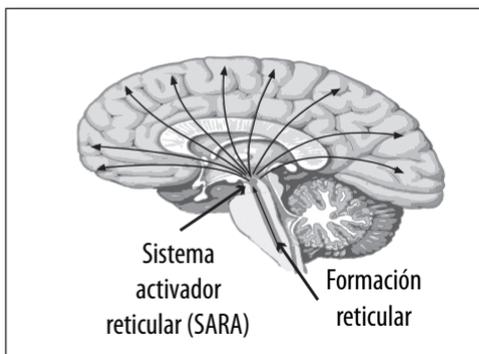


Figura 7.5. El sistema activador reticular (SARA), circuito involucrado en los mecanismos de atención (Fuente: Universidad del Valle de la Guadiana).

Para finalizar es importante recordar que, si bien existen dispositivos fisiológicos que les permiten a los alumnos aprender, la responsabilidad del docente es movilizar a los alumnos para que pongan en juego cada uno de estos dispositivos de aprendizaje y de esta manera actúen con autonomía en su tarea.

No hace falta hacer actividades llamativas, sino actividades que respondan a los factores que motivan al alumno. Por eso es muy importante conocer los intereses de las personas con las que trabajamos, saber cuáles son sus expectativas, sus ideas previas, ser capaces de percibir sus estados emocionales y ser mediadores de sus procesos cognitivos.

Todos estos factores se deberían tener en cuenta cuando el docente programa sus clases, en el diseño de la tarea diaria. Recordemos que la motivación no está en la actividad que hacemos sino que es intrínseca de los alumnos. ¿Qué los motiva? ¿Qué les gustaría aprender? ¿Cómo le gustaría aprender? ¿Qué saben ya? o sea, ¿qué ideas previas tienen para seguir construyendo los aprendizajes?

Bibliografía

- Azcoaga, J. 1987. "Psicología, lenguaje, aprendizaje", *Actas de las Primeras Jornadas Nacionales de APINEP*. Rosario, Ediciones Pedagógicas/Buenos Aires, Asociación de Docencia e Investigaciones en Neuropsicología y Afasiología.
- . 2010. *Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico*. Buenos Aires, El Ateneo.
- Cervino, C. 2010. *Neurofisiología*. Morón, Praia.
- Aboitiz, F. y Montiel, J. 2001. "Anatomy of 'mesencephalic' dopaminergic cell groups in the central nervous system", en Segura, J. (ed.). *Role of Reactive Cate-cholamine Species in Neurodegeneration and Apoptosis of Dopaminergic Neurons*. Nueva York, FP Graham.
- Carlson, N. R. 1996. *Fundamentos de Psicología Fisiológica*. México, Prentice Hall.
- Kolb, B. y Whishaw, I. Q. 2002. *Cerebro y conducta*. Madrid, McGraw Hill.
- Zenoff, A. J. 1998. "Neuropsicología infantil del aprendizaje: ensamblaje entre etiología y fisiopatología básica", en Feld, V. y Rodríguez, M. T. (eds.). *Neuropsicología infantil*. Luján, Universidad Nacional de Luján.

CAPÍTULO 8

Plasticidad y memoria

Carolina Facchinetti

Junto a las fuerzas selectivas de la evolución, el aprendizaje y la memoria son el medio principal de adaptación de los seres vivos a las modificaciones inciertas de su medio ambiente.

I. Morgado, 2005

Memoria

¿Por qué recordamos? ¿Por qué olvidamos? ¿Qué pasa en nuestro cerebro? ¿Por qué algunas veces nos olvidamos de ciertas personas, objetos, sucesos y otras veces no? ¿Por qué muchas veces no podemos olvidarnos de las personas que nos hacen mal y en cambio podemos olvidar fácilmente, por ejemplo, lo que significa una neurona?

Estas preguntas constituyen uno de los desafíos más grandes para la neurociencia: entender los mecanismos del aprendizaje y la memoria. Cierta información que recibimos de alguna manera es almacenada en nuestro cerebro. Como no existe un lugar específico donde se almacena, tampoco existe “la caja negra” (en algún lugar del cerebro), lo que significa que la memoria está almacenada en distintas áreas.

Cuando nos referimos a los procesos de aprendizaje y memoria es muy compli-



cado intentar estudiarlos por separado. El aprendizaje se define como un cambio de conducta, relativamente permanente, que se produce como resultado de la experiencia. Todo aprendizaje implica almacenamiento de información (memoria a largo plazo) y toda memoria implica adquisición de información. La memoria a largo plazo es la representación interna de la información adquirida a través del aprendizaje. Se halla codificada espacio-temporalmente en redes neuronales, mediante cambios en el funcionamiento de las neuronas (plasticidad). Las redes neuronales están constituidas por conexiones sinápticas ordenadas que se producen por la unión entre neuronas. La formación de estas redes es lo que permite el aprendizaje y la memoria (ver Figura 8.1). Su formación y cambio es lo que se conoce como plasticidad.

Plasticidad

¿Qué sucede en el cerebro cuando aprendemos algo? ¿Por qué lo recordamos? ¿Qué permite que toda la vida podamos aprender cosas nuevas?

El término plasticidad implica facultad de cambiar. Las redes neuronales de nuestro cerebro cambian a lo largo de la vida y estos cambios nos permiten modificar la conducta, o sea el comportamiento. Dentro de la plasticidad que presenta el cerebro, se diferencian la neuronal y la cerebral.

La plasticidad neuronal se refiere a la capacidad que poseen las neuronas de formar redes neuronales que luego persisten, por ejemplo cuando aprendemos a leer. Por otro lado, la plasticidad cerebral es la capacidad del encéfalo de cambiar sus conexiones entre neuronas en respuesta a las experiencias, drogas, hormonas o lesiones. Un ejemplo de plasticidad cerebral es la que se desarrolla en un área del cerebro y desempeña la función de otra área dañada, por ejemplo luego de un ACV

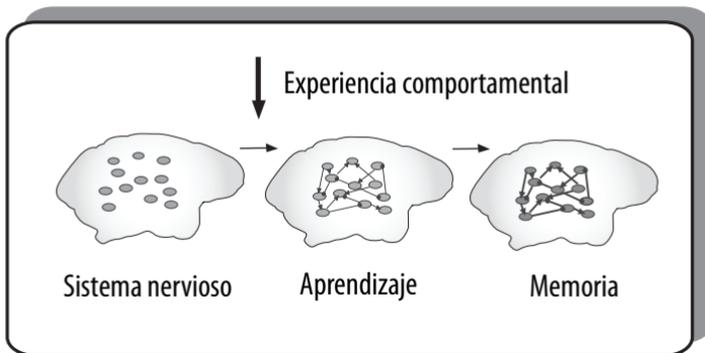


Figura 8.1. Esquema de la adquisición de la información (aprendizaje) a partir de la formación de redes neuronales y su fijamiento en el sistema nervioso (memoria) como consecuencia del aumento de la fuerza en esas uniones entre neuronas.

(accidente cerebrovascular) que involucre cierta parte del área encargada del lenguaje. Luego de la lesión y a través de la rehabilitación, las regiones cercanas al área dañada pueden llevar adelante las funciones perdidas, por plasticidad. Las áreas cercanas comienzan a procesar la información que antes procesaba ese área, y esto se llevará a cabo mediante nuevas sinapsis, que formarán nuevos puentes neuronales y nuevas redes en su cerebro plástico. Pero en muchos casos el lenguaje no vuelve a ser tan rico. Es mayor cuando las lesiones cerebrales han tenido lugar durante la época prenatal, neonatal o en la niñez, aunque esto puede producirse a cualquier edad.

Por otro lado, la plasticidad permite nuevos aprendizajes, por lo tanto también se generan nuevas memorias. El aprendizaje, mediante los procesos de plasticidad, es la capacidad del cerebro de cambiar constantemente de estructura y función.

Un ejemplo que podemos citar son los músicos que interpretan instrumentos de cuerda, como los guitarristas, cuya área de la corteza que gobierna la mano con la que tocan las cuerdas es mayor que la correspondiente a la mano que no digita. Los dedos más utilizados son los que tienen asignado más espacio en la corteza para procesar la información. Por

otro lado, en las personas no videntes que leen braille, la corteza visual se torna más activa cuando comienzan a palpar con los dedos las señales prominentes.

Ahora nos preguntamos, ¿cómo se produce esta plasticidad? Sabemos que las sinapsis son muy versátiles tanto en estructura como en función, pero ¿son también capaces de cambiar? ¿Pueden las experiencias de una persona generar alteraciones duraderas en las sinapsis? Sí, es así. El aprendizaje se produce por cambios en las sinapsis. Después de todo, aprender es una alteración relativamente permanente de la conducta como resultado de la experiencia. Este cambio del comportamiento debe estar relacionado de alguna forma con una variación en la estructura y función del sistema nervioso. El aprendizaje es producido por variaciones estructurales y funcionales duraderas de las sinapsis (ver Figura 8.2).

Un desafío muy importante que tienen los neurobiólogos es saber dónde buscar los cambios sinápticos que podrían estar relacionados con el recuerdo de un estímulo o una experiencia específica. Imaginemos lo interesante que podría ser el hecho de localizar exactamente las neuronas responsables de guardar el nombre de la mejor amiga o amigo.

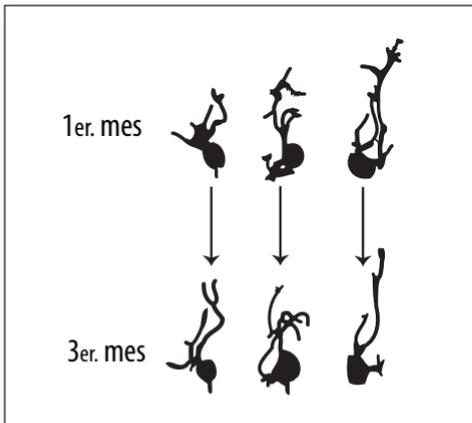


Figura 8.2. Reconstrucción de parte de las dendritas observadas durante tres meses. Se registran cambios en la extensión de determinadas ramas y la reducción en otras.

Plasticidad neuronal

Estos cambios sinápticos dados por el aprendizaje pueden modificar el cerebro mediante cambios en los circuitos existentes o creando nuevos (plasticidad neuronal):

a) Modificación de los circuitos existentes: ante las nuevas experiencias las neuronas cambian su morfología. Se ha podido comprobar el crecimiento y la formación de nuevas ramas dendríticas y la pérdida de otras (ver Figuras 8.2 y 8.3). Un mayor número de dendritas significa un mayor número de sinapsis. Las nuevas sinapsis que se originan pueden darse entre neuronas ya conectadas o bien entre neuronas que previamente no lo estaban. Esto expresa cambios en las redes neuronales de una región determinada y no el desarrollo de nuevas conexiones entre partes distantes del cerebro. Resulta muy complejo que se originen nuevas sinapsis entre regiones del cerebro muy distantes en un encéfalo completamente desarrollado debido a la densa cantidad de neuronas, células gliales, fibras y vasos sanguíneos. Por lo tanto la formación de nuevas sinapsis se produce en los circuitos básicos que ya existían en el encéfalo. Durante el desarrollo, el cerebro forma estos circuitos básicos que procesan la información sensorial y dan lugar a la conducta.

b) Formación de nuevos circuitos: actualmente se ha comprobado que el encéfalo de los primates jóvenes y adultos puede generar neuronas destinadas al bulbo olfatorio, al hipocampo e incluso a la neocorteza de los lóbulos frontal y temporal (Erikson *et al.*, 1998; Gould *et al.*, 1997). Todavía no está claro por qué se generan nuevas neuronas, puede ser que esto suceda reforzando así la plasticidad cerebral, en relación al aprendizaje y a la memoria. Cuando estudiamos para un examen tenemos que leer varias veces un texto e integrarlo con lo que ya sabemos. Esto lleva tiempo y esfuerzo y sucede porque, al repetir varias veces la

estimulación a determinadas áreas del cerebro, logramos consolidar, almacenar y luego evocar estos nuevos conocimientos. Como vimos previamente, esto se produce por cambios a nivel sináptico y puede prevalecer durante mucho tiempo. El aprendizaje que conduce a la memoria a largo plazo y a la modificación del comportamiento debe involucrar cambios persistentes en la fuerza de la sinapsis, lo que se conoce como plasticidad neuronal (ver Figura 8.3). En ella se produce un fenómeno llamado potenciación a largo plazo o de larga duración o LTP.

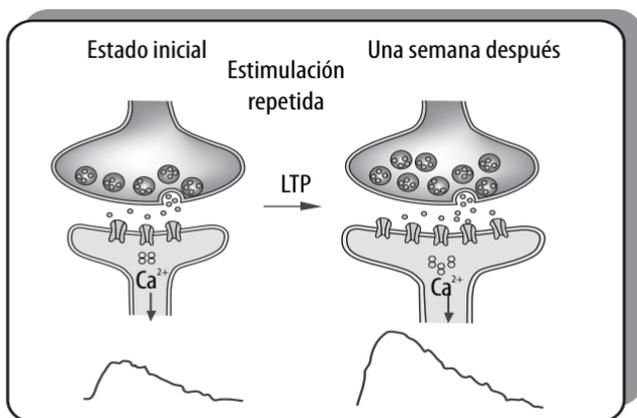


Figura 8.3. Despolarización de la neurona postsináptica durante un estímulo puntual (izquierda) y durante un estímulo que genera un LTP (derecha). Se observa que existe el mismo estímulo luego de su repetición, que entonces genera una mayor concentración de iones de calcio durante el LTP y que se ha activado la maquinaria de la célula que produce nuevos receptores de membrana.

Potenciación de larga duración (LTP)

Es una intensificación duradera en la transmisión de señales entre dos neuronas, o sea una intensificación en la fuerza de la sinapsis. Como se piensa que los recuerdos están codificados por modificaciones de la fuerza sináptica,

tica, se considera ampliamente al LTP como uno de los mecanismos celulares principales que subyace al aprendizaje y la memoria.

¿Qué ocurre durante un LTP? En una sinapsis normal, cuando la estimulación es baja, el glutamato, neurotransmisor liberado por las neuronas presinápticas, excita a los receptores de las neuronas postsinápticas desencadenando un potencial de acción. Sin embargo, cuando aumenta la estimulación, se activan otros receptores que permiten que una mayor cantidad de iones de calcio y sodio entren en la neurona postsináptica.

Si la estimulación es baja, se produce un LTP, pero no existen cambios en la neurona postsináptica. Si la estimulación continúa en el tiempo, los iones de calcio y sodio inducen cambios a largo plazo en la neurona postsináptica:

- 1) la neurona postsináptica se despolariza (ya que ingresan iones positivos, ver Figura 8.4) o sea aumenta la probabilidad de generar un potencial de acción al llegar un estímulo y

- 2) se activa la maquinaria de la célula que provoca cambios como la generación de nuevas dendritas y la transcripción de genes y síntesis de proteínas, entre las que se encuentran nuevos receptores de glutamato en la membrana plasmática. Las investigaciones que permitieron el descubrimiento de la potenciación a largo plazo o de larga duración se basaron en la estimulación repetida de una neurona particular y hallaron que las propiedades de las respuestas variaban. El tamaño de la respuesta postsináptica se potenciaba, aumentaba, y este cambio duraba días o semanas.

“Aprendizaje es el proceso por el cual nueva información es adquirida por las neuronas y es observable a través del cambio en el comportamiento. La memoria se refiere a la codificación, almacenamiento y evocación de la información aprendida.”

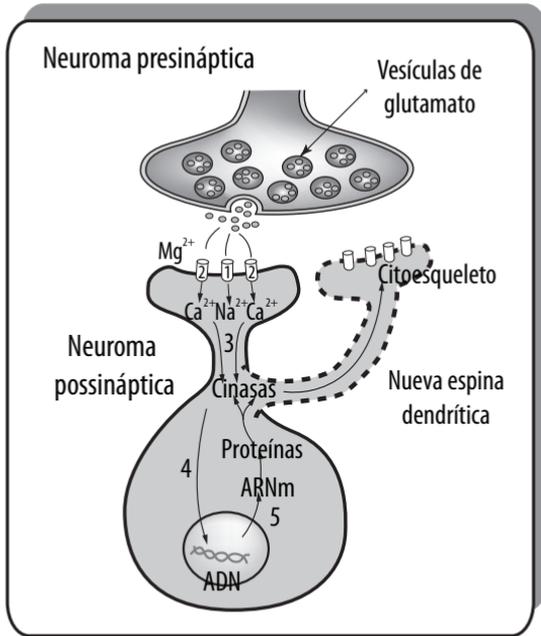


Figura 8.4. Secuencia de iniciación y mantenimiento de la plasticidad sináptica. (1) El glutamato (neurotransmisor) activa los receptores de la neurona postsináptica que permiten la entrada de iones de sodio (Na^{2+}) en la neurona postsináptica, que se despolariza. Esta despolarización permite la entrada adicional de calcio (Ca^{2+}) en la neurona (2). La entrada masiva de calcio en la neurona postsináptica activa la maquinaria intracelular (3-5) que induce cambios morfológicos en la neurona, y genera nuevas regiones sinápticas (4). Al mismo tiempo, se regulan factores de transcripción en el núcleo de la neurona postsináptica (4), con lo que se induce la síntesis de ARNm y nuevas proteínas (5), que son capturadas por las sinapsis activas, se insertan en sus membranas, y estabilizan los cambios habidos en el citoesqueleto (Morgado, 2008).

Estructuras cerebrales involucradas en los procesos de memoria

¿Qué estructuras cerebrales están involucradas en la adquisición de la información?, ¿y en el almacenamiento? ¿Solo nosotros tenemos memoria?

El estudio de la memoria suele centrarse sobre todo en los homínidos, ya que somos los que presentamos la estructura cerebral más compleja a lo largo de la evolución. Sin embargo, el estudio de la memoria en otras especies también es importante, no solo para hallar diferencias neuroanatómicas y funcionales, sino también para descubrir semejanzas. Los estudios con animales suelen realizarse también para descubrir la evolución de las capacidades mnésicas y para experimentos en los cuales no es posible, por ética, trabajar con seres humanos.

De hecho, los animales con un sistema nervioso simple tienen la capacidad de adquirir conocimiento sobre el mundo, y crear recuerdos (ver el ejemplo de habituación en la *Aplysia*). Por supuesto, esta capacidad alcanza su máxima expresión en los seres humanos.

Veamos un poco de la historia. A principios del siglo XX, Karl Lashley intentó descubrir en qué parte del cerebro se almacenaba la memoria. Para ello les enseñó a unas ratas y a otros animales a resolver problemas particulares y luego les extirpó distintas partes del cerebro para intentar encontrar el lugar donde se almacenaba la memoria, pero concluyó que “la memoria no está en ninguna parte y está en todas partes”. Observó que existía memoria siempre que quedara suficiente tejido cerebral para que el animal respondiera a los procedimientos de la prueba. Sin embargo, con el desarrollo de nuevas técnicas más sofisticadas, los neurobiólogos fueron desentrañando algunas de los lugares que participan en el proceso de la memoria.

En la década de 1950, un paciente denominado HM sufría de cuadros de epilepsia intratables. Sin embargo, también dañaron parte del sistema límbico. Luego de la cirugía, se notó una gran mejoría en las crisis epilépticas, si bien presentaba una grave alteración en la memoria, no podía formar nuevos recuerdos.

HM recordaba todo lo anterior a ese momento, su nombre, su fecha de nacimiento, dónde trabajaba, etc., pero no podía almacenar nuevos eventos (lo que se conoce como amnesia anterógrada). Esto demostró que al sacarle parte del lóbulo temporal, se había extirpado o dañado una parte que es importante para la formación de nuevas memorias. Pero lo que se había extraído no era un depósito o almacén de recuerdos, ya que los recuerdos de HM previos a la intervención estaban intactos, ni tampoco un sistema de recuperación porque HM podía recuperar sus recuerdos.

Con este caso quedó evidenciado que la memoria tiene distintas etapas en las que intervienen distintas estructuras cerebrales. Posteriores estudios con animales y lesiones cerebrales permitieron determinar las distintas estructuras involucradas en los sistemas de memoria.

Se han logrado grandes avances en la comprensión de cómo el sistema nervioso codifica y recupera la información. Los procesos de codificación de la información pueden atribuirse a cambios en las propiedades de las neuronas, tales como la excitabilidad de la membrana y la fuerza de conexión sináptica.

No existe un mecanismo universal para el aprendizaje y la memoria, sino que diferentes tipos de memoria pueden utilizar diferentes mecanismos, que se expresan a nivel celular. Sin embargo, existe una serie de principios (Byrne, 1987):

1. Hay distintos sistemas de memoria presentes en el cerebro.
2. Los aprendizajes y memorias de corto y largo plazo involucran cambios en los circuitos neuronales existentes.
3. Estos cambios pueden involucrar varios mecanismos celulares dentro de las neuronas individuales.
4. Los cambios en los canales de membrana están correlacionados con el aprendizaje y la memoria.

5. La memoria a largo plazo requiere de síntesis de nuevas proteínas, mientras que la de corto plazo no.

Tipos de memoria

Hay distintos tipos de memoria: sensorial, semántica, temporal, de lugar, entre otras. Desde el punto de vista neurobiológico se divide en dos grandes conjuntos de memoria que pueden involucrar distintos sistemas del cerebro: memoria implícita y memoria explícita.

La memoria implícita abarca hábitos no conscientes, es la información que nos permite ejercer hábitos cognitivos (aprendizajes perceptivos y experiencias emocionales) y motores. Su expresión es en gran medida automática o refleja, inconsciente y difícil de verbalizar. Se adquiere gradualmente y se perfecciona con la práctica, como por ejemplo atarse los cordones de los zapatos, manejar el auto, entre otros.

La memoria implícita permite reconocer una cara entre otras; también provoca el fenómeno conocido como “efecto de ilusión de verdad”, que sugiere que los sujetos se muestran más inclinados a calificar como verdaderos aquellos enunciados que ya han oído anteriormente, independientemente de su veracidad. Por otro lado, la memoria explícita permite la recolección consciente de eventos, es aquella que contiene información relacionada con el conocimiento y con el almacenamiento de hechos y sucesos. Se expresa conscientemente y es fácil de declarar verbalmente o por escrito.

Un ejemplo es la orientación en el espacio, la retención de información sobre objetos, relaciones, rostros, la capacidad de recordar la hora de una cita, o un suceso ocurrido hace años.

La memoria explícita a su vez se puede clasificar según el tiempo de almacenamiento en (ver Figura 8.5):

1. Memoria sensorial.
2. Memoria de corto plazo.
3. Memoria a largo plazo.

1. *Memoria sensorial*: proporciona información sobre el ambiente pero se pierde rápidamente si no se presta atención. Permite mantener la información por unos milisegundos o segundos. Es un requisito necesario para la formación de la memoria, ya que toda la información llega al sistema nervioso a través del sistema sensorial (vista, olfato, oído, tacto y gusto).

2. *Memoria a corto plazo*: es la memoria que nos permite recuperar cierta información que fue registrada por nuestros sentidos y alcanza la conciencia. Si bien no somos conscien-

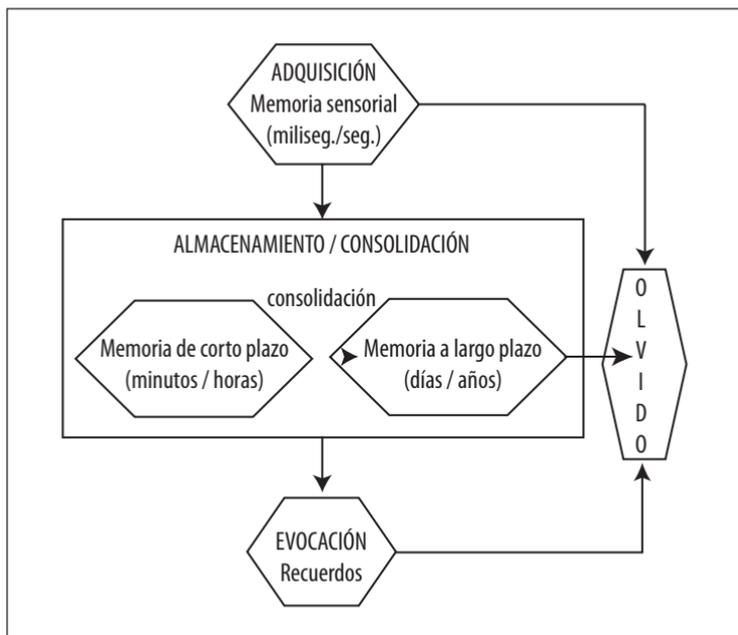


Figura 8.5. Esquema de las distintas etapas de la memoria explícita y los nombres que recibe.

tes de buena parte de la información registrada por la memoria sensorial, parte de la misma sí consigue pasar a nuestra conciencia. Esto es lo que conocemos como memoria a corto plazo, el registro por unos cuantos segundos de información percibida a través de los sentidos. El registro de la memoria a corto plazo perdura por algunos segundos o minutos en nuestra mente, tiempo suficiente como para disponer activamente de esta información. Desempeña un papel fundamental en la expresión verbal. Se basa en cambios efímeros, eléctricos o moleculares (LTP), en las redes neuronales implicadas. Sin embargo, a través del ensayo o la repetición, se puede activar la maquinaria celular (ver Figura 8.3) y hacer que esta información se conserve por más tiempo, lo que se conoce como consolidación de la memoria (y pasa a ser de largo plazo). La información de la memoria a corto plazo se pierde o debilita por el tiempo transcurrido o, dada su limitada capacidad, por el ingreso de nueva información (interferencia).

3. *Memoria a largo plazo*: es toda la información que vamos registrando durante la vida: recuerdos, conocimientos sobre el mundo, conceptos, sonidos, acciones, imágenes, etc., todo ello queda registrado dentro de este sistema. Se basa en cambios estructurales persistentes, como las nuevas espinas dendríticas.

La información se mantiene de modo inconsciente y solo pasa a la conciencia cuando la recuperamos de dicho sistema. En otras palabras, la memoria a largo plazo es un sistema limitado de almacenamiento y de mantenimiento temporal de la información, que a su vez es poco sensible a la interferencia.

El LTP es el mecanismo que subyace tanto la memoria de corto como de largo plazo. Sin embargo, en la memoria de corto plazo solo existe una intensificación de la sinapsis; no existe ni activación de la maquinaria celular ni cambios morfológicos de las neuronas (como sucede en la memoria de largo plazo).

Etapas de la memoria a largo plazo

La memoria a largo plazo consta de distintas etapas (ver Figura 8.5):

1) *Adquisición*: memoria sensorial y memoria de trabajo. Recepción de un estímulo y pasaje al lenguaje neuronal. Participan en la adquisición las regiones responsables de la percepción y el análisis de los diversos estímulos sensoriales que conforman cada experiencia: áreas de asociación de la corteza. Por ejemplo, en la adquisición de memorias visuales participa la corteza visual que se encuentra en el lóbulo occipital.

Áreas de asociación de la corteza: prefrontal (memoria del trabajo, atención), límbica, occipital (occipitoparietotemporal), síntesis de información visual, auditiva y somática. Esta etapa está presente en los tres tipos de memoria descriptos anteriormente.

2) *Consolidación/almacenamiento*: es el pasaje de corto a largo plazo, la integración de nuevas adquisiciones a las experiencias previas. Implica expresión génica, síntesis de proteínas y activación de vías metabólicas vinculadas (LTP). Participan distintas estructuras del sistema nervioso por ejemplo: hipocampo (áreas de la corteza con las que se comunica), amígdala (memoria emocional), *septum* y corteza entorrinal (ver Figura 8.7).

No toda la información que se consolida se almacena, existe un filtro. Cierta información se almacena a largo plazo. Todavía existen controversias sobre cuáles son las áreas involucradas pero se cree que es en la corteza, en el mismo lóbulo donde se adquiere (o sea que si se trata de memoria visual se cree que se almacena en el lóbulo occipital).

3) *Evocación*: proceso de recuperación de la información almacenada, que puede hacer que se manifieste la modificación en el comportamiento. Implica la participación de algunas vías metabólicas, pero no participa la activación de

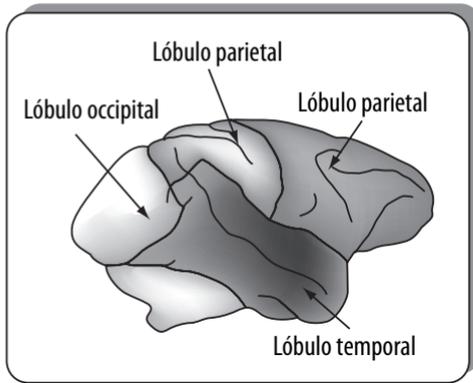


Figura 8.6. Áreas de la corteza cerebral en relación con los mecanismos de la memoria.

genes ni la síntesis de proteínas. Consiste en recuperar la información; en esta instancia la memoria puede volverse lábil, se puede modificar, y se debe volver a consolidar (reconsolidación, implica síntesis proteica y participa el hipocampo). La reconsolidación parece depender de la fuerza y antigüedad de la memoria original, ya que las más recientes y débiles son más fácilmente reconsolidables que las antiguas y fuertes.

Por ejemplo me preguntan cómo estaba vestido ayer. Cuando evoco el color de la camisa que tenía también puedo reconsolidar esa experiencia asociando con información actual diciendo: “Es un tono más claro que la que tengo ahora”. La antigua información del tono de la camisa se reconsolidó con la nueva información actual. Cuando vuelva a evocar el tono de la camisa es probable que la comparación que hice haya quedado consolidada.

Áreas involucradas en la formación y evocación de memorias

La principal área involucrada en la formación y evocación de memorias es el hipocampo. A su vez el hipocampo induce a otras áreas del cerebro a hacer lo mismo, princi-

palmente a la corteza entorrinal (ver Figura 8.6). La corteza entorrinal es la mayor fuente de aferencias (información que llega) del hipocampo y también el objetivo de sus eferencias (información que sale). Está conectada de forma fuerte y recíproca con otras áreas de la corteza cerebral, y por ello actúa como la mayor “interfaz” entre el hipocampo y otras partes del cerebro. Está formada por fibras provenientes del hipocampo y su función es la de actuar como centro de relevo o redistribución de información desde y hacia el hipocampo. Es a través de la corteza entorrinal que el hipocampo mantiene interconexiones con las áreas de asociaciones multimodales neocorticales de los lóbulos temporales, frontales y parietales. La mayoría de los investigadores cree que la enfermedad de Alzheimer comienza en la corteza entorrinal, ya que es un área con conexión directa con el hipocampo. Su

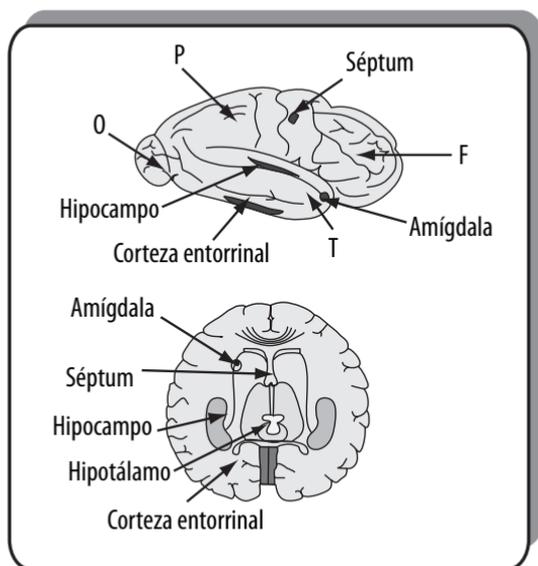


Figura 8.7. Estructuras del sistema límbico relacionadas con la memoria y el aprendizaje (Izquierdo, 1992).

degeneramiento o destrucción interferiría con la capacidad del hipocampo de obtener información del resto del cerebro.

Por otro lado la corteza entorrinal se comunica con la amígdala y es un importante núcleo modulador de los aspectos emocionales de las memorias. En síntesis, la corteza entorrinal tiene conexiones ida y vuelta con la corteza, la amígdala y el hipocampo. Es un importante centro de la memoria, en donde se integran memorias almacenadas e información nueva.

Memoria de trabajo

Existe otro tipo de memoria, denominada memoria de trabajo. Es un sistema que implica procesos activos de manipulación de la información almacenada. Es un procedimiento sumamente complejo que pasa inadvertido ante nosotros. Consiste en la representación consciente y en la manipulación temporal de la información necesaria para realizar operaciones cognitivas complejas, como el aprendizaje, la comprensión del lenguaje o el razonamiento. Por ejemplo, es la memoria que permite que leamos un texto y lo comprendamos, aunque no recordemos todas las palabras que leemos. Cuando el mecanismo de la memoria de trabajo se activa con cada experiencia, la información sensorial es procesada en la corteza prefrontal. Esta se comunica con otras regiones del cerebro y se produce un intercambio entre información nueva (memoria sensorial) que percibimos e información guardada en nuestro cerebro (diferentes áreas de la corteza cerebral). Este intercambio de información es lo que nos permite entender la realidad en la que vivimos, diferenciar lo que es real de lo que no lo es, por lo tanto, es un análisis *on line* de lo que está sucediendo.

¿Qué pasa cuando falla la memoria de trabajo? Cuando este mecanismo no funciona se pueden confundir los hechos

y la realidad, por lo que el día a día puede resultar amenazador. Se confunden los colores, los olores, los sonidos, objetos, etc., no puede diferenciarse la realidad de la ficción, de los pensamientos o de los sueños, por lo que en ciertos casos se produce una situación de paranoia. Por ejemplo, la esquizofrenia se caracteriza por fallas importantes en la memoria de trabajo, que son la raíz de problemas congénitos en la corteza prefrontal. Por esta razón, las personas que sufren de esquizofrenia viven la realidad como algo alucinatorio, confunden sueños con realidad, lo que vivieron ayer con lo que viven ahora, entre otras situaciones.

La memoria de trabajo es el instrumento que tenemos para analizar la realidad, su funcionamiento es constante, y al mismo tiempo es un filtro básico de información tanto de origen interno como externo. Es muy breve, nos permite funcionar como seres vivos. A partir de la memoria de trabajo, cierta información puede pasar a la memoria de corto plazo. Esta se produce a los pocos segundos o minutos luego de la adquisición, ocurre en el hipocampo y en la corteza entorrinal pero no implica expresión de genes ni síntesis de proteínas, los mecanismos moleculares son más simples que los de la memoria de largo plazo. Esa memoria de corto plazo, en algunos casos, puede pasar a memoria de largo plazo.

Amnesia versus olvido

¿Por qué nos olvidamos? ¿Es necesario el olvido? ¿Es patológico? ¿Por qué olvidamos ciertas cosas y otras no?

El olvido es una característica de la memoria de trabajo, es esencial para nuestra vida, no podríamos almacenar toda la información que recibimos todo el tiempo. Un buen ejemplo es el libro de Borges *Funes el memorioso*. Cuenta la historia de una persona que guardaba toda la información

que recibía, por lo tanto para contar lo que había hecho en el día necesitaba todo otro día para poder relatar todos los detalles. Necesitaba el mismo tiempo que estaba memorizando. No es bueno tener memorias tan perfectas. Por lo tanto el olvido es necesario.

Por otra parte, existe lo que se conoce como amnesia, que es la pérdida de memorias o la imposibilidad de formar nuevas memorias debido a lesiones en ciertas áreas del cerebro. Volvemos a la historia del paciente HM, que sufría ataques de epilepsia muy severos, por lo que se decidió extirparle las puntas de ambos lóbulos temporales. Curaron bastante bien la epilepsia de HM pero, a partir de la operación, el paciente quedó incapacitado para formar nuevas memorias y además había perdido las memorias adquiridas unas semanas antes de la cirugía. Si bien recordaba perfectamente su infancia y juventud, era incapaz de aprender cosas nuevas. Este cuadro amnésico se atribuyó a la extirpación de los dos tercios anteriores del hipocampo, casi la totalidad de la corteza entorrinal y parte de la amígdala. Esto sugirió el papel fundamental que juegan estas áreas en la formación de nuevas memorias y que las memorias de largo plazo están almacenadas en otro lugar del cerebro.

Se conocen dos tipos de amnesias que se dan a partir de lesiones en el cerebro:

- » Amnesia anterógrada: pacientes que no tienen problema para recordar hechos previos a la lesión, pero no pueden generar nuevas memorias. Este es el caso de HM, en el cual se ve comprometido el hipocampo.
- » Amnesia retrógrada: en la cual los pacientes no recuerdan los hechos ocurridos antes de la lesión pero, sin embargo, pueden generar nuevas memorias. Se puede dar también por daños en el hipocampo.

Desnutrición y memoria

La desnutrición temprana puede producir alteraciones a largo plazo en la función cerebral alterando el metabolismo de los neurotransmisores y de los receptores. De esta manera, se modifica la transmisión de los impulsos nerviosos ya que se ven alteradas las sinapsis. Puede llevar a la desnutrición de las células nerviosas, produciendo una disminución de la mielina lo que también influye sobre la transmisión del impulso nervioso.

En un marco de vulnerabilidad, no solo existe un déficit nutricional, sino condiciones ambientales inadecuadas para la vida, como por ejemplo toxinas ambientales y, por otro lado, déficit en la estimulación intelectual o cognitiva de los niños. Si estos no reciben suficiente estimulación intelectual, los circuitos neuronales que tienen que eliminarse no lo hacen (poda sináptica) y los circuitos neuronales que tienen que quedar no quedan (aprendizaje). No solo la falta de nutrición afecta el desarrollo, sino también las adversidades familiar y social.

En resumen, un niño que sufre de desnutrición, generalmente también está privado de estímulos, deficientemente relacionado con su familia u otras personas, lo que genera baja capacidad para integrar respuestas, se retrasa en la acumulación de experiencias, por lo que después se le dificulta el aprendizaje. Pierde la capacidad de crecimiento de las neuronas y de las redes neuronales. Presenta una lenta transmisión del impulso nervioso, con consecuencias a largo plazo. Estos efectos se pueden revertir con rehabilitación nutricional y estimulación motora, sensorial y cognitiva pero hasta una cierta edad, aproximadamente hasta los 5-7 años, luego los efectos son irreversibles, sin embargo un niño puede mejorar con nuevos estímulos y un ambiente comfortable.

El cerebro sigue madurando hasta la segunda y tercera décadas de vida. De hecho las áreas involucradas en la toma de decisiones recién se desarrollan en esos períodos. En la adolescencia también hay una maduración en la conexión de los circuitos racionales y emocionales.

Neurociencia y educación

La neurociencia ofrece nuevas herramientas para mejorar el rendimiento en la educación. Conocer más sobre el cerebro y manejar información de cómo funciona permiten desarrollar una enseñanza, un ambiente escolar, una evaluación más acordes con las características innatas e intrínsecas de nuestros cerebros para aprender. Algunos descubrimientos fundamentales de la neurociencia, que están expandiendo el conocimiento de los mecanismos del aprendizaje humano, son:

1. El aprendizaje cambia la estructura física del cerebro.
2. Esos cambios estructurales alteran la organización funcional del cerebro.
3. El cerebro es un órgano dinámico, moldeado en gran parte por la experiencia.

Jensen (2000) marca algunos puntos fundamentales de los trabajos de neurociencia que pueden ser aplicados en una clase y de aspectos que son importantes para el desarrollo del aprendizaje, la memoria y las escuelas:

- » El cerebro social: cómo las interacciones y el estatus social pueden afectar el nivel de hormonas.
- » El cerebro hormonal: cómo las hormonas pueden y afectan el aprendizaje.

- » El cerebro plástico: cómo cambia el cerebro a partir de las experiencias.
- » El cerebro atencional: cómo dirige la atención la corteza prefrontal.
- » El cerebro emocional: cómo las amenazas y las hormonas afectan la memoria, las células y los genes.
- » El cerebro adaptativo: cómo el estrés y el cortisol impactan en el aprendizaje.
- » El cerebro paciente: el rol del tiempo en el proceso de aprendizaje.
- » El cerebro conectado: cómo viaja la información de nuestro cerebro a través del cuerpo.
- » El cerebro en desarrollo: cómo optimizar el valor de los tres primeros años sabiendo qué hacer y cuándo hacerlo.
- » El cerebro hambriento: el rol de la nutrición en el aprendizaje y la memoria; cuáles son los mejores alimentos, ¿qué comer?
- » El cerebro memorable: cómo son codificadas y recuperadas nuestras memorias.

Bibliografía

- Ansermet, F. y Magistretti, P. 2006. *A cada cual con su cerebro: plasticidad neuronal e inconsciente*. Buenos Aires, Katz.
- Byrne, J. H. 1987. "Cellular analysis of associative learning", *Physiological Review* 67, pp. 329-439.
- Azcoaga, J. *Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico*. Buenos Aires, El Ateneo.
- Carlson, N. R. 1996. *Fundamentos de Psicología Fisiológica*. México, Prentice Hispanoamericana.
- Cervino, C. 2010. *Neurofisiología*. Buenos Aires, Praia.
- Curtis, H. y Barnes N. S. 1995. *Biología*. 5° ed. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- Eriksson, P.; Perfilieva, E.; Björk-Eriksson, T.; Alborn, A.; Nordborg, C.; Peterson, D. A. y Gage, F. H. 1998. "Neurogenesis in the adult human hippocampus", *Nature Medicine* 4, pp. 1313-1317.
- Gould, E.; McEwen, B. S.; Tanapat, P.; Galea, L. A. y Fuchs, E. 1997. "Neurogenesis in the dentate gyrus of the adult tree shrew is regulated by psychosocial stress and NMDA receptor activation", *Journal of Neuroscience* 17, pp. 2492-2498.
- Izquierdo, I. 1992. *¿Qué es la memoria?* Buenos Aires, FCE.
- . 2008. *El arte de olvidar*. Buenos Aires, Edhasa.
- Jensen, E. 2000. "Brain-Based Learning: A Reality Check", *Educational Leadership* 57, pp. 76-80.
- Kandel, E. R. 2008. *En busca de la memoria*. Buenos Aires, Katz Editores.
- Kolb, B. y Whishaw, I. Q. 2002. *Cerebro y conducta*. Madrid, McGraw Hill.
- Morgado, I. 2005. "Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes", *Revisión en Neurociencia* 40, pp. 289-297.
- Purves, D. et al. 2004. *Neuroscience*. 3° ed. Massachusetts, Sinauer Associates, Inc.
- Squire, L., Berg, D., Bloom, F., du Lac, S., Ghosh, A. y Spitzer, N. 2008. *Fundamental Neuroscience*. 3° ed. Elsevier.

CAPÍTULO 9

El componente afectivo emocional en los aprendizajes

Analía Ricci

¿De qué manera intervienen las emociones sobre nuestra capacidad de aprender? ¿Qué mecanismo neuronal es responsable de la empatía? ¿Cómo favorecemos el desarrollo de la inteligencia emocional?

Emociones

Las memorias dependen de las emociones. Todos lo hemos experimentado alguna vez; los objetos, sujetos y hechos que recordamos mejor son aquellos que, independientemente de que hayan sido agradables o desagradables, más nos han conmovido y marcado. Las emociones intervienen en la formación de nuestras memorias. Pero, ¿a qué llamamos *emociones*?

Un bebé desde su nacimiento emite sonidos de placer después de ser amamantado o en los brazos de su madre, llora cuando tiene sensación de hambre o algún malestar, observamos cambios en la expresión de su cara y también en sus respuestas motoras. Desde el nacimiento expresamos emociones. Son innatas, inconscientes, universales en la especie

humana, y se manifiestan por medio de expresiones faciales y respuestas motoras. También aprendemos a emocionarnos frente a determinados estímulos: el olor del pan recién horneado, el perfume de las flores del jardín de la abuela, la música que escuchábamos en la adolescencia o los ruidos extraños que oímos cuando nos estamos durmiendo. Estas percepciones desencadenan cambios fisiológicos y motores, y contribuyen con la formación de nuestra memoria emocional.

Con cada estímulo que percibimos se generan nuevas conexiones neuronales que establecen la memoria emocional. Se origina así la base de datos de todo lo que nos emociona. Y aunque es fácil añadir datos, borrarlos es complicado, por eso es difícil controlar las emociones.

¿Hay diferencias entre lo que amamos u odiamos y lo que nos emociona? Generalmente confundimos las emociones con los sentimientos. Ambos tienen aspectos comunes pero hay características que los distinguen. Las emociones son innatas; sin embargo, los sentimientos se construyen desde el nacimiento, siendo muy relevante la relación entre madre, bebé y medio ambiente. Las emociones se expresan en forma automática, mientras que los sentimientos son conscientes y poseen un alto grado de introspección. Los sentimientos son individuales y se van construyendo a lo largo de la vida, influenciados por el contexto personal, familiar, cultural, histórico y político. Las emociones son universales y comunes a todas las culturas. Esto lo podemos ver claramente en las fotos que observamos a continuación. Cualquiera que exprese diferentes emociones de ira, sorpresa, desagrado, alegría y/o tristeza, como se observa en las fotografías, seguramente lo realice de una forma similar. Pero si deseamos expresar sentimientos de amor, odio, desilusión o fastidio, lo haremos diferente, ya que están atravesados por nuestro contexto y nuestra subjetividad.



Figura 9.1. Expresión de diferentes emociones (Libny Valdebenito Kelly, 2010)

Estructuras emocionales y aprendizaje

Para los humanos las emociones conforman una respuesta compleja debida a las reacciones automáticas de defensa, protección y supervivencia, a los efectos de las hormonas sobre el organismo y a los comportamientos sociales de los individuos, fundamentados en los enfoques o maneras de pensar diferentes. Estos tres factores han constituido uno de los motores fundamentales de la evolución humana. Un claro ejemplo de la importancia de las emociones en nuestro aprendizaje es el proceso de comunicación verbal, donde las emociones juegan un papel preponderante, ya que solo el

7% del significado está en las palabras que se dicen, el 38% en la prosodia (énfasis) y el contexto espacial y temporal en el cual las palabras son dichas, y el 55% del significado está en las expresiones faciales que denotan los estados emocionales desencadenados por la comunicación verbal.

En el cerebro, las emociones están bajo la influencia y el control de un circuito especial conformado por la *amígdala*, la *corteza orbitofrontal*, la *corteza anterior cingulada* y la *ínsula* (Figura 9.2). Dichas áreas del cerebro, al procesar las emociones, influyen e interactúan con otras áreas del sistema nervioso.

La corteza prefrontal posee tres áreas diferenciadas: la *corteza dorsolateral*, que participa principalmente en el control ejecutivo, la memoria de trabajo, la atención selectiva y la formación de conceptos; la *corteza orbitofrontal*, que media

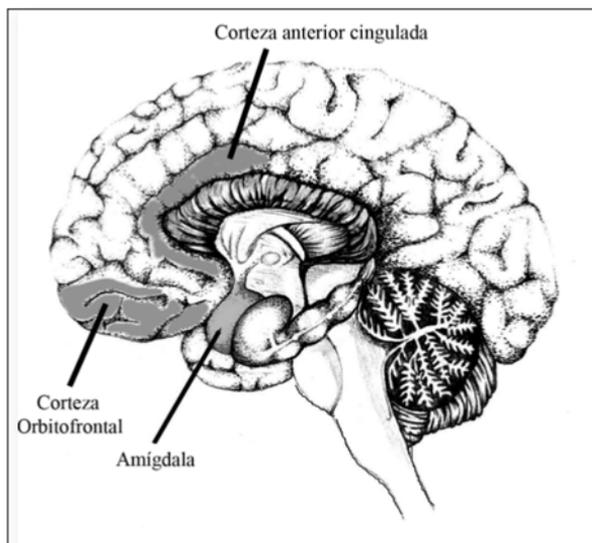


Figura 9.2. Áreas responsables del procesamiento de las emociones (modificado de Viding, 2006). La *ínsula* se expone al retraer el lóbulo temporal por el surco lateral y no es visible en esta figura.

en la conducta social; y la *corteza ventromedial* (donde se ubica la corteza cingulada) que participa en el procesamiento de señales emocionales que guían nuestra toma de decisiones hacia objetivos específicos que nos permiten adaptarnos a las situaciones planteadas por el ambiente. Así, las lesiones de la corteza prefrontal suelen acarrear alteraciones tanto cognitivas como conductuales y emocionales, dependiendo del área que se vea afectada.

Se ha considerado al lóbulo frontal como el área del cerebro más relevante para el desarrollo de la inteligencia. Desde este punto de vista, es paradójico que los pacientes con lesiones frontales presenten una inteligencia normal en las pruebas psicométricas. Actualmente resulta evidente que funciones complejas como la inteligencia no residen en un área concreta cerebral, sino que son el resultado de múltiples conexiones neuronales que forman redes entre diversas regiones corticales y subcorticales. A pesar de esto, las lesiones en la corteza prefrontal producen una marcada disminución en ciertas capacidades que llevan al entorno de los pacientes a percibirlos como “menos inteligentes”, y esto puede deberse a que las actividades más afectadas están vinculadas con la interacción social y la personalidad.

A continuación detallaremos las funciones de las cuatro áreas responsables del procesamiento de las emociones.

Funciones de la corteza orbitofrontal

La corteza orbitofrontal se ubica en la parte inferior del lóbulo frontal, y es la responsable de la toma de conciencia de nuestros estados emocionales. Regula la actividad de la amígdala, controlando la intensidad de las respuestas emocionales, y se relaciona con el sistema de recompensa y la toma de decisiones comparativas. Por ejemplo, si tenemos una situación donde el estímulo A es gratificante y el estí-

mulo B es un castigo, y se intercambian los efectos de los estímulos, siendo ahora el estímulo A un castigo y el estímulo B gratificante, es por medio de la actividad de la corteza orbitofrontal que detectamos dicho cambio en el estímulo y adaptamos el comportamiento de acuerdo a la nueva estructura. Las personas con daños en esta área de la corteza o con deficiencias en su funcionamiento, no muestran emociones al tomar una decisión y no tienen la aversión al riesgo que muestran las personas (impulsividad), mostrando además bajo nivel de juicio social (desinhibición) y bajo control emocional, hasta el punto que son propensas a manifestar frecuentes explosiones de ira.

Funciones de la corteza anterior cingulada

La corteza anterior cingulada es un área de la corteza ubicada por encima del cuerpo caloso. Participa tanto en la experiencia como en la expresión de las emociones, siendo crítica para el procesamiento de emociones asociadas con situaciones sociales complejas. La actividad de la amígdala se acopla con la actividad de esta parte de la corteza para modular la respuesta automática emocional. Las patologías de esta parte de la corteza se asocian con desórdenes de tipo psicoemocional tales como la depresión y la esquizofrenia. Se ha podido comprobar que, tras una lesión bilateral de la corteza cingulada, suele aparecer un síndrome caracterizado por la nula expresividad facial emocional, tanto fingida como espontánea, que no se relaciona a un trastorno motor, y además presentan apatía. Por otra parte, estudios en primates han demostrado que tras estas lesiones desaparece el llanto por separación de la madre en los monos jóvenes y se altera la relación de apego en los adultos.

Funciones de la ínsula

La ínsula se ubica detrás del lóbulo frontal, en el surco lateral o cisura de Silvio, que separa las cortezas temporal y parietal (Figura 9.3). Su función principal está centrada en monitorear nuestros órganos internos, actuando como centro de control de las funciones viscerales. La ínsula no solo se conecta con nuestros órganos sino que de ella depende la percepción del modo en que nos sentimos, siendo responsable de las percepciones viscerales. Además, como veremos más adelante en este capítulo, participa de la percepción y comprensión de las emociones ajenas. Presenta un área anterior con función olfatoria, que es recorrida por el tracto olfatorio en su camino desde el bulbo hasta la corteza. La parte posterior de la ínsula contiene un área de asociación somatosensitiva y participa en el procesamiento de información nociceptiva. Las patologías de la ínsula están implicadas en los desórdenes psicoemocionales relacionados con obsesiones compulsivas.

En resumen, las cuatro áreas explicadas influyen de diferentes maneras en la generación y control de las respuestas emocionales, pero están íntimamente relacionadas con todo el cerebro, el organismo y la psiquis humana. Forman parte, además, del área límbica encargada de las funciones automáticas e instintivas. Las respuestas emocionales son inherentes a nuestra naturaleza humana y permiten reaccionar rápidamente ante situaciones peligrosas, suministrando claves no-verbales de acción y descifrando el comportamiento de otros individuos con quienes nos relacionamos. Sin embargo, la afección de estructuras emocionales puede dificultar la manera de desenvolvernos en diferentes grupos en los cuales nos corresponde interactuar (familia, amistades, estudio, profesión, trabajo, etcétera).

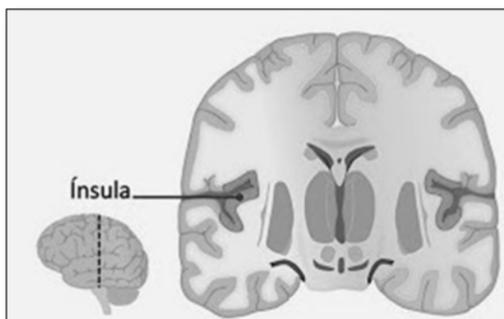


Figura 9.3. Ubicación de la ínsula (Asociación Educar, 2013).

Funciones de la amígdala

La amígdala está fuertemente asociada con el mecanismo estímulo-respuesta. Está ubicada en el lóbulo temporal y se organiza en cinco núcleos principales: núcleo central, núcleo basal, núcleo basal secundario, núcleo medio y núcleo lateral.

Las funciones de la amígdala fueron estudiadas en 1939 por Heinrich Kluver y Paul Bucy. Ellos extirparon las amígdalas y las cortezas temporales anteriores de varios monos y observaron los siguientes síntomas:

- » Ausencia de miedo y mansedumbre.
- » Alimentación indiscriminada: aceptaron alimentos que antes rechazaban.
- » Cambios en el comportamiento sexual: aumento de la conducta masturbatoria e incremento de relaciones heterosexuales y homosexuales.
- » Propensión a reaccionar a todos los estímulos visuales.
- » Predilección por explorar todos los objetos con la boca.

Los monos con amígdala sana sienten terror y huyen de las serpientes. En estos individuos se observó que no sólo se

acercaron a las serpientes sino que también se las metían en la boca. Estos estudios permitieron esclarecer la relación de la amígdala con el control emocional: recibe información sensorial del tálamo y de la corteza, así como la relación entre estímulos por medio del hipocampo, lo que le permite evaluar el significado emocional de la situación y generar las respuestas que se adecuen a las demandas del entorno. De esta manera, se la considera el sensor de la amenaza, que identifica el peligro y, por lo tanto, desencadena la autopreservación. Provoca una respuesta inmediata del sistema nervioso autónomo si detecta una señal de alarma y genera la expresión de estados de ánimos como el miedo, la ira y la agresión. Observaciones en pacientes que presentan lesiones bilaterales de la amígdala sugieren que esta estructura posee un papel primordial en la manifestación de miedo, dado que los sujetos lesionados son incapaces de aprender las señales que los individuos normales utilizan para reconocer expresiones faciales de miedo. El daño o funcionamiento deficiente de la amígdala conduce a la baja capacidad de respuestas emocionales condicionadas, a la dificultad para reconocer el miedo, y a ciertas patologías psicoemocionales como conductas antisociales y dificultades para aprender del castigo.

Emociones, aprendizaje y memoria

La capacidad de aprender y formar memorias requiere de una amígdala intacta. La amígdala produce ciertas proteínas haciendo que el recuerdo sea duradero, y así es como las emociones pueden potenciar o bloquear la memoria. Todas las memorias se consolidan en un determinado contexto emocional, es decir, que a medida que una información desencadena una emoción, ésta queda plasmada en nuestro

cerebro asociada a ese contexto emocional. Por ejemplo, no es lo mismo leer un texto cuando estamos próximos a un examen que leerlo para una clase de trabajos prácticos.

Por otra parte, existe un tipo de memoria implícita, o sea no declarativa, que se relaciona con la experiencia emocional. Esta memoria tiene que ver con el almacenamiento de las sensaciones frente a una situación que tiene un determinado estado emotivo. Si alguna situación provoca un comportamiento emocional, se puede almacenar un recuerdo con esa determinada carga emocional. Por ejemplo, si una persona estuvo en la guerra, mucho tiempo después, ante un ruido parecido a una explosión puede desarrollar un comportamiento de miedo similar al de la experiencia vivida (sudoración, aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria, sequedad en la boca, etcétera).

Respuesta emocional

¿Qué cambios se producen en nuestro cuerpo cuando estamos próximos a rendir un examen final? Por un lado, hay cambios en la expresión facial: estamos pálidos y tensos, lo que se genera por la contracción coordinada de determinados músculos de nuestra cara (estado de alerta o de miedo). Por otro lado, se verifican cambios en la expresión automática o vegetativa de todo el cuerpo: el ritmo cardíaco se acelera (taquicardia), aumenta el ritmo respiratorio, aparece la transpiración y los sentidos se agudizan. En la boca disminuye la secreción salival y se nos hace un nudo en el estómago (se inhibe la sensación de hambre y toda actividad del sistema digestivo). Se produce una modificación del diámetro de los vasos sanguíneos generando una redistribución de la sangre hacia los músculos. En estas reacciones de alarma se movilizan los recursos energéticos, se incrementan las acti-

vidades motoras y las características vegetativas que aportan oxígeno y nutrientes a los músculos, el cerebro y el corazón. De este modo se ponen en marcha las “respuestas de lucha o huida” requeridas para la supervivencia en situaciones de emergencia.

Dar un examen nos pone nerviosos pero debemos hacerlo. Y además tenemos que aparentar que estamos relajados y empezar a hablar. ¿Cuáles son los mecanismos neuronales que desencadenan nuestro estado de tensión?

Aspectos neurofisiológicos no conscientes

Continuando con el ejemplo anterior, la corteza cerebral percibe que estamos frente a la comisión evaluadora, es decir, que esta información captada por nuestra vista es conducida y transmitida al tálamo y luego a la corteza visual. Desde el tálamo también llega por sinapsis a la amígdala y esto desencadena la respuesta emocional.

¿Qué mecanismos desencadenan una respuesta emocional expresada prácticamente en todo el organismo: la cara, el corazón, los movimientos respiratorios, el sistema digestivo, el sistema circulatorio y los músculos en general?

Cuando la amígdala recibe la información del tálamo, la transmite por sinapsis al hipotálamo. Como mencionamos en el Capítulo 5, el hipotálamo forma parte del sistema neuroendocrino, por lo tanto esta información será transmitida por vía neural y por vía hormonal a todo el cuerpo:

- » *Vía neural*: la conducción y transmisión de la información se produce desde el hipotálamo hacia el resto del tronco del encéfalo, llegando a la médula y de ahí al sistema nervioso simpático. Este sistema interviene en las reacciones de lucha o de fuga.

- » *Vía hormonal*: el hipotálamo produce neurohormonas que estimulan la adenohipófisis, la cual produce hormonas específicas sobre los órganos blanco relacionados con el estrés (*cfr.* “Las hormonas y el estrés”, en el Capítulo 5).

En el hipotálamo se organizan los circuitos neuronales básicos que integran las conductas típicas de las emociones. A través de sus conexiones con otras áreas cerebrales, es responsable de controlar componentes aislados de las respuestas motoras conscientes y vegetativas a través de los sistemas motor y simpático, respectivamente.

La expresión motora de la emoción es estereotipada en el ser humano, generando la contracción coordinada de determinados músculos como parte de la respuesta emocional. Por ejemplo, la sonrisa de alegría combina la contracción de una serie de músculos de la cara que, en el caso de las emociones, son activados de manera involuntaria. Dependen de una vía nerviosa motora a cargo de la corteza motora accesoria en la corteza prefrontal, los ganglios de la base y las vías nerviosas que salen de estos ganglios. La sonrisa voluntaria se regula por otra vía separada que desciende desde la corteza motora. Como resultado de esta dicotomía, puede ocurrir que la lesión de una u otra vía eliminen la sonrisa involuntaria pero no la voluntaria, o viceversa.

Aspectos neurofisiológicos conscientes

Si volvemos al ejemplo del examen, ahora ya comprendemos los mecanismos neuronales que desencadenaron nuestro estado de tensión, pero, ¿cuáles nos permiten simular estar rejalados para poder comenzar a hablar?

En la misma época que Kluver y Bucy estudiaron el comportamiento de los monos al extirparles la amígdala, Carlyle

Jacobsen analizó la conducta de dos chimpancés al extirparles la parte anterior de los lóbulos frontales, mediante una operación que se llama *lobotomía*. Uno de ellos era un animal muy nervioso y, al hacerle esta cirugía, se transformó en un animal manso y relajado. Un neurólogo portugués, Egas Moniz, realizó este tratamiento en humanos a fin de tratar trastornos psiquiátricos y generar cambios de conducta.

Durante la década del '50 en Estados Unidos se hizo esta cirugía a 4.000 personas. En los años '60 dejó de utilizarse como tratamiento. Un caso emblemático fue el de Agnes, a quien se le extirpó la corteza prefrontal por pedido del esposo ya que ella era muy sociable y muy conversadora. Su marido tenía una empresa petrolera y temía que su esposa lo perjudicara en su negocio. Luego de la cirugía, Agnes cambió completamente, no expresaba externamente emociones, no manifestaba cambios en su expresión facial, perdió el interés en la vida social, en los objetos que antes amaba y se sentía vacía. Luego de la muerte de su marido, perdió todo el dinero y las propiedades que tenía porque no podía planificar ni tomar decisiones. Ahora nos preguntamos: ¿por qué cambió tanto la personalidad de Agnes?

Como vimos previamente, la corteza prefrontal está implicada en una gran cantidad de procesos cognitivos, como la memoria de trabajo, las funciones ejecutivas, la toma de decisiones, la planificación del comportamiento y el procesamiento de las señales emocionales. Lesiones como la que sufrió Agnes involucran diversas áreas de la corteza prefrontal, produciendo cambios que abarcan distintas funciones y que conducen a serios cambios de personalidad como la apatía, la pérdida de iniciativa y la dificultad de producir y/o percibir cambios en las expresiones.

Las distintas áreas de la corteza prefrontal están conectadas con las cortezas sensoriales; esto permite que se activen los mismos circuitos sin estímulos externos, por ejemplo, a

través del pensamiento, la imaginación y los recuerdos. Esto lo percibimos claramente al recordar algo traumático que nos sucedió en la vida, como por ejemplo, la pérdida de un ser querido. Se desencadena en nuestro organismo una respuesta emocional que se interrumpe cuando tomamos conciencia y evaluamos la situación en el presente.

Por lo tanto, el trabajo conjunto de las distintas áreas de la corteza prefrontal reduce o elimina las respuestas emocionales reflejas. Si escuchamos un ruido en el techo de nuestro cuarto mientras nos estamos durmiendo, comenzaremos a transpirar, se agilizará el ritmo cardíaco y la respiración y se provocará la sensación de miedo (respuesta autónoma dada por sinapsis entre el hipotálamo y la amígdala). Cuando nos damos cuenta que ese ruido es de un gato que está en el techo, y por lo tanto es inocuo, se detiene la respuesta automática emocional (respuesta consciente que involucra a la corteza prefrontal y su conexión con el hipotálamo-amígdala).

La corteza prefrontal nos permite analizar y valorar una determinada situación para luego tomar decisiones racionales. En esta toma de decisiones se produce una rápida representación mental de diferentes situaciones probables con sus posibles consecuencias, y luego realizamos la elección pertinente para esa situación.

En nuestro ejemplo del examen, es la corteza prefrontal la que controlará en forma consciente nuestro estado emocional. Es la que analizará el contexto y tomará la decisión de relajarnos, tal vez esbozar una sonrisa y comenzar a hablar.

Empatía y neuronas espejo

Como sabemos, los humanos pertenecemos a una especie extremadamente social. Tal es así que nuestra supervi-

vencia y éxito dependen críticamente de nuestra capacidad de lidiar con situaciones socialmente complejas. No preguntamos entonces, ¿qué mecanismos neurológicos nos dan la capacidad de comprender a otras personas, o incluso lograr “ponernos en sus zapatos”?

En el Capítulo 6 aprendimos que, recién a los 4 años de edad, un niño adquiere la maduración de la corteza prefrontal necesaria para desarrollar la capacidad de reconocer la intencionalidad de otro individuo. Ahora nos preguntamos, ¿qué implica tener la capacidad de reconocer intencionalidades y emociones ajenas? Algo que nos parece tan natural y no nos lleva a cuestionarnos, ¿cómo podemos entender que un amigo tiene un mal día aún sin habérselo preguntado? Hasta hace unos años nadie podía explicar cuál es el mecanismo por el cual sabemos qué hacen, piensan y sienten los demás, pero hoy ya tenemos algunas respuestas.

Existen ciertos grupos de neuronas en el cerebro, denominadas *neuronas espejo*, que nos permiten entender el mundo y nos vinculan con otras personas mental y emocionalmente. Veamos algunos ejemplos. ¿Por qué nos emocionamos al ver escenas conmovedoras en las películas? Porque las neuronas espejo recrean para nosotros el dolor o la alegría que vemos en la pantalla. Tenemos empatía por los personajes de ficción y sabemos cómo se sienten, porque literalmente experimentamos los mismos sentimientos que ellos. ¿Y cuando vemos dos personas besándose en la televisión? Algunas de las neuronas que se activan en nuestro cerebro son las mismas que se activan cuando besamos a nuestras parejas. Del mismo modo, cuando vemos que alguien sufre, las neuronas espejo nos ayudan a leer la expresión facial de esta persona y en concreto nos hacen sentir ese mismo sufrimiento.

Comprensión de las acciones

Ahora bien, la primera pregunta que surge y debemos respondernos es: ¿cómo reconocemos las acciones ajenas? El sistema compuesto por neuronas espejo fue descubierto en 1996, en la corteza premotora de monos macacos, por un grupo de científicos dirigidos por Giacomo Rizzolatti. Actualmente se sabe que estas neuronas se activan tanto durante la ejecución de una acción particular, así como durante la observación de otro individuo ejecutándola. Del mismo modo, se demostró que se activan cuando el significado de la acción previamente observada es comprendido y pensado, aún en la ausencia de la información visual, descartando así la hipótesis que sostenía que este sistema era utilizado para llevar a cabo la imitación. Por ejemplo, en un estudio realizado por Kohler en el 2002, se analizó el comportamiento de un grupo determinado de neuronas espejo mientras un macaco observaba una acción “ruidosa” producida por la rotura de un papel. A continuación se le presentó el mismo ruido sin mostrarle la acción y se observó que la mayoría de esas neuronas respondían al sonido previamente relacionado a la acción. En síntesis, estas neuronas se activan al ejecutar una acción, al observarla, al escucharla o al mencionarla. Y probablemente estemos frente a la respuesta de esa pregunta que nos acompañó tanto tiempo: ¿qué produce que se contagie el bostezo? ¿Cómo es posible que aún sin ver a una persona bostezando, con solo imaginarlo o escucharlo, comienzo a bostezar? Las neuronas espejo son las responsables de ese contagio.

En humanos se ha determinado que el sistema de neuronas espejo se ubica mayoritariamente entre el lóbulo frontal inferior, el lóbulo parietal posterior, el surco temporal superior, la corteza premotora y la corteza insular (Figura 9.5).

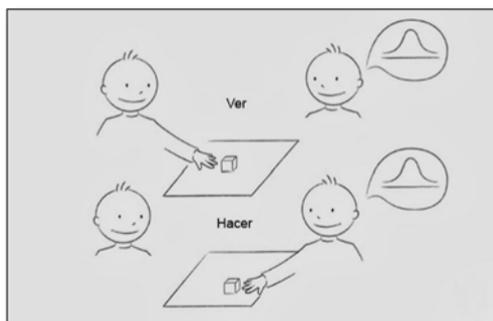


Figura 9.4. Actividad de las neuronas espejo.

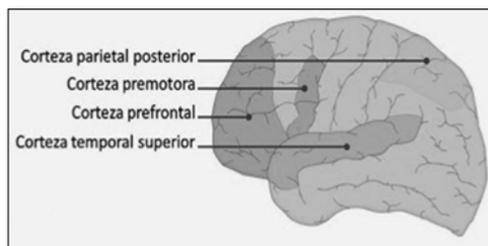


Figura 9.5. Ubicación de neuronas espejo (Asociación Educar, 2013).

Comprensión de las intenciones

Típicamente, la observación individual de una acción ejercida por otra persona no sólo implica la comprensión de lo que hace, sino también de porqué lo hace. Ahora que ya comprendemos la forma en la que reconocemos las acciones ajenas, esto nos lleva a preguntarnos: ¿cuál es el mecanismo que nos permite reconocer la intencionalidad de esas acciones? Estudios en humanos han demostrado que el desarrollo de un primer acto motor, perteneciente a una acción, está influenciada por los actos motores posteriores de aquella acción. De esta forma, las acciones motoras se organizan en la corteza parietal en cadenas específicas de

actos motores, y esta organización parecería formar la base neurológica de la comprensión de las intenciones ajenas. Así es como un acto motor realizado por otro individuo se reconoce cuando este acto desencadena en nuestro cerebro el mismo conjunto de neuronas que están activas durante la ejecución de ese acto. Las neuronas espejo del lóbulo parietal inferior discriminan un acto motor de otro, activando así la cadena de actos motores que codifica la finalidad de la acción. De esta manera, el observador puede recrear internamente la acción observada y por lo tanto predecir su objetivo. Así es como el observador puede “leer” la intención de la persona que actúa.

Comprensión de las emociones

Hasta aquí analizamos la comprensión de acciones sin contenido emocional. Pero, como sabemos, en la vida social es igualmente —o quizás aún más— importante tener la capacidad de descifrar emociones ajenas. Inevitablemente nos preguntamos, ¿qué mecanismos nos permiten entender qué sienten los otros?

Existen dos mecanismos básicos para entender las emociones, conceptualmente diferentes uno de otro. El primero consiste en la elaboración cognitiva de los aspectos sensoriales de los comportamientos emocionales ajenos. El otro consiste en un mapeo directo de los aspectos sensoriales de la conducta emocional observada en las estructuras motoras que determinan, en el observador, la experiencia de la emoción observada. En otras palabras, en el primer mecanismo el observador entiende las emociones expresadas por los demás pero no las siente, solo las deduce a partir de patrones faciales y corporales que implicarán la presencia de miedo o felicidad. En el segundo caso, sensorio-motor, el reconocimiento se produce porque la emoción observada

desencadena la sensación de la misma emoción en el observador. Es un reconocimiento en primera persona. La emoción de la otra persona penetra en la vida emocional del observador, que evoca en él o ella no sólo la emoción observada sino también estados emocionales relacionados y matices de experiencias similares.

Analicemos una emoción en particular: la sensación de asco. Se trata de una emoción muy básica cuya expresión tiene un valor evolutivo importante para la supervivencia, ya que podría indicarnos que algo es malo o probablemente peligroso. Estudios de imágenes cerebrales mostraron que cuando una persona está expuesta a olores o sabores desagradables, hay una intensa activación de dos estructuras: la amígdala y la ínsula. Del mismo modo, se ha observado la activación de esas áreas, no sólo al experimentar asco, sino también al observar expresiones de asco en otros. Estos datos sugieren fuertemente que los seres humanos entienden la sensación de asco, y muy probablemente otras emociones, a través de un mecanismo de asignación directa. Percibimos la emoción en los demás mediante la activación de la misma emoción en nosotros mismos. Por medio de esta activación, se crea un puente entre los demás y nosotros: la *empatía*.

Autismo

El autismo es una enfermedad que comprende muchos síntomas, posiblemente asociados entre sí. Los trastornos básicos del autismo se dan en el sistema motor. Estos pacientes tienen problemas para organizar su sistema motor y presentan anomalías en su cerebelo, dificultando la coordinación de movimientos musculares voluntarios complejos. Como consecuencia, no sólo presentan dificultades motoras sino que también se ve afectado el desarrollo del sistema de

neuronas espejo, algunas de las cuales están localizadas en las áreas premotoras. Por este motivo, las personas autistas no entienden las acciones ajenas ya que no pueden relacionar sus movimientos con los que ven en los demás, y, como resultado, cualquier gesto simple puede resultar amenazante. A fin de cuentas, no solo son las neuronas espejo sino también las redes de las que forman parte, las que permiten a los humanos reconocer intencionalidades y acciones.

Los sistemas espejo con los que nace un niño se van conectando y desarrollando gracias a las interacciones sociales. Los sistemas neuronales incorporan nuevos formatos de representación más explícitos, semánticos y conscientes, posibilitando la lectura de la mente del otro y la autoconciencia, la comprensión y la interacción social. En síntesis, las experiencias propias son básicas para comprender lo que sienten los demás.

Inteligencia emocional

¿A qué llamamos *inteligencia emocional*? Peter Salovey, profesor y rector de la Universidad de Yale, y John Mayer, profesor de la Universidad de New Hampshire, son los creadores originales de este término que luego ganaría popularidad a partir del libro de Daniel Goleman, en 1996. Estos dos autores definen la *inteligencia emocional* como una conjunción de habilidades emocionales que abarca la habilidad de las personas para percibir (en sí mismas y en los demás) y expresar las emociones de forma apropiada, así como también de comprender, asimilar y regular las emociones propias y ajenas.

El grupo de investigación de Salovey y Mayer desarrolló un modelo teórico de inteligencia emocional (Tabla 9.1) y propuso la primera herramienta de evaluación de esta in-

teligencia. Su principal objetivo fue medir la inteligencia emocional como una inteligencia clásica, tal como la lógico-matemática o la verbal, mediante tareas de ejecución que el sujeto debe realizar evitando así los sesgos que presentan los cuestionarios.

Tabla 9.1. Modelo de inteligencia emocional (IE) de Mayer y Salovey (1997)

Habilidades que integran la IE	Breve descripción
1. Percepción emocional	Habilidad para identificar y reconocer emociones propias y ajenas. Implica decodificar señales emocionales de expresiones faciales y movimientos corporales o tono de voz, así como también discriminar la sinceridad de las emociones expresadas por los demás.
2. Asimilación emocional	Habilidad para tener en cuenta los sentimientos cuando razonamos o solucionamos problemas. Utilizar las emociones para priorizar procesos cognitivos, focalizando nuestra atención en lo que es importante. Lograr que nuestras emociones actúen de forma positiva sobre nuestro razonamiento y nuestra forma de procesar la información.
3. Comprensión emocional	Habilidad para comprender la información emocional, cómo las emociones se combinan y progresan a través del tiempo, y saber apreciar los significados emocionales.
4. Regulación emocional	Habilidad para estar abierto a los sentimientos, modular los propios y los ajenos, así como promover la comprensión y el crecimiento personal.

Actualmente existen otros modelos que conciben distintas miradas sobre la inteligencia emocional. La división más clara es aquella que distingue entre un modelo de habilidad, centrado en la capacidad de percibir, comprender y manejar la información que nos proporcionan las emociones, y otros modelos mixtos que plantean un panorama más amplio, que entienden la inteligencia emocional como un conjunto de rasgos estables de personalidad, competencias socio-emocionales, aspectos motivacionales y diversas habilidades cognitivas. Uno de ellos fue propuesto por Daniel

Goleman, según el cual la inteligencia emocional consta de cinco capacidades: el conocimiento de las emociones propias (auto-conciencia), la capacidad de controlarlas (auto-regulación), la motivación, el reconocimiento de las emociones ajenas y el control de las relaciones.

Cabe destacar que el modelo de habilidad defendido por Salovey y Mayer concibe la inteligencia emocional como una inteligencia genuina basada en el uso adaptativo de las emociones. Para ellos, las emociones ayudan a resolver problemas y facilitan la adaptación al medio. Partiendo de esta definición, la inteligencia emocional se considera una habilidad centrada en unificar las emociones y el razonamiento, permitiendo utilizar nuestras emociones para facilitar un razonamiento más efectivo. Las cuatro habilidades forman una jerarquía, de forma que la percepción de las emociones es la habilidad más básica y la regulación emocional la de mayor complejidad, por lo cual esta última se construye sobre la base de las competencias representadas en las otras tres capacidades.

¿Cómo se evalúa la inteligencia emocional?

Siguiendo la polémica sobre la conceptualización teórica, los instrumentos de medición de la inteligencia emocional han seguido la misma suerte y se han desarrollado tantas herramientas de medición como modelos se plantearon. No obstante, cualquier instrumento debe cumplir una serie de criterios psicométricos validados y debe implementar tareas que evalúen las respuestas emocionales y el conocimiento emocional de los individuos más que auto-percepciones afectivas.

Actualmente, existen dos tests de ejecución para evaluar la inteligencia emocional desde el abordaje realizado en el

modelo de habilidad: MEIS (*Multifactor Emotional Intelligence Scale*), basada en el modelo de Mayer y Salovey, y su versión reducida y mejorada: MSCEIT (*Mayer Salovey Caruso Emotional Intelligence Test*). Estas medidas abarcan las cuatro dimensiones de la inteligencia emocional propuestas en el modelo.

La medida actualmente más utilizada y mejor validada es el MSCEIT. Se trata de un instrumento compuesto por 141 ítems diseñado para medir los cuatro factores del modelo. A los participantes se les pide que cumplan con ocho tareas emocionales de diversa índole, siendo evaluadas a través de dos tareas cada una de las cuatro habilidades:

- » La capacidad para percibir emociones es evaluada mediante la identificación de emociones en rostros faciales, fotografías y dibujos abstractos.
- » El factor de asimilación emocional es medido a través de la elección del mejor estado de ánimo para llevar a cabo diferentes tareas y el emparejamiento de emociones a sensaciones.
- » La capacidad de comprensión de las emociones es evaluada a través de preguntas sobre vocabulario emocional, sobre diversas combinaciones de emociones simples y complejas, y sobre cómo las emociones cambian a lo largo del tiempo.
- » La capacidad para manejar emociones es evaluada mediante la identificación y elección de diversas acciones en situaciones sociales que ayuden a mejorar nuestros propios estados de ánimo o el de los demás en situaciones conflictivas.

El paradigma emergente sostiene que las habilidades de la inteligencia emocional determinan muchísimo más el éxito profesional y social que la sola inteligencia basada exclusivamente en el coeficiente intelectual (IQ). Algunos autores

consideran que hemos sobrevalorado la importancia de los aspectos puramente racionales, ya que en aquellos momentos en que nos vemos arrasados por las emociones, nuestra inteligencia se ve desbordada. La vieja teoría del IQ se ocupa sólo de una estrecha franja de habilidades lingüísticas y matemáticas, y tener un elevado IQ tal vez pueda predecir adecuadamente quién va a tener éxito en el aula o quién va a llegar a ser un buen profesor, pero no aplica respecto al camino que seguirá la persona una vez concluida su educación. Durante mucho tiempo, los educadores se han preocupado por las deficientes calificaciones escolares en matemáticas y lenguaje, pero ahora están comenzando a darse cuenta de que existe una carencia mucho más apremiante: el analfabetismo emocional. Nuestras capacidades de percepción, comprensión y regulación emocional son de vital importancia para la adaptación a nuestro entorno, y contribuyen sustancialmente al bienestar psicológico y al crecimiento personal, independientemente del nivel cognitivo o del rendimiento académico.

Escuelas resilientes

La resiliencia es la capacidad del ser humano para enfrentar las adversidades de la vida, aprender de ellas, superarlas e, inclusive, ser transformados por ellas.

En la escuela tradicional, en general, prevaleció la detección de defectos en lugar de incentivar las fortalezas de los alumnos. Hoy sabemos que un componente indispensable para poder aprender es la resiliencia.

Sobreponerse a la adversidad requiere de una importante activación de la corteza parietal izquierda y de una relación más efectiva entre la amígdala y la corteza prefrontal. Siendo conscientes de la importancia de dicha relación y de que

los conocimientos, la motivación, la atención y la memoria dependen en gran medida de nuestras emociones, es muy importante fomentar climas emocionalmente saludables en los que los alumnos se sientan seguros, queridos, responsables y asertivos.

La pedagoga Anna Forés y el filósofo Jordi Grané describen un entorno socioeducativo resiliente como aquel que posibilita que cada uno de los actores de ese entorno desarrollen sus competencias académicas, sociales y vocacionales. Construir entornos educativos resilientes significa afianzar la confianza, el optimismo y la esperanza como elementos constitutivos del tejido escolar.

La resiliencia no es un proceso individual sino que requiere de la presencia de un tercero que sea significativo y que sostenga: un “tutor de resiliencia”. Se trata de una figura adulta que no sustituye a los adultos significativos del niño o joven, sino que complementa su rol, creando una relación de apego, respetando su singularidad y estimulando su desarrollo individual. Los tutores de resiliencia pueden ser otros miembros de la familia, educadores, cuidadores, profesionales de la salud, etcétera. Las escuelas resilientes deberían contar con estos tutores para acompañar el desarrollo personal de los alumnos, aceptando la diversidad y la subjetividad de cada uno.

La aplicación de la resiliencia al contexto escolar fue variando con la evolución de este concepto a lo largo del tiempo. Los docentes promueven la resiliencia cuando: incentivan la autonomía e independencia; hacen lugar a las diferencias respetuosamente; tienen reglas, límites y consecuencias claras; ofrecen apoyo e incentivo en la enseñanza; son predecibles y confiables; son proactivos en la planificación; modelan el ejemplo; generan un ambiente positivo; tienen expectativas realistas y ofrecen varias oportunidades para que los alumnos logren sus objetivos.

Bibliografía

- Ansermet, F. y Magistretti, P. 2006. *A cada cual con su cerebro: plasticidad neuronal e inconsciente*. Buenos Aires, Katz.
- Barbas, H. 2000. "Connections underlying the synthesis of cognition, memory and emotion in primate prefrontal cortices", *Brain Res Bull*, 52, pp. 319-330.
- Bechara, A.; Damasio, H. y Damasio, A. R. 2000. "Emotion, decision-making and the orbitofrontal cortex", *Cereb Cortex*, 10, pp. 295-307.
- Byrne, J. H. 1987. "Cellular analysis of associative learning", *Physiological Review*, 67, pp. 329-439.
- Azcoaga, J. *Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico*. Buenos Aires, El Ateneo.
- Carlson, N. R. 1996. *Fundamentos de Psicología Fisiológica*. México, Prentice Hispanoamericana.
- Cervino, C. 2010. *Neurofisiología*. Buenos Aires, Praia.
- Damasio, A.R. 1997. "Towards a neuropathology of emotion and mood", *Nature*, 386, pp. 769-770.
- Eriksson, P.; Perfilieva, E.; Björk-Eriksson, T.; Alborn, A.; Nordborg, C.; Peterson, D. A. y Gage, F. H. 1998. "Neurogenesis in the adult human hippocampus", *Nature Medicine*, 4, pp. 1313-1317.
- Fernandez-Berrocal, P. y Extremera, N. 2009. "La inteligencia emocional y el estudio de la felicidad", *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 66, pp. 85-108.
- Fogassi, L.; Ferrari, P. y Pier, F. 2007. "Mirror Neurons and the evolution of embodied language", *Current Directions in Psychological Science*, 16, pp. 136-141.
- Fogassi, L. y Ferrari, P. 2011. "Mirror systems", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2, pp. 22-38.
- Forés Miravalles, A. y Grané Ortega, J. 2012. *La resiliencia en entornos socioeducativos*. Madrid, Narcea.
- Goleman, D. 1996. *Inteligencia emocional*. Barcelona, Kairós.

- . 1998. *Working with Emotional Intelligence*. New York, Bantam.
- Gould, E.; McEwen, B. S. Tanapat, P.; Galea, L. A. y Fuchs, E. 1997. "Neurogenesis in the dentate gyrus of the adult tree shrew is regulated by psychosocial stress and NMDA receptor activation", *Journal of Neuroscience*, 17, pp. 2492-2498.
- Iacoboni, M. 2009. "Imitation, Empathy and Mirror Neurons", *Annu Rev Psychol*, 60, pp. 653-670.
- Iacoboni, M. y Dapretto, M. 2006. "The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction", *Nat Rev Neurosci*, 7, pp. 942-951.
- Izquierdo, I. 1992. *¿Qué es la memoria?* Buenos Aires, Fondo de la Cultura Económica.
- . 2008. *El arte de olvidar*. Buenos Aires, Edhasa.
- Jensen, E. 2000. "Brain-Based Learning: A Reality Check", *Educational Leadership*, 57, pp. 76-80.
- Kandel, E. R. 2008. *En busca de la memoria*. Buenos Aires, Katz.
- Kolb, B. y Whishaw, I. Q. 2002. *Cerebro y conducta*. Madrid, McGraw Hill.
- Mayer, J. D. y Salovey, P. 1997. *What is emotional intelligence? Emotional development and emotional intelligence: Implications for educators*. New York, Basic.
- Mayer, J. D., Salovey, P., Caruso, D. y Sitarenios, G. 2003. "Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V.2.0", *Emotion*, 3, pp. 97-105.
- Mayer, J. D., Salovey, P. y Caruso, D. 2000. *Models of emotional intelligence. Handbook of intelligence*. New York, Cambridge.
- Mayer, J. D., Salovey, P. y Caruso, D. 2002. *Emotional Intelligence Test (MSCEIT) users manual*. Toronto, MHS.
- Morgado, I. 2005. "Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes", *Revisión en Neurociencia*, 40, pp. 289-297.
- Purves, D. 2004. *Neuroscience*. Massachusetts, Sinauer Associates.
- Rizzolatti, G. y Craighero, L. 2004. "The Mirror-Neuron System", *Annu Rev Neurosci*, 27, pp. 169-192.

- Rizzolatti, G. y Craighero, L. 2005. *Mirror neuron: a neurological approach to empathy. Neurobiology of Human Values*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Salovey, P. y Mayer, J. D. 1990. "Emotional intelligence", *Imagination, Cognition, and Personality*, 9, pp. 185-211.
- Salovey, P., Stroud, L., Woolery, A. y Epel, E. 2002. *Perceived Emotional Intelligence: Conceptualization and measurement*. Oxford, Blackwell.
- Squire, L.; Berg, D.; Bloom, F.; Du Lac, S.; Ghosh, A. y Spitzer, N. 2008. *Fundamental Neuroscience*. Canada, Elsevier.

CAPÍTULO 10

Gnosias y praxias

Alejandra Ciccarelli y Manuela Chomnalez

¿Cuáles son las características propias del cerebro humano?
¿Qué implicancia tiene la corteza cerebral en el desarrollo de la cultura?

¿Qué procesos ocurren en nuestro cerebro que nos permiten poder aprender a reconocer un cuadro, tocar un instrumento, escribir o manejar diferentes objetos de manera correcta?

Funciones cerebrales superiores

El reconocimiento y manipulación de objetos mediante cualquiera de los canales sensoriales o motores propios del hombre es posible gracias al análisis que realiza una innumerable cantidad de neuronas, conectadas en forma muy precisa. Asimismo, estas conexiones no son fijas, sino que están sujetas a modificaciones producto del aprendizaje. Es decir que la experiencia y la repetición de ciertas actividades modifican las conexiones neuronales implicadas en su ejecución, a través de los procesos de plasticidad neuronal, hasta

el punto de formar complejas redes que permiten alcanzar habilidades superiores en dichas tareas.

Las funciones cerebrales superiores son: las gnosias, las praxias y el lenguaje. Los dispositivos básicos del aprendizaje (sensopercepción, motivación, atención, habituación y memoria) son el punto de partida para el desarrollo de las funciones cerebrales superiores.

Estas funciones son exclusivas del ser humano e indispensables en el desarrollo de diferentes aprendizajes como la lectoescritura, el cálculo, la realización de un deporte, la música y las artes plásticas. Si bien el resto de los animales puede realizar movimientos coordinados, la diferencia fundamental que presentan estas funciones radica en que no son instintivas, es decir que requieren de un aprendizaje social y son indispensables en toda actividad humana como producto de la cultura. Las funciones cerebrales superiores nos permiten construir tareas complejas a partir de habilidades simples, a través de la repetición de las mismas y, lo que es más importante, transmitir las de generación en generación mediante la cultura.

Bases biológicas

Todo aprendizaje genera un cambio morfológico y funcional a nivel cerebral.

Las neuronas que participan en comportamientos innatos forman redes con tránsito acotado. Sin embargo, en neuronas involucradas en el aprendizaje, el pasaje de la información a través de la red neuronal puede modificarse combinando células que previamente no se relacionaban.

La incorporación de información nueva en un sistema organizado se denomina “estereotipo dinámico”. Los estereotipos son estables, pertenecen a la memoria a largo plazo

y consisten en la estabilización de un conjunto de estímulos que reaccionan como un todo. Se trata, como se mencionó en capítulos anteriores, de una sucesión de reflejos condicionados de manera que cada uno desencadena el siguiente. En la adquisición de las gnosias, praxias y lenguaje se estabilizan los estereotipos correspondientes a las percepciones sensoriales, aprendizajes motores o asociación de símbolos con sonidos y significados, respectivamente.

Gnosias

Como vimos en el Capítulo 7 (referido a la sensopercepción), los sistemas sensoriales están formados por conjuntos de neuronas que relacionan el mundo exterior o el interior de nuestro cuerpo con la médula espinal, el tronco encefálico y la corteza cerebral. Estos sistemas están involucrados en la percepción de los sentidos (vista, olfato, gusto, audición, tacto), en la percepción de los movimientos corporales (propiocepción, cinestesia) y en la percepción del dolor. Además existe otro grupo de neuronas del sistema sensorial que está especializado en la detección de estímulos sensoriales no conscientes, como por ejemplo la presión arterial, la temperatura, la concentración de glucosa, entre otros.

Pese a lo que pueda suponerse, las percepciones no son una copia del mundo exterior tal como se presenta, sino que constituyen una representación subjetiva del mismo. Esto implica la manifestación de abstracciones en lugar de copias exactas de las aferencias que llegan desde la realidad. Cuando las sensaciones se producen de manera organizada o integrada, el cerebro las puede procesar formando percepciones, que van a influir tanto en el comportamiento como en el aprendizaje. Al observar un objeto, por ejemplo, llegan al cerebro estímulos tales como forma, color, movi-

miento y tamaño. La corteza recibe todos estos estímulos en forma simultánea y los organiza en una representación en la cual está involucrada la subjetividad del individuo y que incluye la experiencia previa. Dicha representación interna implica un patrón de actividad característico de un conjunto de neuronas particulares. Tanto estas células como sus conexiones almacenan la información acerca de una percepción determinada.

Las actividades organizadas de la sensopercepción se conocen como gnosias. Su organización requiere de cuatro factores fundamentales: 1) motivación, 2) coincidencia en el tiempo de los estímulos sensoriales, 3) repetición y 4) reforzamiento.

- 1) La necesidad en la adquisición de una gnosia (motivación), es fundamental ya que permite resaltar ciertos estímulos por sobre otros.
- 2) La coincidencia en el tiempo se refiere a la aferencia de un conjunto de estímulos que llegan a la corteza cerebral en forma simultánea, permitiendo una síntesis.
- 3) Cuando estas aferencias se repiten varias veces, se consolidan en forma de circuitos neuronales, lo que constituye un estereotipo sensoperceptivo.
- 4) Además de consolidarse (formación de memoria a largo plazo), existen ciertas condiciones que refuerzan el circuito, ayudando a estabilizar el estereotipo. Este reforzamiento puede ser puramente sensorial, sensoriomotor o puede estar también organizado por el lenguaje. Cuando se produce una gnosia, el reforzamiento no consiste exclusivamente en la estabilización del estereotipo, sino que también permite el reconocimiento y discriminación de unos estímulos por sobre otros.

El reforzamiento sensorial de las gnosias se da como resultado de aprendizajes previos que fueron perfeccionando la capacidad de análisis de diferentes aferencias sensoriales. Veamos un ejemplo: cuando escuchamos una nueva melodía se produce el reforzamiento auditivo de la misma. Es así cómo los aprendizajes auditivos previos (por ejemplo la distinción entre un ruido y una nota musical) permiten el reforzamiento de los nuevos estereotipos auditivos que se están elaborando. Como consecuencia se establece un aprendizaje de dicha melodía. Por lo tanto cuando la persona vuelva a escucharla va a reconocerla porque ya se ha formado una gnosia auditiva.

Existen otros casos en los cuales se incluye alguna actividad motora en el reforzamiento del estereotipo sensorio-perceptivo. A esta se la llama reforzador sensoriomotor. Es el caso de las gnosias visuoespaciales que permiten y requieren el desplazamiento en un espacio determinado, o las que se producen mediante el movimiento de los dedos y las manos en el reforzamiento de las gnosias táctiles. Por último, el reforzamiento mediante el lenguaje se da en las gnosias complejas, donde se requieren instrucciones verbales sobre detalles importantes que deben ser percibidos para poder aprender.

En la formación de las gnosias participan estructuras funcionales de la corteza (visión, olfato, gusto, tacto, audición), pudiendo participar un solo hemisferio o ambos, dependiendo de la complejidad del reconocimiento.

Una vez consolidado el estereotipo sensorio-perceptivo se produce el reconocimiento de un hecho externo al individuo y como resultado se ha adquirido una gnosia. Justamente la imposibilidad del reconocimiento de alguno de los componentes de la percepción es lo que se conoce como agnosia, y no se refiere a fallas en las aferencias sensoriales sino, precisamente, a algún impedimento por parte de la

corteza cerebral para reconocer el estímulo. Por ejemplo, cuando una persona no puede distinguir un color debido a un problema en la corteza visual y no en la retina o el nervio óptico.

Algunas gnosias son fundamentales en el aprendizaje, por ejemplo la lectura y la escritura. Sin embargo, su adquisición comienza desde una edad muy temprana. Tal es el caso de las gnosias auditivas, lo cual permite a los bebés reconocer las voces familiares y sonidos de su hogar. Está claro que la adquisición de las gnosias requiere un aprendizaje social y este comienza en el hogar para luego continuar en el jardín de infantes y en la escuela. Desde muy pequeños los bebés reciben estímulos a través de todos sus sentidos y, así como se construyen las gnosias auditivas que permiten reconocer voces, también se establecen las gnosias táctiles y visuales al manipular o reconocer sus juguetes. De esta manera, entonces, los estímulos que reciben los niños desde sus primeros días de vida influyen en el aprendizaje escolar posterior.

Todas las gnosias son posibles gracias al correcto funcionamiento de un analizador en la percepción del estímulo. En el ejemplo de una gnosia auditiva, este es el sistema compuesto por: los receptores del sonido en el oído, el nervio auditivo y la corteza auditiva en el lóbulo temporal.

Analizadores

Todas las gnosias son posibles gracias al correcto funcionamiento de un analizador en la percepción del estímulo. Para cualquiera de las gnosias, salvo las olfativas, el analizador consiste en el receptor sensorial (o transductor sensorial), el recorrido del estímulo desde el receptor hasta la corteza (incluyendo uno o más neuronas), y la región de la

corteza en la cual está formado el estereotipo correspondiente.

La información sensorial llega desde los receptores situados en la piel hasta el cerebro mediante los nervios periféricos. Las fibras que reciben estos estímulos forman parte de alguno de los 31 pares de nervios espinales, situándose su cuerpo neuronal en los ganglios dorsales de la médula. La prolongación central de dichas neuronas atraviesa la médula hasta llegar al tronco encefálico, pasando siempre por el tálamo, donde realizan una sinapsis con otra neurona.

Cuando se trata de nervios periféricos del cuello y cabeza, sus prolongaciones llegan al cerebro a través de alguno de los nervios craneales sensitivos o mixtos. En este caso también el tálamo constituye una estación de relevo, donde realizan sinapsis la neurona sensitiva y una interneurona.

En la mayoría de los casos, las fibras aferentes que provienen del lado izquierdo del cuerpo llevan la información al hemisferio derecho y viceversa. La información sensitiva es procesada en la corteza somática, que se ubica detrás de la cisura central o cisura de Rolando.

En el caso de la información gustativa, las células sensoriales que se ubican en las papilas de la lengua poseen axones que ingresan al cerebro a través del nervio glosofaríngeo, vago o facial. Todos estos nervios alcanzan el tálamo, desde donde otra neurona lleva la información hasta la corteza.

En las gnosias auditivas, el analizador está compuesto por los receptores del sonido en el oído, el nervio auditivo y la corteza auditiva en el lóbulo temporal. En el oído interno los estímulos auditivos son recibidos por receptores ubicados en la cóclea. Dichos nervios, junto a otros que llevan información de equilibrio, forman el nervio acústico o par VIII. Una vez en el encéfalo, dicho nervio pasa por la protuberancia y luego hace sinapsis con células del tálamo.

Finalmente, estas neuronas proyectan hacia la corteza auditiva primaria que se ubica en la parte superior del lóbulo temporal.

La información visual también llega a la corteza mediante un analizador. Dicho analizador comienza en la retina, ubicada en la parte posterior del ojo, de manera que los estímulos luminosos estimulan fotorreceptores allí ubicados. Dichos receptores conectan con neuronas bipolares, cuyos axones forman el nervio óptico. A partir de ahí, la información tiene seis destinos diferentes, que incluyen la regulación de los ritmos biológicos a través del hipotálamo, apertura y cierre de pupilas y movimientos de la cabeza y ojos hacia los objetos que se observan. Entre estos destinos se incluye la corteza visual primaria, que se ubica en el lóbulo occipital. Esta vía pasa previamente por el tálamo, al igual que los demás sentidos mencionados anteriormente.

El olfato tiene características que difieren de los demás sentidos en cuanto al recorrido que realiza la información antes de alcanzar la corteza. Estas diferencias tienen relación con su antigüedad filogenética, dado que proyecta al sistema límbico antes de alcanzar la corteza cerebral, desencadenando respuestas emocionales e inconscientes antes incluso de poder procesar los estímulos en forma consciente. Los receptores están en el epitelio olfatorio, ubicado dentro de la nariz, y tienen prolongaciones axónicas muy cortas y no mielinizadas que conforman el par I de nervios craneales o nervio olfatorio.

Dichas neuronas conectan con interneuronas del bulbo olfatorio, que funciona como estructura de relevo. Desde allí surgen dos haces de nervios: uno de ellos lleva la información hasta el hipocampo (sistema límbico) y el otro, a través del cuerpo calloso, hacia el hemisferio cerebral contralateral donde termina su recorrido en varias regiones de la corteza.

Clasificación de las gnosias

En una primera aproximación, las gnosias pueden distinguirse en simples o complejas. En las primeras solo interviene un analizador de los estímulos perceptivos, por ejemplo el tacto, que facilita que se formen gnosias táctiles como la diferenciación de texturas. En cambio en las gnosias complejas interviene más de un analizador, es decir que requieren más de una estructura funcional para su organización. Entre estas se encuentran algunas gnosias visuoespaciales, la discriminación auditiva de ritmos o melodías y el establecimiento del esquema corporal. Sin embargo, resulta más relevante su clasificación de acuerdo al canal sensorio-perceptivo. De esta manera podemos distinguir: gnosias auditivas, visuales y visuoespaciales, táctiles, gustativas y olfatorias, esquema corporal y la praxia constructiva.

Gnosias simples

Gnosias auditivas

Se refieren a la identificación de sonidos, ruidos y música, aunque esta última puede considerarse compleja ya que implica un aprendizaje específico. Resulta importante diferenciar el reconocimiento auditivo de los sonidos en general y los fonemas del lenguaje, cuya falla se conoce como sordera verbal.

Las características sonoras propias del lenguaje implican un estereotipo específico que incluye en principio las aferencias auditivas, pero cuenta además con aferencias a las áreas del lenguaje. Es así que la agnosia auditiva implica la imposibilidad de reconocer sonidos, mientras que la sordera verbal implica la imposibilidad de reconocer palabras.

Gnosias visuales simples

Se relacionan con el reconocimiento de los colores. El reconocimiento de formas presupone la intervención de otros analizadores, como veremos más adelante y es por ello que esta se considera una gnosia compleja.

Gnosias olfativas y gustativas

Son los estereotipos correspondientes a los analizadores olfativos y del gusto, respectivamente. El sentido del olfato es mucho más complejo que el del gusto. De hecho este último consiste en la discriminación de cuatro canales gustativos solamente: amargo, salado, ácido y dulce, mientras que el sentido del olfato permite distinguir más de 10.000 olores diferentes. De hecho, el sabor de los alimentos que percibimos depende en gran medida de los olores que llegan al mismo tiempo al epitelio olfatorio.



Figura 10.1. Gnosias simples.
Reconocimiento de texturas.

Gnosias complejas

Gnosias visuales y visuoespaciales

Es el conjunto de estereotipos que posibilitan el reconocimiento de colores, formas geométricas, planos, rostros, orientación espacial y distancias, entre otros.

La capacidad visuoespacial es posible gracias a la convergencia de ambos globos oculares que posibilitan que se forme una representación mental en tres dimensiones. El desplazamiento de la mirada en el contorno de una forma permite imprimir una relación espacial al registro retiniano: formas, distancias y profundidades, y estos movimientos se producen por los músculos extrínsecos del ojo. Además, existen dentro del ojo otros músculos que regulan la entrada de luz y el foco. Es por ello que todas las gnosias visuales, salvo quizás la gnosia para los colores, deberían considerarse complejas.

Los bebés recién nacidos solo pueden ver con cierta claridad objetos que se presentan a una distancia de 20 cm, aproximadamente. Por lo demás, solo distinguen la intensidad de la luz y ven sombras borrosas si los objetos están más alejados. En el desarrollo de las gnosias visuoespaciales son de vital importancia los ejercicios que realizan desde los primeros meses de vida, en su hogar. Al acercarle objetos y moverlos cerca de su rostro, intentarán seguirlos con la vista, y así comienzan a establecerse los estereotipos visuoespaciales que incluyen la percepción del objeto, junto con el movimiento de los ojos. Más adelante, luego de los tres meses, comienzan a dirigir su mirada hacia cualquier objeto que se mueva dentro de su campo visual, o que emita algún sonido. En este último caso, la gnosia se refuerza incluyendo elementos de percepción auditiva.

Más adelante aún, los niños comienzan a utilizar juegos didácticos que, en general, incluyen el encastre de distintas formas básicas en orificios que se corresponden en forma y, a veces también, en color. Estas actividades permiten al niño incorporar y reforzar los estereotipos correspondientes al reconocimiento de las formas, junto con los movimientos de precisión.

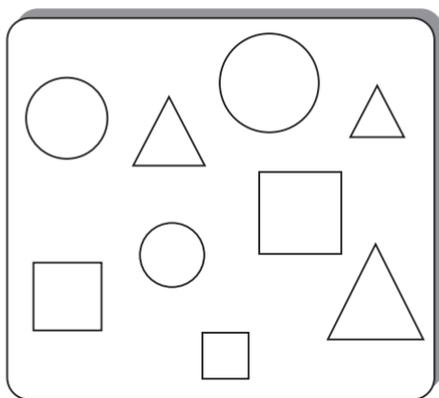


Figura 10.2. Gnosias visuales. Reconocimientos de formas y tamaños.

Gnosias táctiles complejas

Son las gnosias que implican el proceso de palpar. Involucran la actividad muscular de los dedos y las aferencias propioceptivas de los músculos, tendones y articulaciones, combinadas con las aferencias táctiles mismas. La construcción de gnosias táctiles resulta, por lo tanto, de la convergencia de estímulos propioceptivos de los dedos, junto con las aferencias sensoriales del tacto.

Entre las actividades que realizan los niños en las guarderías o jardines se incluyen las relacionadas con el reconocimiento de las texturas. Se les presenta a los niños objetos con diferentes texturas, entre ellas distintas telas o géneros, espuma de afeitar, burbujas de jabón. Es así cómo, mediante la exploración de objetos simples, los niños consolidan los estereotipos correspondientes a las diferentes sensaciones táctiles.

Esquema corporal

La formación del esquema corporal es un conjunto de gnosias organizadas que incorporan o excluyen componentes establecidos durante su formación. Se trata de un pro-

ceso gradual que incluye una serie de gnosias correspondientes a aferencias propioceptivas, del equilibrio, visuales y táctiles, entre otras. El esquema corporal se va construyendo con el reforzamiento de estímulos y con la elaboración de gnosias diferentes para cada parte del propio cuerpo. Es decir que, por ejemplo, el esquema corporal de las manos es muy diferente al de la cara, o al de la espalda.

A lo largo de su crecimiento, el niño elabora una imagen de su propio cuerpo a partir de la información sensorial que obtiene de los medios externo e interno. En un principio, se relaciona con la sensibilidad del tubo digestivo y la actividad de la boca. Luego, comienza a experimentar sensaciones a través de la piel o el tacto, descubriendo sus manos como parte de sí mismo y como nexos con el mundo exterior. Posteriormente, descubre otras partes de su cuerpo, como los pies, que irá incorporando en su esquema corporal.

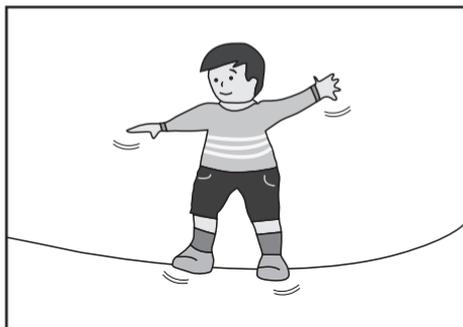


Figura 10.3. Esquema corporal (Taller de psicomotricidad, Vázquez Rivera, M. E., 2008).

A medida que desarrolla destrezas motoras, es decir que gatea, camina y se mantiene sentado o erguido, recibe información propioceptiva de las diferentes posiciones que adopte y tomará conciencia de que ese cuerpo le pertenece, para reconocerlo como un todo hacia los 3 años de edad.

Según Pierre Vayer, las etapas de elaboración del esquema corporal pueden dividirse en función de la edad del niño. A continuación se enumeran algunas de las habilidades que permiten establecer los estereotipos en cada etapa:

- » Primera etapa (de 0 a 2 años): sostenimiento y movimiento de la cabeza y el tronco, sentarse, individualizar y usar los miembros, controlar el equilibrio, gatear y marchar.
- » Segunda etapa (2 a 5 años): prensión más precisa, locomoción más coordinada; la cinestesia (percepción del movimiento muscular) le permite el conocimiento y uso de su cuerpo como un todo.
- » Tercera etapa (5 a 7 años): control muscular y posibilidad del control respiratorio, conocimiento de la derecha y la izquierda.
- » Cuarta etapa (7 a 12 años): posibilidad de relajamiento de la totalidad o partes del cuerpo, independencia de la derecha y la izquierda y de los diversos segmentos del cuerpo.



Figura 10.4. Esquema corporal (Infancia Latina, 2011).

Así es como el niño consigue tomar conciencia de su propio cuerpo y es capaz de formar una imagen mental de los movimientos que realiza, lo cual le permitirá planear las acciones antes de realizarlas.

Agnosias

¿Qué ocurre si alguno de los componentes que intervienen en la formación o mantenimiento de una gnosia presenta alguna falla? ¿Qué consecuencias tienen los errores del reconocimiento sensorceptivo en el desarrollo escolar?

Las agnosias se refieren a los trastornos que impiden el correcto procesamiento de los estímulos sensitivos y su interpretación o percepción por parte de la corteza. Son trastornos en la facultad de reconocer objetos, rostros o paisajes, que no pueden atribuirse a deficiencias sensoriales sino que implican una falla específica en la corteza cerebral o en sus conexiones. Es decir que el cerebro recibe los estímulos correctamente, pero hay una falla en alguno de los lóbulos que impide el correcto procesamiento o análisis de la información recibida. En general esto se debe a lesiones cerebrales producto de accidentes cerebrovasculares.

En lo relativo a las dificultades de los niños en el aprendizaje, que incluyen la desorganización del código lectoescrito y del matemático, adquieren relevancia las apraxias manuales complejas y las agnosias visuoespaciales. Estas últimas incluyen cualquier manifestación en la cual el alumno con dificultades pierde los indicadores espaciales.

Las agnosias se clasifican de acuerdo con el canal sensorial cuya percepción está alterada, es decir que existen agnosias visuales, táctiles, auditivas, e incluso olfativas o gustativas.

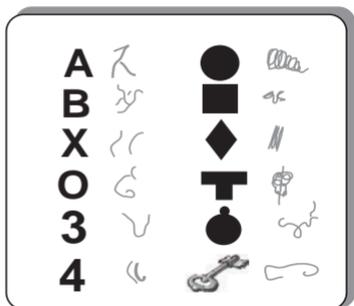


Figura 10.5. Intentos de un paciente con agnosia aperceptiva de copiar diversas figuras simples (Benson and Greenberg, Archives of Neurology, 1969).

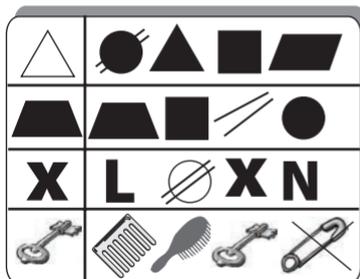


Figura 10.6. Imposibilidad de un paciente con agnosia aperceptiva para aparear formas y figuras. A la izquierda se muestran formas que debían ser halladas entre las cuatro opciones de la derecha. Las respuestas del paciente se encuentran marcadas (Farah, M. J. Visual Agnosia, 2004).

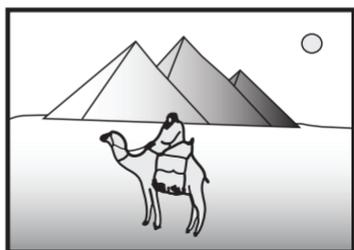


Figura 10.7. Caso de estudio de un paciente con similtanagnosia (un tipo de agnosia visual aperceptiva). Al observar el dibujo durante 2 seg., manifestó ver una montaña. Se le mostró la figura por 2 seg. más y manifestó ver un hombre, sin indicar el camello ni relacionarlo con las montañas que había visto anteriormente. Cuando se le permitió ver el dibujo por 30 seg., el paciente dijo que era un hombre mirando las montañas, y agregó que nunca pudo verlo como un todo sino solo de a partes que se esfumaban (Farah, M. J., 2004).

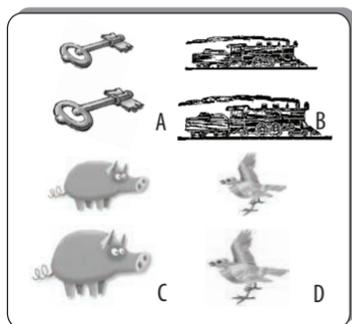


Figura 10.8. Copias de dibujos en pacientes con agnosia visual asociativa. Pese a poder copiar los dibujos presentados, los pacientes eran incapaces de reconocer los dibujos. Al interrogarlos por la identidad de los objetos, sus comentarios fueron: (A) Todavía no lo sé (B) Un carro o coche de algún tipo, parece como si el vehículo mayor estuviera siendo arrastrado por el pequeño (C) Podría ser un perro, o cualquier otro animal (D) Podría ser un tronco en la playa (Rubens and Benson, 1971).

Agnosias visuales

Cuando una persona no presenta falencias en su capacidad visual pero, en cambio, tiene dificultades para interpretar lo que ve, estamos en presencia de una agnosia visual. Se define como la incapacidad del cerebro para darle sentido o hacer uso de los estímulos visuales y se caracteriza por la imposibilidad de reconocer objetos o rostros familiares.

Dependiendo del área de la corteza afectada, será el tipo de agnosia visual que se manifieste. De todas formas, las lesiones en la corteza cerebral no suelen restringirse a un área funcional, por lo tanto es frecuente encontrar la combinación de más de un tipo de agnosia visual en un mismo individuo. En la clasificación original de las agnosias que sugirió Lissauer en 1890, se mencionan dos tipos principales de trastornos para el reconocimiento visual: la agnosia aperceptiva y la agnosia asociativa.

Agnosias visuales aperceptivas

Cualquier falla en el reconocimiento de los objetos en la que aún se conservan las funciones visuales básicas como son la agudeza, el color o el movimiento, es una agnosia aperceptiva.

Pese a que este tipo de agnosia incluye un grupo de casos muy heterogéneo, las personas que presentan agnosias aperceptivas comparten un déficit en su capacidad para percibir la estructura de los objetos. Es decir que pueden verlos, pero presentan fallas al copiarlos, completar formas o emparejar objetos similares.

Habitualmente esto se debe a lesiones en los lóbulos occipitales. Una causa común de este tipo de agnosias es el envenenamiento por monóxido de carbono (como el que sucede en ambientes cerrados con estufas a gas).

Agnosias visuales asociativas

En la agnosia asociativa, la percepción puede ser normal pero el problema se manifiesta en la asociación con otros conocimientos adquiridos previamente.

Las personas con agnosia asociativa tienen una percepción visual normal pero carente de significado, es decir, que pueden copiar el dibujo de un objeto a la perfección, pero no logran identificarlo. Pueden ver un lápiz, y saber que es un útil escolar, pero podrían confundirlo con una lapicera. Es por ello que la agnosia asociativa se sitúa en un nivel cognitivo superior de procesamiento, asociado con la información almacenada del objeto en cuestión, es decir, con la memoria.

Agnosias no visuales

Además de las agnosias visuales, que habitualmente son las que mayores inconvenientes pueden presentar en el desempeño escolar, otros tipos de agnosias que se han documentado hasta la actualidad incluyen:

Agnosias topográficas

Se refieren a los problemas en la orientación espacial o incapacidad para encontrar un camino en entornos familiares. Las personas que padecen este déficit no pueden reconocer las señales que indican la dirección apropiada.

Agnosias auditivas

Consisten en la imposibilidad de diferenciar voces familiares o fonagnosia o la agnosia auditiva no verbal, que es la incapacidad para reconocer sonidos, incluyendo la interpretación o composición musical.

Agnosia táctil o aestereognosia

Se debe a lesiones en el lóbulo parietal e implican la imposibilidad de reconocer objetos con el tacto. Las personas que sufren este tipo de agnosia en general no presentan otras dificultades en la sensibilidad táctil, por ejemplo la percepción de la temperatura.

Síndrome de negligencia contralateral

Estas personas no perciben ningún objeto que sea presentado en el lado contralateral a la lesión, sin importar el medio sensorial por el cual se le presente, es decir que no escuchan sonidos, ni ven o sienten objetos que se presentan del lado opuesto a la lesión. En algunos casos, incluso, tampoco perciben esa mitad del propio cuerpo, descuidándolo al lavarse, vestirse o afeitarse.

Autotopagnosia

Pese a que el término autotopagnosia se refiere solo a la incapacidad de reconocer las partes del propio cuerpo, dicha condición no se ha registrado clínicamente en forma independiente, sino que se presenta en conjunto con la incapacidad para reconocer también partes del cuerpo de otras personas y de imágenes del cuerpo presentadas por el examinador.

Praxias

¿Cómo aprendemos a tocar un instrumento o a manejar un auto? ¿Lo hacemos de forma instintiva o ese aprendizaje requiere de esfuerzo y repetición?

Las praxias se definen como movimientos organizados, producto de procesos de aprendizaje previos, que tienden a un objetivo determinado. Esos movimientos son complejos,

secuenciales, no se producen por instinto, son aprendidos y tienen una intención o propósito que les da origen. Por lo tanto las praxias no se adquieren solo por una maduración neurológica sino que se requiere de un acto social. Es decir que si queremos tocar un instrumento por primera vez necesitamos un maestro que pueda guiarnos en el aprendizaje. Se desarrollarán en nuestro cuerpo diferentes movimientos organizados que permitirán ejecutar una melodía a partir de ese instrumento. Se encuentran muy ligadas a las gnosias. Incluso algunas praxias complejas son regidas en un principio por gnosias, también complejas, como las visuoespaciales.



Figura 10.9. Praxia "Tocar el piano" (Pianored música, 2007).

Tipos de praxias

Existen varios tipos de praxias, que pueden ser simples o complejas. Las simples son, por ejemplo, aquellos movimientos que permiten sacar la lengua, guiñar un ojo, elevar las cejas, entre otros. Tanto la succión como la deglución, si bien son instintivas, pueden mejorarse con el tiempo (esa capacidad de mejorar estos comportamientos innatos es lo que se denomina praxia).

Por otro lado, son el punto de partida de otras praxias bucales como la masticación, la fonación y la expresión fa-

cial. Las complejas pueden ser los movimientos que implican enhebrar una aguja, patear una pelota, hacer nudos, trenzar, recortar con una tijera, entre otros.

Dentro de este grupo se encuentran las praxias manuales que constituyen la base para el aprendizaje de la escritura y las praxias constructivas que son exploradas en las dos modalidades de manejo del espacio gráfico: bi y tridimensional. Un ejemplo de este tipo de praxias es la capacidad de ordenar figuras y cubos, reproducir dibujos y utilizar rompecabezas.

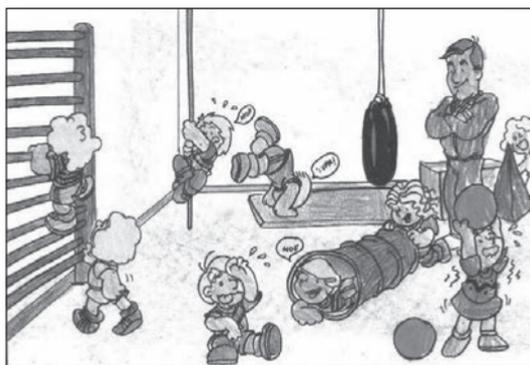


Figura 10.10. Apraxias infantiles (Psicólogo infantil, 2011).

Organización y aprendizaje de praxias

Todo movimiento implica un registro en la corteza cerebral bajo la forma de aferencias propioceptivas, también llamado kinestésica. El sistema propioceptivo forma parte de otro sistema más complejo llamado sistema somatosensorial. Este incorpora y procesa diferentes tipos de información sensorial, como la propioceptiva que se refiere a la información proveniente de los músculos y tendones que determina la posición de las extremidades y el cuerpo. La información kinestésica se refiere a la conciencia del mo-

vimiento y la posición de las articulaciones. El sistema somatosensorial es uno de los modelos que se desarrolla más temprano en el ser humano y, entre otras funciones, permite el aprendizaje y ejecución de las acciones motoras.

Si queremos aprender a tocar un instrumento musical, por ejemplo, se lleva a cabo un conjunto sucesivo de actividades motoras que son organizadas de acuerdo con un proceso de aprendizaje.

En el inicio de la organización de este aprendizaje motor, las primeras ejercitaciones ocasionan fatiga y dolores musculares en grupos de músculos que no intervienen directamente en la actividad de tocar el instrumento, como ser los de la espalda y de la nuca.

A medida que avanza la ejercitación empiezan a ceder los dolores musculares y hay menos fatiga. Como producto de una menor generalización, la actividad se va limitando a los músculos que efectivamente intervienen en el comportamiento motor que se está elaborando. Esto se logra ya que se produce la inhibición diferencial que suprime la participación de grupos musculares ajenos.

Al repetirse las actividades musculares, se consolida y sintetiza la información correspondiente a la llegada simultánea de esas aferencias propioceptivas a la corteza cerebral.

Tanto la síntesis dada por el registro simultáneo de varias aferencias, como la dada por la sucesión de diversos conjuntos de aferencias, permiten la organización de estereotipos motores que pueden ser muy complejos y elaborados. Por ejemplo aprender a manejar un auto.

A medida que avanza el trabajo de organización de esta actividad motora, los errores van disminuyendo en magnitud hasta que desaparecen. Cuando esto ocurre puede considerarse completamente organizada la actividad motora. Si la actividad motora se consolida y se estabiliza se transforma en un hábito como resultado de su repetición. Por ejemplo,

esto sucede con la forma en que nos cepillamos los dientes, la manera de hacer la cama o la de manejar los cubiertos cuando comemos. Son todos hábitos porque los hacemos automáticamente.

En las escuelas, los docentes de nivel inicial tienen la posibilidad de incentivar el desarrollo de praxias manuales en sus alumnos mediante diferentes actividades que ponen en juego el uso de la escritura, tijeras, compases y demás útiles escolares. Esto se logra con la reiteración y el reforzamiento de actividades exploratorias que permitan llegar a un objetivo, por ejemplo cortar figuras de papel glacé. De este modo el alumno puede lograr múltiples estereotipos manuales que permiten nuevas destrezas motoras.



Figura 10.11. Aprendizaje de praxias manuales (Educate, 2009).

Planificación y ejecución de los movimientos

Para realizar un movimiento los músculos deben mover tanto las articulaciones como los huesos, y para que esto se lleve a cabo, estos deben activarse por medio de los nervios motores que parten de la médula espinal, el tronco cerebral y el cerebro.

Existen dos modelos que permiten explicar la ejecución de un movimiento:

- » *Conexionista clásico de Liepmann*: explica que los movimientos están integrados por dos centros:
 - › Centro de la ideación: donde se encuentran las memorias de los movimientos conocidos.
 - › Centro del acto motor: donde se traducen esas memorias de movimientos en impulsos nerviosos que generan la contracción de los músculos.

- » *Neurofisiológico de Luria*: describe diferentes etapas que intervienen en la producción del movimiento.
- » *Control dinámico*: se refiere al control de los objetivos del movimiento proposicional (con un objetivo). La región del cerebro que se encarga de esta función es la prefrontal ubicada en la parte anterior del lóbulo frontal por delante de la región motora.
- » *Control aferente*: donde se produce un análisis de las aferencias kinestésicas del movimiento, es decir, las sensaciones provenientes de los receptores que se encuentran en los músculos y articulaciones, y que determinan la posición de un segmento corporal sin ayuda de la visión. El área del lóbulo parietal que se encuentra por detrás de la cisura de Rolando es la que produce el control aferente del movimiento.
- » *Control eferente*: se basa en la síntesis temporal de los movimientos y se refiere a la coordinación de una secuencia de movimientos rápidos, la cual se lleva a cabo por delante del área motora primaria.
- » *Control sensitivo*: los lóbulos parietales, temporales y occipitales intervienen en el control sensitivo basado en la síntesis de las aferencias visuales y somatosensoriales.

En resumen, en cualquier aprendizaje motor intervienen procesos centrales de análisis y síntesis de la información procedentes de aferencias kinestésicas de músculos, tendones y articulaciones. Participan en las actividades motoras, donde concurren otras aferencias, como las visuales, auditivas y táctiles. El análisis y síntesis de esta información propioceptiva lleva a la formación de esquemas o patrones funcionales de los movimientos, que tienden a consolidarse mediante la reiteración de los mismos. La eficacia de la actividad motora se logra con el reforzamiento, que permite estabilizarla y mantenerla como tal. De esta forma se constituyen los estereotipos propioceptivos motores, que son las unidades funcionales de las praxias.

Control neural del movimiento

Los movimientos voluntarios están organizados en torno a una acción con un objetivo particular. Con la experiencia y el aprendizaje se logra mejorar su precisión y velocidad.

Existen varias estructuras involucradas en el control de los movimientos voluntarios, de las cuales nombraremos las siguientes: corteza prefrontal, área motora suplementaria, corteza premotora y corteza motora primaria. La estimulación de estas áreas permite el movimiento de músculos de diferentes partes del cuerpo.

Corteza motora prefrontal. Se ubica en la parte anterior de los lóbulos frontales del cerebro y se encuentra frente a las cortezas motora y premotora. Su función es la de planificar los movimientos.

Corteza premotora y área motora suplementaria. Ambas regiones se encuentran cercanas a la corteza motora primaria. Controlan la realización de movimientos en contextos particulares. Estudios de neuroimagen funcional demues-

tran que cuando las personas realizan secuencias de movimiento o las imaginan ambas regiones se activan. Reciben información sensorial del lóbulo temporal y parietal y envían dicha información por vía eferente a la corteza motora primaria.

El área motora suplementaria está involucrada en la preparación, iniciación y monitoreo de movimientos complejos. Aunque los movimientos sencillos como flexionar los dedos activan la corteza motora y sensorial primaria, los movimientos más complejos secuenciales provocan activación adicional del área motora complementaria.

La corteza motora primaria controla el número de músculos, la fuerza y la trayectoria del movimiento, es decir que ejecuta las acciones del movimiento. La activación de la corteza motora primaria provoca el movimiento de partes concretas del cuerpo.

El principal aporte de información que recibe procede de la corteza frontal de asociación. Esta región junto con la corteza de asociación posterior juega un rol muy impor-

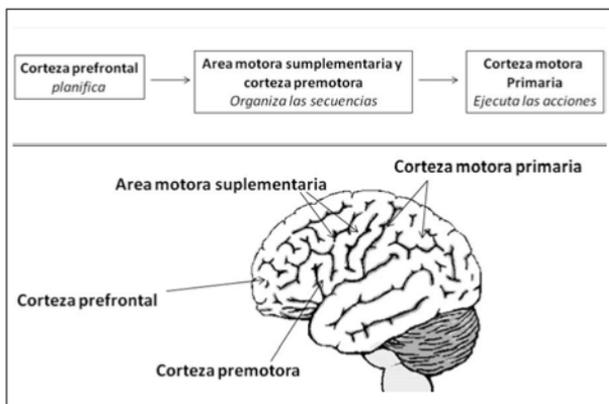


Figura 10.12. Subdivisiones del lóbulo frontal que colaboran en la producción del movimiento. La información fluye desde la corteza prefrontal hacia la corteza motora primaria, previamente pasando por la corteza premotora y el área motora complementaria.

tante ya que la primera participa en planificación del movimiento y la segunda en la percepción y la memoria.

En resumen tanto la corteza motora primaria como la corteza premotora y el área motora complementaria reciben instrucciones de la corteza prefrontal, la cual elabora los planes del movimiento. La corteza premotora y la corteza motora suplementaria controlan la organización de las secuencias de movimientos. Por último, la corteza motora primaria ejecuta los movimientos específicos.

Para llevar a cabo un determinado movimiento voluntario como ser tomar con la mano un objeto, se requiere de una secuenciación jerárquica neuronal para lograr dicho movimiento. A continuación se describen la serie de pasos necesarios para llevar a cabo el movimiento:

1. Se requiere de información visual para localizar el objeto que se desea tomar.
2. Las áreas motoras del lóbulo frontal planifican la orden del movimiento y la presión que se realizará sobre el objeto.
3. La medula espinal transmite la información a la mano.
4. Las neuronas motoras llevan el mensaje a los músculos del brazo y la mano.
5. Al tocar el objeto, los receptores sensoriales de los dedos envían información a la corteza sensorial de que el objeto ya ha sido tomado con la mano.
6. La médula espinal transmite información sensorial al encéfalo.
7. Los ganglios basales deciden la fuerza de presión y el cerebelo corrige los errores de movimiento.
8. La corteza sensorial recibió el mensaje de que se tomó el objeto.
9. Los ganglios basales producen la cantidad adecuada de fuerza para tomar el objeto.

10. El cerebelo regula el tiempo y corrige los posibles errores a medida que se desarrolla el movimiento.

Apraxias

Las apraxias son un déficit en la ejecución de movimientos aprendidos en respuesta a un estímulo. Este déficit no se asocia a una falla tanto en el sistema aferente como eferente ni tampoco a trastornos de la atención. Cualquier daño en las áreas corticales del cerebro que recibe información somatosensorial desde el tálamo, provoca la incapacidad de organizar secuencias de movimientos, como por ejemplo la coordinación de los dedos para recoger un objeto pequeño.

Algunos ejemplos de apraxias pueden ser:

- » Fallas para realizar movimientos correctos en respuesta a órdenes verbales.
- » Fallas para imitar correctamente un movimiento realizado por otra persona.
- » Fallas para realizar un movimiento correcto en respuesta a un objeto visto.
- » Fallas para utilizar correctamente un objeto.

Tipos de apraxias

Existen distintos tipos de apraxia, que varían de acuerdo con su relación con la acción o el movimiento a realizar.

Apraxia ideatoria

Se produce por una incapacidad para ordenar de manera correcta una serie de movimientos que conducen a un objetivo. Es decir que hay una dificultad para realizar un plan ideatorio que lleva a una finalidad.

La persona es incapaz de crear la imagen del acto que va a efectuar y no puede realizar actos que requieran el uso de objetos. Tiene dificultades para realizar acciones específicas ante una orden pero sí puede hacerlo espontáneamente en circunstancias apropiadas, por ejemplo pueden saludar (gesto) espontáneamente a alguien en la calle pero no puede hacerlo si se le ordena que salude. En general estos signos se manifiestan de manera bilateral, es decir en ambos lados del cuerpo.

Apraxia ideomotora

Es el tipo más común de apraxia. La persona tiene dificultades para realizar acciones motoras debido a errores en la secuencia y posición de los miembros en el espacio. Es la dificultad para colocar, orientar y mover correctamente un miembro en el espacio. Al utilizar objetos, se pueden observar errores temporales (por ejemplo al tirarle una pelota levanta la mano antes de tiempo) y espaciales (pone la mano en otro lugar).

La persona presenta dificultades para hacer gestos simples o simbólicos (como hacer la señal de la cruz). Estos signos se manifiestan de manera bilateral. Se produce cuando hay una lesión principalmente en las áreas de asociación frontal y parietal del hemisferio izquierdo.

Apraxia mielokinética

Se caracteriza por la dificultad para la realización de movimientos rápidos, alternativos o seriados. Suele originarse por alteración de la zona premotora y es unilateral, es decir que el miembro afectado es contralateral a la lesión del hemisferio cerebral donde se encuentra la misma.

Apraxia constructiva

Se manifiesta como una incapacidad para realizar un

dibujo o una figura en tres dimensiones. No suele afectar mucho a la persona, hasta el punto de que en muchos casos esta ignora su existencia. Se debe a una lesión en el lóbulo parietal derecho.

Apraxia bucofacial

Se manifiesta como la dificultad para realizar movimientos intencionales con estructuras faciales incluyendo mejillas, labios, lengua y cejas. Se producen alteraciones en la deglución voluntaria, por afectación de la musculatura de la cara, la boca y la faringe. Se suele asociar a uno de los trastornos del lenguaje llamado afasia de Brocca. Se produce como consecuencia de lesiones en el lóbulo frontal izquierdo y en los ganglios basales.

Apraxia conceptual

Se genera por la incapacidad de reconocer la función de un objeto o la dificultad para solucionar problemas mecánicos. Se pueden observar fallas de contenido (utilizar una herramienta como si fuera otra para una finalidad diferente) y fallas en la asociación objeto-herramienta. Es decir no se asocia el tipo de acción a un determinado utensilio o herramienta, como por ejemplo: utilizar un cuchillo como si fuera un martillo y no asociar una herramienta específica a un objeto específico (clavo-martillo). Las lesiones se encuentran principalmente en los lóbulos parietales y temporales del hemisferio izquierdo.

Gnosias, praxias y aprendizaje escolar

Las funciones cerebrales superiores se organizan a través de estereotipos, que son unidades de aprendizaje que el niño puede lograr mediante la experiencia y la repetición.

La mayoría de los niños con apraxia presenta dificultades a nivel escolar ya que tiene problemas para organizar sus materiales, manejar su cuaderno y escribir en forma correcta. En las clases de educación física pueden manifestar torpeza y lentitud en sus movimientos.

El aprendizaje de las gnosias se organiza en unidades funcionales cada vez más complejas en la corteza cerebral. Gracias a esta característica es posible hacer un seguimiento de la evolución de cada una. Por ejemplo, a los seis años de edad un niño puede escribir y elaborar dibujos figurativos, gracias al desarrollo que alcanzan sus gnosias y praxias a esta edad.

Otro ejemplo significativo en la pedagogía es la adquisición de la lectura y de la escritura, que se producen simultáneamente y se refuerzan entre sí a partir del lenguaje que las sustenta.

En la adquisición de la escritura, el alumno requiere del lenguaje y un buen nivel de organización de praxias manuales complejas y gnosias visuoespaciales (desde la forma correcta de agarrar la lapicera hasta el lugar adecuado donde escribir en la hoja).

En cambio, la lectura solo necesita de estas mismas gnosias y del lenguaje, prescindiendo de las praxias. Si queremos aprender a tocar un instrumento musical se requiere del desarrollo de las praxias para poder llevar a cabo la ejecución de movimientos necesarios y de las gnosias para la apreciación de la melodía.

En estos ejemplos podemos ver cómo el desarrollo de las gnosias, las praxias y el lenguaje no ocurre en forma independiente sino que se relaciona y retroalimenta.

Bibliografía

- Azcoaga, J. 1974. "Diagnóstico médico de las dificultades en el aprendizaje en el aspecto neurológico", Relato al II Congreso Hispanoamericano de Dificultades en el Aprendizaje de la Lectura y la Escritura. México, DF.
- . 1979. Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico. 2° ed. Buenos Aires, Paidós.
- . 1983. "Investigación de las funciones cerebrales superiores", en Diagnóstico psicológico y psiquiátrico. Buenos Aires, Helguero.
- . 1986. Aprendizaje fisiológico y aprendizaje pedagógico. 5° ed. Buenos Aires, El Ateneo.
- . 1995. "Pedagogía de las funciones cerebrales superiores en la primera infancia", Ecos Fonoaudiológicos, pp. 4-9.
- Benson, D. F. y Greenberg, J. P. 1969. "Visual Form Agnosia: A Specific Defect in Visual Discrimination", Archives of Neurology 20, pp. 82-89.
- Bradley, W. y Daroff, R. B. 2004. Neurología clínica: diagnóstico y tratamiento, vol. I, 4° ed. Barcelona, Elsevier.
- Cervino, O. 2011. Neurofisiología: bases neurológicas de la conducta. Buenos Aires, Praia.
- Fainstein, J. 1983. "Las apraxias del adulto", en Azcoaga, J. E. Las funciones cerebrales superiores y sus alteraciones en el niño y en el adulto (Neuropsicología). Buenos Aires, Paidós.
- Farah, M. J. 2004. Visual agnosia. Cambridge, MIT Press.
- Geromini, N. G. 2000. "Diagnóstico de las funciones cerebrales superiores: agnosias y apraxias que tienen repercusión en los códigos lectoescrito y matemático", Fund. Dr. J. R. Villavicencio 8, pp. 180-185.
- . 2007. "Cálculo, razonamientos matemáticos y lectoescritura en niños con patología neurolingüística, agnósico-aprática y apractognósica", X° Reunión Sociedad Latinoamericana de Neuropsicología. Rosario.
- Goldmann, R. y Grossman, M. 2008. "Update on Apraxia", Current Neurology & Neuroscience Reports 8, pp. 490-496.

- Greene, J. 2005. "Apraxia, agnosias and higher visual function abnormalities", *Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 76, pp. 25-34.
- Loli, G. e Yinelzie, S. 2006. *Psicomotricidad, intelecto y afectividad*. Lima, Bruño.
- Lorenzo-Otero J. 2001. "Apraxia ideomotriz y habilidades visuoconstructivas", *Neurología* 32, pp. 473-477.
- Peña-Casanova, J. 2007. *Neurología de la conducta y neuropsicología*. Buenos Aires, Médica Panamericana.
- Rubens, A. B. y Benson, D. F. 1971. "Associative Visual Agnosia", *Archives of Neurology* 24, pp. 305-316.
- Zadikoff, C. y Lang, A. 2005. "Apraxia in movement disorders", *Brain* 128, pp. 1480-1497.

CAPÍTULO 11

Lenguaje

Adriana Maldonado

Comunicación humana y lenguaje

Ya se conoce el impacto que tiene la comunicación humana en la vida social. La mayor parte de las actividades son mediadas por el lenguaje. Uno se habla a sí mismo continuamente, o habla con otra persona, e inclusive puede modificar el comportamiento de aquella o bien, el propio. Es fundamental en nuestra evolución cultural, ya que gracias a él, el conocimiento se fue transmitiendo de generación en generación

Producción y comprensión del lenguaje

Las capacidades lingüísticas del cerebro humano están localizadas en áreas de la corteza de asociación, en los lóbulos temporal y frontal del hemisferio izquierdo.

El lenguaje implica un aprendizaje de la secuencia de los sonidos (o sea reconocer la palabra) y de su significado (o sea comprenderla). El reconocimiento de la palabra es una tarea perceptiva, mientras que la comprensión involucra recuperar información adicional de la memoria.

El área de Brocca, ubicada en el lóbulo frontal izquierdo, es la zona del cerebro responsable de la producción del habla, controla el aparato fonador humano (la cavidad bucal, los labios, la lengua, el paladar y la cavidad nasofaríngea) y estructura las palabras en frases gramaticales.

El área de Wernicke y el área posterior del lenguaje en el lóbulo temporal izquierdo, son los puntos en donde se procesa la información referida a la comprensión del lenguaje. Esto implica el reconocimiento del sonido de las palabras (área de Wernicke), la comprensión de su significado y la capacidad de convertir nuestros pensamientos en palabras (área posterior del lenguaje). Cuando una persona sufre una lesión en alguna de las áreas del lenguaje se produce la afasia. Esto se manifiesta con problemas en la comprensión o producción del habla.

También hay que tener en cuenta que nuestro lenguaje tiene un ritmo: resaltamos ciertas palabras, las pronunciamos con mayor o con menor intensidad y modificamos así el tono de voz. No es lo mismo hacer una pregunta que dar una orden. A su vez, expresamos emociones mediante el ritmo, el tono y el énfasis de nuestra forma de hablar. Cuando explicamos un tema en la clase, resaltamos con gestos y ele-

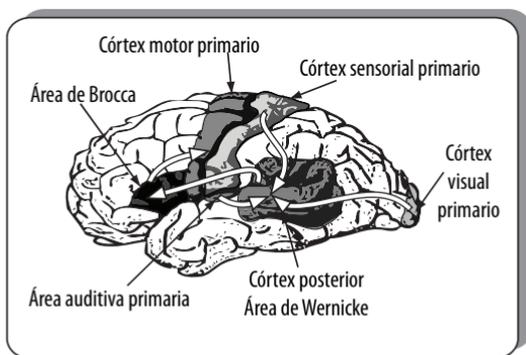


Figura 11.1. Áreas del lenguaje (Neural Inia, 2005).

vamos el tono de voz en los conceptos relevantes; cuando una pareja se pelea, el novio o la novia se hablan uno al otro de tal forma que se note que están enojados. Por lo tanto, no hablamos siempre igual, o sea, cambiamos el ritmo, el tono y/o el énfasis de nuestras palabras. La prosodia es la entonación de nuestra forma de hablar, enfatizando ciertas palabras con respecto a otras, por la que el mismo contenido puede tener distinto sentido. La persona con aprosodia habla siempre con el mismo tono, no es capaz de expresar emociones aunque, por supuesto, las sienta. Por ejemplo, una mamá con aprosodia les dirá a sus hijos, con la misma entonación: *“pongan la mesa”*, *“¡pueden poner la mesa!”* y/o *“¿pueden poner la mesa?”*.

El hemisferio derecho es el responsable de la prosodia, es decir, de la expresión del ritmo del lenguaje, de la intensidad de ciertas palabras, del tono de voz y del reconocimiento de las emociones.

Cuando hablamos es porque queremos expresar algo, ya sea sobre lo que está sucediendo en el momento (el perfume que acabamos de recibir de regalo, la buena música que estamos escuchando o la ropa nueva que estrenamos), o algo que ocurrió en el pasado (el partido de fútbol, el aumento de sueldo, etc.). En el primer caso, expresamos las percepciones que tenemos en el momento; en cambio, en el segundo caso, evocamos lo que tenemos consolidado y almacenado en nuestra memoria. Ambos actos involucran mecanismos cerebrales que son responsables de nuestra capacidad de tener algo que decir.

El aparato fonador

“(…) En los mamíferos existen dos modelos básicos relacionados con la posición de la laringe en el cuello. La primera posición es elevada, lo que permite al animal

tragar (sólidos o líquidos) y respirar al mismo tiempo. En el segundo modelo la posición de la laringe en el cuello es baja, en una ubicación tal que el paso del aire queda temporalmente cerrado durante la deglución, ya que de otra manera los sólidos o líquidos podrían bloquearla y causar su colapso. Los humanos adultos presentan el segundo modelo, mientras que todos los demás mamíferos y las crías humanas presentan el primero.

En relación a la producción del lenguaje la posición baja de la laringe aumenta mucho el espacio disponible por encima de ella y, en consecuencia, los sonidos emitidos por la laringe pueden ser modificados en un grado mayor de lo que es posible en los recién nacidos y los mamíferos no humanos. Los mamíferos no humanos solo pueden modificar los sonidos producidos en la laringe a base de alterar la forma de la cavidad oral y de los labios. Los humanos

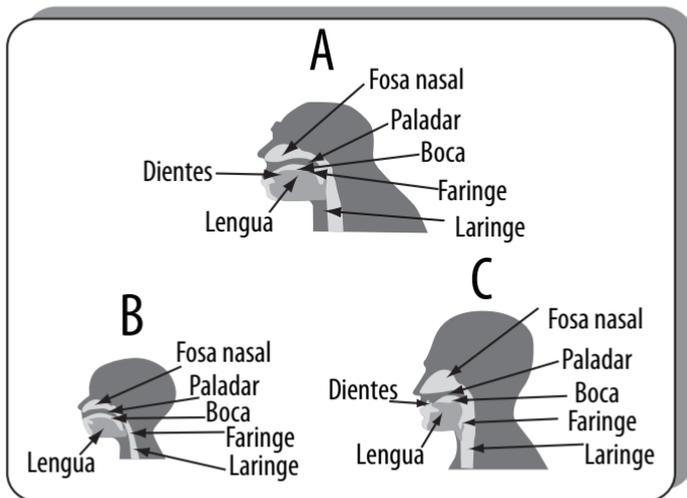


Figura 11.2. Aparato fonador en (A) *Homo erectus* (similar a monos antropoides), *Homo sapiens* (B) un niño y (C) un adulto (Historia de la Humanidad, blog Historia de Diseño I, 2009).

recién nacidos mantienen el modelo mamífero básico hasta cerca del año y medio o dos años de vida, momento en que la laringe empieza a migrar hacia una posición más interior en el cuello, alcanzando la configuración adulta hacia los 14 años.

(...) En el registro fósil debería ser posible obtener alguna información acerca de las capacidades verbales de las especies extinguidas de Homínidos.

(...) Los australopitecinos tenían probablemente tracts vocales muy parecidos a los de los monos y simios actuales. La elevada posición de sus laringes les habría imposibilitado la emisión de algunos de los sonidos vocálicos universales en el habla humana. Desafortunadamente el registro fósil de *Homo habilis* es de momento pobre en relación a esta característica (...) En *Homo erectus* pudo haber empezado a descender por el cuello aumentando el área disponible en la modificación de los sonidos laríngeos. Su posición laríngea parece equivaler a la de un humano de seis años de edad. Solamente con el origen de *Homo sapiens* arcaico, hace unos 300.000 años, aparece plenamente el modelo moderno que indicaría, cuando menos, que se había alcanzado ya el potencial mecánico necesario para toda la gama de sonidos producidos por las personas de hoy en día (...).”

Wilfred Le Gros Clarck, Evolución humana (extracto)

Capacidad de aprender un lenguaje

El ser humano es un animal social atravesado por una cultura. El lenguaje es importante como mediador social y cultu-

ral. Entonces podemos preguntarnos: ¿cómo se construye el lenguaje?

Los bebés, desde sus primeras semanas de vida, emiten sonidos al llorar, al succionar y al tragar. Así se inicia el juego vocal, que abarca el conjunto de sonidos emitidos por el bebé que van a intervenir en la construcción del lenguaje. Este también percibe sensaciones con sus labios al tocar el pecho de la madre, o bien sus propias manos; al acariciarlo, o tan solo al tocarlo.

Tomemos como ejemplo la succión: cada movimiento que realiza el bebé al succionar incluye una gran cantidad de aferencias táctiles y térmicas de la piel de los labios, de la mucosa de la boca, de la superficie de la lengua y del paladar, de tipo vibratorio de las paredes de la boca y aferencias de los diversos músculos que intervienen, como los que mueven la lengua y los labios al succionar. Estas aferencias llegan a la corteza cerebral simultánea y continuamente, formándose un estereotipo que se consolida mediante reforzadores.

El juego vocal comienza con emisiones de vocales muy breves (*a* y *e*) y de algunas consonantes guturales o nasales (*m*, *n*, *ng* y *k*) que el bebé repite. En el segundo y tercer trimestre de vida aparecen el balbuceo y el arrullo. Se lo escucha repetir (*mu*, *may pa*). Luego incluye algún sonido nuevo (*da*) que intercala entre los anteriores, los reemplaza o los combina.

En esta etapa cobra importancia el reforzamiento auditivo. El bebé escucha los sonidos que produce o bien los emitidos por otras personas. Repite sonidos o sílabas que ha escuchado, y cómo es festejado o reforzado por su mamá u otros familiares, le resulta placentero. Por lo tanto, en este período, son fundamentales todos los sonidos del lenguaje que se hablan alrededor del bebé y que este puede escuchar.

El bebé adquiere un gran repertorio de sonidos complejos que podrá producir en cualquier momento según su propia voluntad y que debe poseer antes de aprender a hablar, o ad-

quirir un lenguaje con significado como decir *papá* y *mamá*. Todo esto involucra la participación de un mayor número de músculos, un control más específico de los movimientos y una mayor coordinación.

Al año de edad aproximadamente, aparecen palabras intercaladas en su juego vocal. A veces esas palabras no tienen relación con la comunicación, surgen como respuestas a un estímulo. Por ejemplo “*pá*”, puede estar referido a la comida traída por la madre o a la llegada del padre o tal vez de cualquier hombre que conoce o no. Los bebés se deleitan nombrando y señalando con el índice las cosas que saben nombrar (*nene, mamá, chiche*). En esta nueva etapa las emisiones se relacionan con los aspectos importantes para él, o sea que tienen que ver con su supervivencia, como “*papá*”, “*mamá*” (los padres), los juguetes, “*papa*” (el alimento), el hermanito, etc.

Otro aspecto de la construcción del lenguaje es el aprendizaje de los significados. Está ligado con la función comunicativa del lenguaje. Es un proceso que se inicia de una forma muy elemental y progresa gradualmente hasta convertirse en el lenguaje del adulto que continúa enriqueciéndose.

El bebé dice sus primeras palabras en presencia del objeto, por ejemplo cuando la mamá se acerca a él con un plato, el bebé dice “*papa*”.

Luego puede referirse al objeto en su ausencia. Por ejemplo dice “¿*mamá*?”, “¿*papá*?” preguntando por la madre o el padre cuando no están con él o como respuesta a la pregunta de la abuela en relación a los padres ausentes.

Más adelante se registran expresiones con relaciones semánticas, que no se generan por la presencia de objetos sino por la representación de los mismos en la memoria: “*Quero afera, quero cadin*”. La petición marca el camino hacia la socialización del bebé.

Tabla 11.1. Comparación entre afasias

	Afasia de Brocca	Afasia de Wernicke
Localización de la lesión	- Área de Brocca (lóbulo frontal izquierdo)	- Área de Wernicke y área posterior del lenguaje (lóbulo temporal izquierdo)
Producción del habla	<ul style="list-style-type: none"> - Habla lentamente, en forma laboriosa y poco fluida. - Sus palabras tienen significado pero lo que dice no es gramatical. - Utiliza bien las palabras con contenido, como sustantivos, adjetivos, etc. - Presenta dificultades en palabras funcionales como artículos, preposiciones, conjunciones, etc., que ejercen importantes funciones gramaticales. - Le cuesta hallar la palabra adecuada. - Pronuncia mal las palabras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es fluida pero no elaborada. No se esfuerza en articular y seleccionar las palabras. - Las frases elaboradas no tienen sentido. - Utiliza pocas palabras con contenido. - Usa palabras funcionales, tiempos verbales complejos y oraciones subordinadas. - No busca hallar la palabra adecuada. - Pronuncia bien las palabras. El contenido del lenguaje se denomina "ensalada de palabras".
Comprensión del habla	- Puede comprender el habla mejor que lo que puede producir.	- Muestra un escaso grado de comprensión, esto le impide darse cuenta de que lo que dice y oye carece de sentido.
Ejemplo de frase	- "Los precios medicamentos saliendo caro yo pudiendo no pagarla."	- "Los precios de los medicamentos necesito tres colores y no tengo que ir a casa."
Reacción del paciente	<ul style="list-style-type: none"> - Reconoce que su pronunciación es incorrecta y suele intentar corregirla. - Se irrita y se enoja por su incapacidad para expresar bien sus pensamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No parece ser consciente de su déficit. Actúa seguro de sí mismo. - No reconoce que su producción del habla es defectuosa, ni reconoce que no puede entender lo que dicen los demás.

Afasia

Las afasias son trastornos del lenguaje producidos por lesiones cerebrales que se manifiestan con problemas en la comprensión y/o producción del habla. Si la lesión genera alteraciones en la producción del habla se denomina afasia de Brocca, y si los problemas son de comprensión, afasia de Wernicke. Aunque existen muchos tipos de afasia, compararemos dos de las afasias más comunes estableciendo las principales diferencias:

El lenguaje en primates no humanos

(...) Puesto que los grandes simios son nuestros parientes más cercanos, muchos investigadores han considerado que eran los mejores candidatos para aprender a usar un lenguaje. Hayes y Hayes (1952) intentaron enseñar el lenguaje hablado a una chimpancé de sexo femenino llamada Vicki. Esta demostró poseer importantes facultades de aprendizaje observacional, pero los intentos de enseñarle a hablar fueron infructuosos (...) pero a menudo utilizaba gestos para expresar sus necesidades (...)

El matrimonio Gardner (Gardner y Gardner, 1969) intentó enseñarle a otro chimpancé, llamado Washoe, el lenguaje gestual que utilizan los sordomudos. Después de casi dos años de instrucción, Washoe había adquirido aproximadamente 40 signos y sabía utilizarlos adecuadamente y transferirlos a situaciones nuevas (...)

Los investigadores posteriores intentaron estandarizar el uso de símbolos por parte de los chimpancés utilizando compu-

tadoras. Por ejemplo, enseñaron a una chimpancé llamada Lana a utilizar una computadora cuyas teclas presentaban varios símbolos, cada uno de los cuales designaba un objeto o acción. Cuando Lana apretaba una tecla, se iluminaba el símbolo correspondiente en una pantalla. Los experimentadores también se comunicaban con Lana a través de la computadora. Lana aprendió los nombres de los colores y de diversos objetos y a menudo iniciaba “conversaciones”(…).

En 1994, Sue Savage y Rumbaugh instruyeron a Kanzi. Este chimpancé aprendió gran cantidad de símbolos de la computadora espontáneamente cuando era muy pequeño, mientras estaba con su madre, a la que se le estaba instruyendo en el uso de símbolos (...). La mayor parte de la instrucción de Kanzi tuvo lugar en un entorno social relajado, un bosque extenso donde Kanzi podía encontrar alimentos. Kanzi llevaba una computadora portátil que utilizaba para comunicarse con los instructores, y a menudo “hablaba consigo mismo”, apretando teclas cuando estaba a solas. Kanzi también utilizaba espontáneamente gestos y vocalizaciones.

A menudo Kanzi se refería espontáneamente a diversos objetos de su entorno. También era capaz de comunicar sus intenciones antes de iniciar la acción y de referirse a lugares que no estaban visibles en ese momento, manifestando una aparente capacidad de planificación y formación de imágenes mentales. Kanzi era capaz de seguir instrucciones orales, incluso cuando procedían de un sintetizador de voz conectado a la computadora (...).

Desde un punto de vista humano, la experiencia con Kanzi parece ser prometedora para ayudar a los deficientes mentales profundos que no son capaces de aprender un lenguaje hablado (...).

En síntesis, los grandes simios son capaces de comunicarse simbólicamente (...). En algunos casos son capaces de hacer comentarios no dirigidos a metas sobre el entorno y de comunicar sus intenciones antes de actuar. No obstante, no son capaces de aprender el lenguaje sin la participación de los seres humanos ni tampoco de dominar normas sintácticas complejas (...).

Ahora, ¿por qué los grandes simios no han desarrollado algún tipo de lenguaje en forma natural? Uno de los principales factores está relacionado con la anatomía del aparato fonador. Los grandes simios no pueden pronunciar consonantes, y sin ellas es imposible que se desarrolle un lenguaje oral. En otras palabras, las limitaciones que tienen los grandes simios para desarrollar un lenguaje parecen obedecer más a problemas de producción que de comprensión del habla.

¿Por qué los humanos, y no los grandes simios, desarrollaron un aparato fonador capaz de producir el habla? Una hipótesis es que el aparato fonador de los humanos evolucionó como resultado del bipedismo. Cuando los primeros homínidos empezaron a desplazarse sobre los pies, pudieron llevar la cabeza en una posición más erguida sobre la columna vertebral. Con la cabeza en esta posición, el tracto vocal se dobló en ángulo recto y la lengua pasó a ocupar una posición más atrasada en la garganta que en los simios. En esta posición, el habla es más posible porque, entre otras características, la lengua tiene más movilidad y dispone de mayor espacio para modificar los sonidos y producir las consonantes (...).

Maier, R. *Comportamiento animal, un enfoque evolutivo y ecológico*, 2001

El rol del lenguaje en el aprendizaje

En todos los idiomas, las primeras palabras que el bebé comprende y a las que responde son las mismas. Estas palabras representan los objetos que están relacionados con sus necesidades (*papá, mamá, papa, chiche, noni*). La figura de la madre, los utensilios de la alimentación, de la higiene, etc. están constituidos por señales (táctiles, visuales, gustativas, etc.). Las palabras actúan como señales de estos objetos, de ahí que Pavlov llama al lenguaje “segundo sistema de señales”. La palabra supera el carácter único y simple de la señal. Por ejemplo, la palabra “*nena*” puede representar para la nena la muñeca, ella misma, su hermanita u objetos relacionados con ella o con su muñeca.

Este segundo sistema de señales cumple también un papel clave en la regulación del comportamiento desde las primeras etapas de la vida. Esto lo comprenderemos mejor recordando algunas estrofas de la canción de Joan Manuel Serrat, “Esos locos bajitos”:

Esos locos bajitos que se incorporan
con los ojos abiertos de par en par,
sin respeto al horario ni a las costumbres
y a los que, por su bien, hay que domesticar.

Niño, deja ya de joder con la pelota.
Niño, que eso no se dice,
que eso no se hace,
que eso no se toca.

Cargan con nuestros dioses y nuestro idioma,
nuestros rencores y nuestro porvenir.
Por eso nos parece que son de goma
y que les bastan nuestros cuentos para dormir.

Nos empeñamos en dirigir sus vidas
sin saber el oficio y sin vocación.
Les vamos transmitiendo nuestras frustraciones
con la leche templada y en cada canción.

¿Qué querrá decir con “*hay que domesticar*”? Seguramente se refiere a que el comportamiento de los chicos debe estar regulado continuamente por las indicaciones verbales de sus padres, de sus hermanos más grandes o de los otros adultos que los rodean. Muchas de estas indicaciones son órdenes (“Niño, deja ya de joder con la pelota... que eso no se dice, que eso no se hace, que eso no se toca”), otras, están referidas a crear hábitos (“...les bastan nuestros cuentos para dormir..”) y con ellas también vamos transmitiendo nuestra cultura y nuestra forma de vida (“...Cargan con nuestros dioses y nuestro idioma, nuestros rencores y nuestro porvenir... Les vamos transmitiendo nuestras frustraciones...”).

El lenguaje sustituye ciertos comportamientos por otros que son más eficaces en la vida. Este comportamiento nuevo se consolida mediante la repetición. Cuántas veces las madres dicen “*este chico no aprende*” cuando solo les enseñamos a usar los cubiertos correctamente cuando vienen visitas. Sin embargo, el aprendizaje, no solamente se da en el plano familiar, sino en las más diversas circunstancias de la vida (en las plazas, cuando miran televisión, en los juegos, etc.) y en la escuela. Esto último lo trataremos más adelante.

Es posible a través del lenguaje reforzar un comportamiento positivo (cuando la mamá grita *¡viva!* al ver a su hijo de 18 meses bajando la escalera sentado) o negativo (cuando se pone furiosa porque el bebé insiste en tirar la cuchara al piso). Puede contribuir a cambiar una conducta (ordenar los juguetes antes de irse a dormir) o a mantenerla con rigidez.

A lo largo de la vida hemos escuchado muchas historias acerca de chicos criados por animales como osos, lobos, pe-

rrros, gacelas, etc. ¿Qué ocurre cuando un chico crece totalmente alejado de la sociedad humana? En muchos casos se observó que rechazaba la ropa y la comida, parecía insensible al frío, poseía un excelente sentido del oído y de la vista, aullaba durante toda la noche, olfateaba todo lo que pasaba frente a él y se alejaba de los humanos. Muchos de estos chicos murieron al poco tiempo de dejar esa situación; otros, en cambio, vivieron muchos años, pero ninguno fue capaz de aprender más de cuarenta palabras ni vivir en una sociedad humana como otro individuo de su misma edad, a pesar de una intensa instrucción. Aprendieron mediante el primer sistema de señales, pero les faltaron las palabras que contribuyen a construir nuestra identidad como seres humanos.

El lenguaje como mediador del aprendizaje en las escuelas

Los cambios tecnológicos, sociales, culturales, políticos y otros son la consecuencia de la transmisión de conocimientos mediante el lenguaje. Esto último se realiza en las escuelas a través del lenguaje verbal y de materiales escritos que permiten reemplazar la realidad, conocer el pasado, el funcionamiento de la naturaleza, describir aquellos lugares que sabemos que nunca vamos a conocer, etc.

Los docentes nos esforzamos en elaborar clases basándonos en la construcción del conocimiento, en el cambio conceptual, en lograr aprendizajes significativos, etc., pero nos olvidamos qué importante es el contacto con la realidad para nuestros/as alumnos/as. Muchas veces analizamos textos referidos a los poderes políticos pero sin llevar a nuestros alumnos y alumnas a presenciar una sesión en las Cámaras de Diputados o de Senadores.

También trabajamos el concepto de ecosistema y de in-

terrelaciones entre diferentes organismos a partir de una laguna de la llanura pampeana, sin mostrar fotos del lugar que seguramente no conocen. En cambio, podríamos trabajar los mismos contenidos pero referidos, por ejemplo, a la ciudad en la que viven. También podemos llegar a explicar la textura y consistencia de los materiales, teóricamente, sin mostrarlos ni facilitando su exploración táctil. Recordemos que desde el aspecto sensorceptivo, las experiencias complementan el trabajo verbal que se escucha o se lee.

Aprendizaje de la escritura y de la lectura

En la escuela, el aprendizaje de la escritura y de la lectura se realiza simultáneamente, pero preferimos separarlos para comprender bien su construcción. Debemos tomar en cuenta que ambos se refuerzan recíprocamente y que tienen la misma materia prima: el lenguaje.

Escritura

El aprendizaje de la escritura implica aprendizajes motores manuales (el uso del lápiz, de la goma) y sensorceptivos (la posición de la hoja, la distribución espacial del dibujo).

Al inicio del aprendizaje de la escritura, se involucra un mayor número de grupos musculares innecesarios (o sea que las chicas y chicos fruncen la cara, muerden la lengua con los dientes). A su vez, la regulación de los grupos musculares necesarios es deficiente (aprietan muchísimo el lápiz hasta romper la hoja, o bien lo hacen tan débilmente que casi no se ve).

A medida que escriben, un conjunto de aferencias provenientes de los músculos, visuales, táctiles y de presión, llegan simultáneamente a la corteza cerebral y, cada vez que vuelven

a escribir, sucede lo mismo. Luego de varios meses, vemos que tienen una letra más pequeña, que no rompen las hojas, que no hacen tantas muecas con la cara; esto sucede porque no solo se produce la repetición sino también actúan reforzadores.

Estos pueden ser: las habilidades motoras o praxias y sensorceptivas o gnosis adquiridas en el jardín de infantes, algunas mencionadas previamente; pronunciar las palabras en silencio, la ejercitación en la escuela y en su casa (no solamente de la escritura, sino realizando otras actividades como buscar palabras en una sopa de letras, recortar letras o palabras, etc.); las indicaciones de la maestra y también darse cuenta de los errores cometidos.

Las lesiones cerebrales pueden deteriorar la capacidad de las personas para escribir; este déficit se llama disgrafía. Estas personas no pueden escribir palabras desconocidas, ni tampoco pueden pronunciarlas (por ejemplo dihidroxiacetona), pero sí pueden escribir palabras familiares sin dificultad.

Lectura

Cuando un chico termina el jardín de infantes tiene muchas palabras organizadas en estructuras gramaticales (palabras con contenido y funcionales). También comprende una gran cantidad de significados, tanto de las palabras que conoce como de las nuevas que sigue incorporando.

Todo esto constituye la base en el aprendizaje de la lectura. A través de aprendizajes sensorceptivos o gnosis relaciona la forma de la figura con el sonido que pronuncia o que escucha pronunciar. Un chico dice “*mamá*”, escucha lo que dice y mira la palabra mamá escrita en una hoja, relaciona la letra “m” (grafema) con su sonido, un fonema típico de su lengua.

Estas aferencias visuales, auditivas y musculares llegan a la corteza cerebral simultáneamente. Esta dinámica es repetida varias veces y se forma un estereotipo que se estabiliza me-



Figura 11.3. Ejemplo de un paciente con disgrafía (www.psicodiagnosis.es, 2011).

dante el uso de varios recursos como reforzadores: colorear la palabra en un cuento tantas veces como aparece, dibujarla en el pizarrón, en el cuaderno, modelarla en plastilina, recortarla, etc.

Luego se utiliza otro reforzador clave en la construcción de la lectura. Después de leer un texto, la maestra insiste en la importancia de mirar los gráficos o cuadros que se hallan en el libro o bien que ella realiza en el pizarrón; tal vez realiza dramatizaciones, etc. Todas estas actividades ayudan a comprender su significado, siendo este un reforzador clave en su construcción.

Por lo tanto el aprendizaje de la lectura abarca dos rutas:

- » La ruta fonológica mediante la cual desciframos la cadena de letras de una palabra, las convertimos en sonidos y luego tenemos acceso al significado.
- » La ruta léxica: primero reconocemos la identidad y el significado y luego la pronunciamos.

Ambas rutas se activan juntas, se refuerzan y trabajan simultáneamente.

Las bases biológicas de la lectura

En nuestra retina se encuentra la fovea donde se produce el reconocimiento de las letras. Cuando leemos un libro, por ejemplo, nuestros ojos realizan de cuatro a cinco movimientos por segundos. Esto permite dirigir las palabras a la fovea. Cuando nuestros ojos dejan de moverse identificamos solamente una o dos palabras.

Esta información va a ser transmitida al lóbulo occipital y luego al área de la forma visual de las palabras, también denominada caja de letras del cerebro. Ésta está localizada en la región tèmporo-occipital izquierda, en el surco tèmporo-occipital lateral

La caja de letras permite identificar la cadena de letras y las transmite a otras áreas que procesan su pronunciación y su significado. Su mal funcionamiento puede producirse por:

- » Una lesión directa en el área.
- » Una interrupción de la conexión en alguna región. antes que llegue la información, por lo tanto queda privada de entrada visual.
- » Una interrupción de la conexión después de la transmisión, no pudiendo enviar el mensaje a otras áreas del cerebro.

Cuando leemos las palabras que están en el lado izquierdo de una página son transmitidas a la mitad derecha de la retina y luego a las áreas visuales del hemisferio derecho. Las que se hallan en el lado derecho son procesadas en el hemisferio izquierdo. A pesar de esta diferencia, todas las

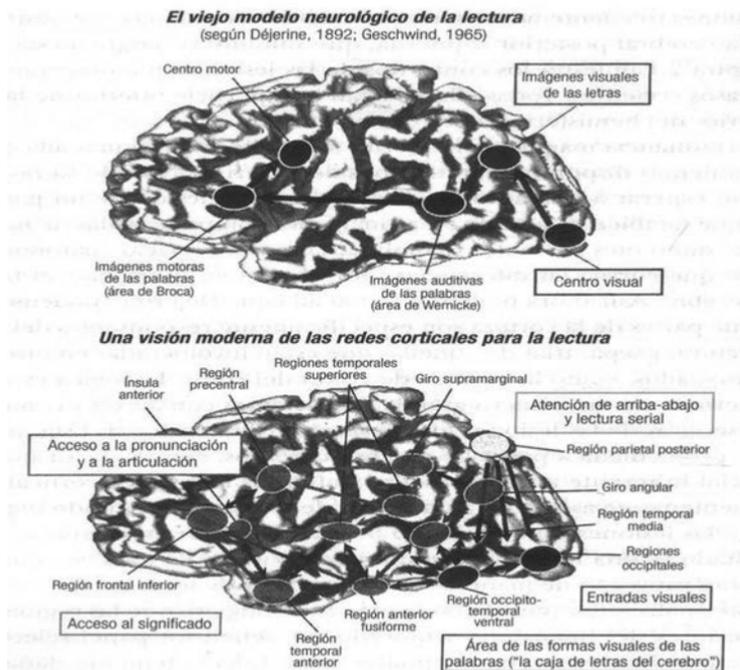


Figura 11.4. Redes corticales de la lectura (Dehaene, 2014).

palabras convergen en el área de la caja de letras. Esto explica que cuando fijamos la vista en un lugar de la página podemos identificar diez o doce letras por vez: tres o cuatro hacia la izquierda, siete u ocho hacia la derecha. Las letras que aparecen en el lado derecho de nuestra página, llegan directamente a la caja de letras que se encuentra en el hemisferio izquierdo. En cambio las que aparecen en el lado izquierdo, llegan primero al hemisferio derecho, pasan por el cuerpo caloso, y luego a la caja de letras.

Esta información que fue procesada en la caja de letras va a ser luego transmitida por el haz longitudinal inferior y por fibras locales en forma de U a múltiples regiones temporales

y frontales del hemisferio izquierdo, que la lectura comparte con el procesamiento del lenguaje. Por lo tanto toda esta información visual se envía, a través de las distintas conexiones a las dos rutas principales: una que la convierte en sonido y la otra en significado.

Cuando los chicos están en la escuela leyendo un texto se produce una incesante actividad de nuevas conexiones sinápticas. En el área de la caja de letras se integran las letras, grafemas, fonemas y sílabas. Esto genera una efervescencia neuronal en todas las áreas de la lectura y del lenguaje. Cada día que pasan en la escuela sus cerebros cambian, nuevas redes se comunican entre sí, se forman nuevas sinapsis, se originan nuevas espinas dendríticas y nuevas memorias.

La lectura implica, entonces, reconocer las letras, realizar una codificación de los sonidos de las letras, lo que constituye la lectura fonética y reconocer globalmente las palabras, lo que constituye la lectura global. El control del habla regula los procesos anteriores lo que nos permite pronunciar adecuadamente las palabras.



Figura 11.5. Modelo simplificado del proceso de lectura tanto de la lectura global como de la lectura fonética (Carlson, 2004).

Dislexia de desarrollo

Un niño con dislexia de desarrollo posee errores persistentes al leer y escribir. Por ejemplo:

- » Confunde letras similares pero de diferente sentido horizontal y vertical: *b* por *d*, *q* por *p*.
- » Invierte las letras o palabras: *le* por *el*, *sol* por *los*, *esnado* por *sentado*.
- » Cambia una letra por otra de fonética similar o parecida: *laro* por *lado*.
- » Omite una o varias letras cuando lee o escribe: *ju de jugo*.
- » Agrega letras o repite sílabas: *paeþa* por *papá*.

Otras características son:

- » Los errores de ortografía son comunes, pueden incluir letras en mayúsculas en el medio de la palabra y poseen serios errores de puntuación.
- » Generalmente sus trabajos poseen muchas correcciones.
- » La lectura es lenta, laboriosa y poco comprensible. El chico lee la primera parte de la palabra e intenta adivinar el resto, reemplaza palabras u oraciones por otras parecidas. No es capaz de pronunciar palabras que no le resultan conocidas y le cuesta mucho comprender lo leído.
- » Tiene muchas dificultades al cambiar de renglón.
- » Es generalmente caprichoso y sus reacciones no concuerdan con su edad cronológica.
- » Es consciente de su problema.

La dislexia puede deberse anomalías en el área de Wernicke y otras regiones durante el desarrollo prenatal del cerebro. Esta anomalía se manifiesta por una inhibición del desarrollo de esa zona.

El cerebro social y el lenguaje

Cuando nos comunicamos, escuchamos u observamos a una persona o situación, nuestras redes neuronales regulan la interacción con ese otro o situación. Estas, a su vez, se basan en funciones cognitivas y, al mismo tiempo, en zonas cerebrales.

Hay funciones cognitivas básicas y superiores, con sus estructuras neuronales implicadas, que en conjunto actúan de forma sincronizada para dar origen a lo que se llama “cerebro social”.

Las funciones cognitivas que permiten el funcionamiento del cerebro en relación con “el otro” son: alerta cortical, atención, percepción, memoria, motivación, regulación emocional, autoconciencia, lenguaje interior, sociabilidad, autocontrol y sincronización

Como mencionamos en el capítulo relacionado con las emociones, los investigadores informaron del descubrimiento de un tipo de células del cerebro denominadas “neuronas espejo” (Gallese, 1996), situadas en una región de la corteza premotora. Estas neuronas espejo se estimulaban no solo cuando el mono realizaba una acción, sino también cuando el macaco observaba a otro realizando la misma acción. De esta manera, las neuronas del mono “reflejaban”, como en un espejo, la acción que él observaba.

Poco tiempo después, haciendo registros en las regiones del cerebro humano mediante la Resonancia Magnética funcional (RMf), se descubrió que las áreas humanas que se suponía que contenían neuronas espejo también se relacionaban con el sistema límbico, estableciendo un puente con los sentimientos de otra persona, posiblemente reflejándolos. Este sistema intervendría en la percepción. Las neuronas espejo pueden ser importantes para interpretar las acciones de los demás y para aprender nuevas habilidades por imitación.

Algunos investigadores también especulan acerca de que el sistema espejo puede simular las acciones observadas, y así contribuye a la Teoría de la Mente. Otros relacionan las neuronas espejo con las habilidades del lenguaje.

En los seres humanos las neuronas “espejo” que se activan cuando una persona ve a otra realizando una acción se ubican en la corteza frontal inferior y en el lóbulo parietal y el área de Brocca. Esto ha llevado a la sugerencia de que el lenguaje humano evolucionó desde un sistema llevado a cabo por las neuronas espejo que permitió comprender los gestos.

Es así cómo las neuronas espejo tienen la posibilidad de sostener el mecanismo de la acción comprensiva, el aprendizaje imitativo y la simulación del comportamiento de otras personas.

Este sistema se activaría en la percepción, al interpretar las acciones de los demás, en la imitación, en la base de Teoría de la Mente y en el desarrollo del lenguaje.

Es muy probable que estos circuitos neuronales favorezcan el comportamiento empático, en el cual las acciones en respuesta a la aflicción de los demás son inmediatas.

Giacomo Rizzolatti, el neurocientífico italiano que descubrió las neuronas espejo, señala que este sistema es lo que nos permite “captar las mentes de los demás no a través de un razonamiento conceptual sino a través de una estimulación directa de los sentimientos”. La empatía nos permite “dirigirnos hacia el otro” y reconocer su cualidad entre todos los humanos.

Bibliografía

- Kolb, B. y Whishaw, I. 2005. *Cerebro y conducta*. McGraw Hill.
- Carlson, N. R. 2004. *Fisiología de la conducta*. Barcelona, Ariel.
- Cervino, C. 2010. *Neurofisiología*. Buenos Aires, Praia.
- Pineda, J. 1996. *Mirror neuron systems*. San Diego, La Jolla, University of California.
- Le Gros Clark, W. E. 1962. *Los fundamentos de la evolución humana*. Buenos Aires, Eudeba.
- Maier, R. 2001. *Comportamiento animal. Un enfoque evolutivo y ecológico*. Madrid, McGraw Hill.
- Rizzolati, G. y Sinigalia, C. 2008. *Mirrors in the Brain*. Nueva York, Oxford University Press.
- Willging, P. A. 2008. *La creación matemática en el cerebro humano: preguntas intrigantes que las neurociencias comienzan a responder*. Santa Rosa, Universidad Nacional de la Pampa.

CAPÍTULO 12

Aprendizaje de la matemática

Marisol Domínguez

¿Cómo funciona nuestro cerebro cuando resolvemos un problema de álgebra o de geometría? Nuestro concepto de número, ¿es innato o adquirido? ¿Por qué es tan difícil hacer cálculos mentales o aprender las tablas de multiplicar?

Recientemente, equipos multidisciplinarios de investigadores han comenzado a revelar el modo en el que el cerebro realiza cálculos matemáticos gracias a ingeniosos experimentos con animales y bebés, mediante el estudio de los efectos de lesiones cerebrales en pacientes y la utilización de herramientas de mapeo cerebral que permiten visualizar los circuitos activos del cerebro a medida que una persona realiza una determinada tarea.

Los números en nuestra vida social

Desde muy pequeños, los niños interactúan con los números. Éstos se encuentran presentes en nuestra vida cotidiana: en los colectivos, los precios, las tarjetas de crédito, los teléfonos, las fechas, en la identificación de las casas y

los automóviles, el control remoto de la televisión, en los relojes, las páginas de los libros, los talles de la ropa, la documentación de las personas, entre otros lugares. Sin embargo, a pesar de que estamos rodeados de números, éstos ofrecen información diversa de acuerdo al contexto, lo que puede dificultar al principio su comprensión por parte de los más jóvenes. Los niños tienen al mismo tiempo acceso al \$71, que puede exhibir la etiqueta de un objeto en un supermercado, y al 71 de un colectivo, y en ambos casos el número no cumple las mismas funciones de representación. De esta manera, si en nuestro sistema de numeración, cifras distintas representan cantidades diferentes, hay usos de los grafismos numéricos en que cifras diferentes no representan cantidades diferentes, sino que los números funcionan como etiquetas cuyas diferencias son cualitativas: lo que indica el 71 de un colectivo con respecto al 21 de otro no es una cantidad mayor (colectivos más grandes), sino que ese colectivo realiza un recorrido diferente al otro.

Aritmética en los animales

Por largo tiempo se consideró a la matemática como una habilidad exclusiva de los seres humanos. Sin embargo, la evidencia es creciente y se ha demostrado en diversos experimentos, que los animales (como las ratas, palomas, salamandras, delfines y monos, entre otros) son capaces de percibir las cantidades numéricas. Los experimentos generalmente implican enseñar a los animales a presionar una palanca un determinado número de veces para obtener comida. Esta capacidad es de vital importancia en la naturaleza ya que estimar la cantidad de predadores o cuantificar los beneficios de dos posibles provisiones de comida pueden ser cuestiones de vida o muerte.

La aritmética no es entonces una habilidad específica de los humanos sino que es bastante común en el reino animal, dado que las ventajas que otorga en la supervivencia son amplias. Todos los animales se enfrentan a una búsqueda constante que les permite encontrar el mejor ambiente con comida, la menor cantidad de predadores, la mayor posibilidad de reproducción, etcétera.

Limitaciones de la matemática animal. ¿Son los animales tan buenos como los humanos en su habilidad para la matemática?

Los animales no humanos son capaces de realizar sumas aproximadas y comparar distintas cantidades de elementos. Pero el desempeño en esta habilidad de comparación se reduce sistemáticamente a medida que aumenta la magnitud de los números (*efecto de tamaño*) y la distancia entre los números es menor (*efecto de distancia*). Para estudiar esto, se realizaron experimentos con chimpancés donde se los expuso a dos cantidades de alimento distintas y fueron tentados a elegir la opción con más ítems. Los animales debían computar espontáneamente el total de elementos de ambas opciones, compararlos y elegir el que consideraban más alto. Se observó que cuando las dos cantidades eran bastante distintas, como en el caso de 8 y 12, los chimpancés casi nunca fallaban y elegían la más alta. Pero cuando las cantidades se volvían más próximas su desempeño empeoraba, por ejemplo cuando comparaban entre 8 y 10. Se denomina *efecto de distancia* cuando la tasa de error depende de la separación numérica entre los ítems a comparar. También se observó que la discriminación era más lenta y menos precisa cuando comparaban 7 de 9 elementos que 2 de 4. En este caso hablamos de *efecto de tamaño*, ya que a distancias numéricas iguales el desempeño empeora a medida que los números a comparar se vuelven más grandes. Estas reglas también aplican a los humanos, ya que cuanto más distancia hay entre los núme-

ros y estos son pequeños, menos tiempo tardamos en decidir cuál es el más grande.

Los animales, a diferencia de nosotros, son fundamentalmente imprecisos ya que no son capaces de representar números grandes con un formato específico e individualizado. Ellos no calculan del mismo modo que nosotros ya que su representación de los números es inexacta. Para un animal, 6 más 6 no es 12, sino aproximadamente 12: puede ser 11, 12 o 13. Por eso, muchas veces se habla de *numerosidad* para aplicarla a los animales en lugar de números, ya que al referirnos a un número suponemos un símbolo específico. Esta percepción de la numerosidad les permite a los animales comparar cantidades y estimar cuan numerosas son, pero no les permite computar su número exacto.

Lenguaje y matemática

Los humanos poseemos una representación mental de las cantidades numéricas bastante similar a la del resto de los animales, pero nuestra capacidad de desarrollar sistemas simbólicos (derivada del lenguaje) nos ha permitido ir más allá de la aproximación y realizar cálculos con números exactos. Los humanos contamos con la habilidad de crear sistemas complejos de símbolos, incluyendo lenguajes hablados y escritos. Las palabras y los símbolos, al separar conceptos con significados arbitrariamente cercanos, nos permiten ser precisos y movernos más allá de los límites de la aproximación.

Aprendizaje de la matemática en los niños

Nuestro sentido numérico, ¿es innato o adquirido? ¿Los bebés al nacer tienen alguna percepción de las cantidades numéricas?

Si tantas especies de animales están dotadas de habilidades numéricas es probable que los humanos desde niños podamos percibir, memorizar y comparar cantidades numéricas. De hecho, nuestro cerebro cuenta con un mecanismo innato, heredado de especies antecesoras, que nos permite comprender las cantidades numéricas y que sirve como base para la adquisición de procesos matemáticos de mayor complejidad. Todas las personas estamos dotadas de una representación intuitiva de las cantidades numéricas y, por esa razón, podemos darnos cuenta que 5 es más pequeño que 20. Esta facultad permite que los niños puedan reconocer que algo ha cambiado en una colección de autitos pequeña cuando un autito ha sido eliminado o agregado a la colección.

Por mucho tiempo, esta habilidad innata de los niños no fue reconocida ya que contradecía las teorías relacionadas con la adquisición de las habilidades matemáticas, que afirmaban que el concepto de número comenzaba a aprenderse alrededor de los 5 años de edad, por lo que no tenía sentido incluir en el sistema de educación la enseñanza precoz de la matemática. Esto implica que el niño, antes de esa edad, no estaría *listo* para desarrollar cálculos aritméticos. Sin embargo, los aportes actuales de la neurociencia indican que, a pesar de que la comprensión de los números se profundiza con la edad y la educación, los niños antes de los 5 años tienen una comprensión aproximada de las cantidades numéricas similar a la de otros animales. Los sistemas educativos actuales deberían reformularse teniendo en cuenta que los conceptos matemáticos abstractos aparecen en la niñez incluso antes de la educación formal.

Cronología de la adquisición de la habilidad matemática en los niños

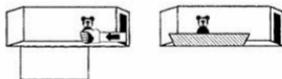
¿A qué edad aparecen las habilidades matemáticas en los humanos? ¿A qué edad sabemos que 2 es más grande que 1?

Los humanos, antes de los 5 años, ya tenemos algunas habilidades matemáticas. Veamos entonces el paso a paso en este proceso. Existen tres etapas en la adquisición de las habilidades numéricas:

- 1) Los recién nacidos tienen la capacidad innata no verbal de distinguir a simple vista el número de elementos de pequeños conjuntos (1, 2 y 3 elementos). Esto se ha demostrado con experimentos donde los bebés observan una pantalla que muestra diapositivas con distintos números de objetos y se mide cuánto tiempo pasa el bebé mirando cada diapositiva. Al principio, durante la etapa de habituación, se les muestra durante un tiempo dos puntos negros que entre cada ensayo varían en localización, tamaño e identidad (en lugar de puntos pueden ser dos cuadrados, o dos círculos, pero siempre se les muestra dos elementos). Es decir, los objetos varían y sólo su número permanece constante. Cuando el bebé empieza a aburrirse de este estímulo repetitivo fija su mirada en la pantalla por menos tiempo. En los ensayos siguientes, luego de alcanzada la habituación, las diapositivas muestran tres elementos y se observa que los bebés miran durante más tiempo conjuntos de tres ítems que conjuntos de dos. De esta manera se evidencia que los bebés detectan el cambio de numerosidad entre 2 y 3 elementos. El bebé humano nace con mecanismos que le permiten individualizar objetos y extraer su numerosidad. Los humanos compartimos esta habilidad con otros animales, por lo tanto se considera una función independiente del lenguaje. De hecho, organismos que no poseen lenguaje pueden diferenciar entre distintas cantidades.
- 2) Entre los 4 y 6 meses de edad emerge la habilidad para memorizar, lo que permite realizar sumas y restas. Se han realizado experimentos donde se les muestra a los bebés un elemento que luego dejan de ver porque al poco tiempo se lo coloca detrás de una pantalla (Fig. 1). A continuación, los bebés

observan cómo se añade otro elemento que también queda escondido detrás de la pantalla. Finalmente, se quita la pantalla mostrando algunas veces el resultado correcto (2 elementos) y en otros ensayos un resultado incorrecto (por ejemplo 1 elemento solo). Se mide la sorpresa de los bebés, al igual que en el ensayo anterior, estableciendo el tiempo en que se quedan mirando. De esta forma, se descubrió que los bebés reaccionan mirando por más tiempo cuando el resultado es incorrecto. Es decir, cuando al levantarse la pantalla se observan dos objetos pierden el interés más rápido que cuando al levantarse la pantalla se les muestra el resultado improbable de 1 o 3 objetos. Un procesamiento numérico interno rudimentario permite a los bebés de esta edad reconocer pequeños números de objetos y combinarlos en sumas y restas simples. Este experimento indica que los bebés, a esta edad, son capaces de interpretar que el agregado de uno a uno da dos y no tres ni uno.

1. Entra en escena el primer elemento y luego lo cubre la pantalla



2. Se agrega el segundo elemento y la mano sale vacía



Resultado correcto $1 + 1 = 2$

Resultado incorrecto $1 + 1 = 1$

3. La pantalla baja y revela dos elementos



4. La pantalla baja y revela un elemento

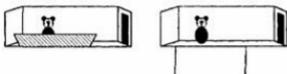


Figura 1. Experimento que muestra que los bebés son capaces de realizar sumas con cantidades pequeñas ya que miran sistemáticamente por más tiempo el resultado incorrecto $1 + 1 = 1$ que el correcto $1 + 1 = 2$. Adaptado de Dehaene (1997).

- 3) Recién a los 15 meses de edad se encuentran evidencias de que los bebés comprenden el orden natural de los números y se dan cuenta que 2 es más grande que 1. Antes de esa edad pueden reconocer uno, dos y tres objetos, incluso pueden saber que $1 + 1$ es igual a 2, pero no entienden que 2 es más grande que 1. Los bebés a partir de los 15 meses de edad empiezan a mostrar los primeros indicios de comparación numérica.

En conclusión: los bebés son mucho mejores matemáticos de lo que pensábamos. Muchas operaciones matemáticas surgen en ellos de manera espontánea, como la estimación numérica, la comparación, el conteo y las sumas y restas simples.

La singularidad de los números 1, 2 y 3

Es llamativo que en la mayoría de las civilizaciones los primeros tres números son simples, generalmente se repite el símbolo de la unidad, pero a partir del número tres se deja de utilizar este sistema por símbolos arbitrarios más complejos (Fig. 2).

Notación	Simbología				
Cuneiforme	I	II	III	IIII	IIII
Etrusca	I	II	III	IIII	Λ
Romana	I	II	III	IV	V
Maya	—
China	一	二	三	四	五
India antigua	—	=	≡	+	Υ
Árabe manuscrito	1	۲	۳	۴	۵
Árabe moderna	1	2	3	4	5

Figura 2. Civilizaciones que denotan los primeros tres números con series de marcas idénticas. Adaptado de Ifrah (1994).

De hecho, una tribu de Australia, los warlpiris, indican las cantidades solamente con las palabras “uno”, “dos”, “algunos” y “muchos” (Ifrah, 1998). Incluso los números que nosotros usamos, los números arábigos, aunque parezcan arbitrarios, derivan del mismo principio pero se han deformado en la escritura manuscrita con el tiempo. Nuestro dígito 1 deriva de una barra, y nuestros dígitos 2 y 3 se originaron a partir de 2 o 3 barras horizontales.

Subitización

¿Por qué la singularidad de las cifras 1, 2 y 3 es universal?

Como observamos, muchas sociedades humanas nombran a los primeros tres números con una cantidad idéntica de marcas, mientras que los números siguientes son símbolos arbitrarios (Fig. 2). Esto es así, probablemente porque el sistema de alinear barras no sería muy recomendable para nombrar números grandes. Imagínense que leer el número 25 con este sistema sería un proceso lento y propenso al error. Pero ¿por qué todas las civilizaciones se deshicieron de este sistema a partir del número 3 y no del 5 u otro número? La respuesta tiene que ver con la *subitización*, que es la habilidad para cuantificar números de forma inmediata pero sin contarlos de a uno (por lo súbito del cálculo). Esta habilidad *protonumérica* de los adultos humanos es similar a la de niños (aparece en la primera etapa de adquisición de las habilidades matemáticas) y a la de los animales. Pero sólo se extiende hasta el número 3, ¿o acaso pueden distinguir el IIII del IIIII de inmediato sin contar las líneas?

Casi todas las civilizaciones abandonan este tipo de numeración luego del número 3, que marca el límite de nuestra aprehensión inmediata del número. Podemos enumerar de manera rápida y confiable sólo hasta 3 objetos ya que el tiempo requerido para nombrar el número de objetos au-

menta drásticamente si son más de 3 (así como también aumenta el número de errores cometidos). Se pueden entonces reconocer 1, 2 y 3 objetos de manera rápida porque no necesitamos contarlos uno por uno (Fig. 3).

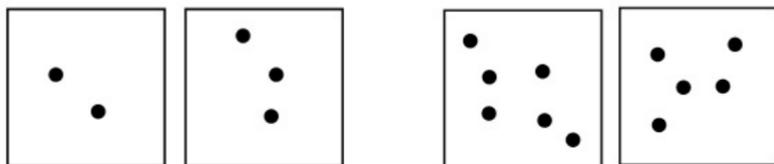


Figura 3. La diferencia entre dos y tres objetos (izquierda) es perceptible inmediatamente para nosotros, pero no podemos distinguir cinco de seis (derecha) sin contar. Adaptado de Dehaene (2016).

¿Notaron que les resultó sencillo enumerar el número de objetos en los recuadros de la izquierda, pero fueron anormalmente lentos con los de la derecha? Según Stanislas Dehaene, heredamos una comprensión intuitiva de los números como representaciones continuas y aproximadas. Al igual que en los bebés y animales, esta intuición se vuelve más imprecisa a medida que los números se hacen más grandes. Por eso, a partir del número 4 tenemos que empezar a contar ya que la estimación del número de nuestro *acumulador interno* no es lo suficientemente confiable. Las mismas reglas que vimos anteriormente para el caso de los animales se aplican a nuestra percepción humana adulta de los números grandes, y explican porqué se cometen tantos errores al tratar de estimar de manera veloz el número de objetos cuando este número es alto. Nuestra precisión depende de la distancia: distinguimos mejor dos números distantes, como 20 y 40, que dos números cercanos, como 40 y 41; y de la magnitud: a igual distancia, nos cuesta más distinguir números grandes, como 40 y 41, que dos números pequeños, como 1 y 2.

Si bien todavía se desconoce el mecanismo exacto a través del cual actúa la subitización, se sabe que no es automática sino que requiere de la atención y de la memoria de trabajo. Si se repite el experimento anterior cuando la mente está ocupada en otra cosa (por ejemplo memorizando una frase), ya no se logra estimar con precisión la numerosidad de un conjunto, incluso cuando contiene menos de 3 elementos.

Mecanismos cerebrales responsables de las habilidades numéricas en los humanos

¿Cómo se establecen y funcionan los procesos matemáticos en el cerebro? ¿Qué papel desempeñan los hemisferios derecho e izquierdo en las tareas numéricas?

El estudio de pacientes con el cuerpo calloso dañado permitió contestar esta pregunta. Como sabemos, en ellos los dos hemisferios pueden operar independientemente y así podemos evaluar qué función realiza cada uno de ellos. El cálculo matemático, a diferencia del lenguaje, está menos lateralizado. Por un lado, se observó que la mayoría de las áreas cerebrales responsables de los cálculos aproximados están ubicadas en el hemisferio derecho y, por el otro, que para los cálculos exactos existe mayor activación en algunas regiones del hemisferio izquierdo. En realidad, ambos hemisferios pueden reconocer dígitos arábigos, convertirlos en cantidades y compararlos; pero sólo el hemisferio izquierdo es capaz de nombrarlos y ejecutar cálculos exactos. Conjuntamente, esto explicaría por qué las respuestas del hemisferio derecho son aproximadas y las del hemisferio izquierdo, exactas.

Una persona que por un accidente pierde la mayor parte de su hemisferio izquierdo seguramente tendrá sus capaci-

dades verbales (producción y comprensión del habla) gravemente deterioradas. Probablemente, además de no poder leer ni escribir, tendrá afectadas sus capacidades numéricas. Sin embargo, aunque haya perdido su capacidad para realizar cálculos exactos, podría aproximar. Seguramente pensaría que un año tiene “unos 350 días” y una hora, “unos cincuenta minutos”, respuestas que son claramente falsas, pero aproximadamente correctas.

Veamos cómo contribuye cada región al procesamiento matemático. Los lóbulos parietales de ambos hemisferios cerebrales (en especial la región inferior y surco intraparietal) albergan circuitos neuronales dedicados a la percepción aproximada de las magnitudes numéricas. El cálculo matemático exacto, sin embargo, activa otras redes neuronales: una región del lóbulo parietal recibe información visual de la corteza occipitotemporal (involucrada en la identificación de la forma visual de los números arábigos) y por las áreas del lenguaje (como las áreas perisilvianas izquierdas que están implicadas en las representaciones verbales de números y de cualquier cadena de palabras). Además, el lóbulo parietal está recíprocamente conectado con el lóbulo prefrontal que enfoca la atención y memoria de trabajo (activa siempre que mantenemos en la mente una información por algunos segundos), y con los circuitos del hipocampo que participan en el aprendizaje y la consolidación de la memoria a largo plazo, así como con otras áreas subcorticales múltiples (Fig. 4).

En síntesis, la concepción de que un área simple puede almacenar todo el conocimiento sobre matemática ha sido reemplazada por una visión más apropiada, que sostiene que son varias las áreas implicadas, ya sea para identificar números arábigos, escribirlos, comprenderlos cuando se escuchan o evocar el resultado de la multiplicación de dos números como el 8 por el 9.

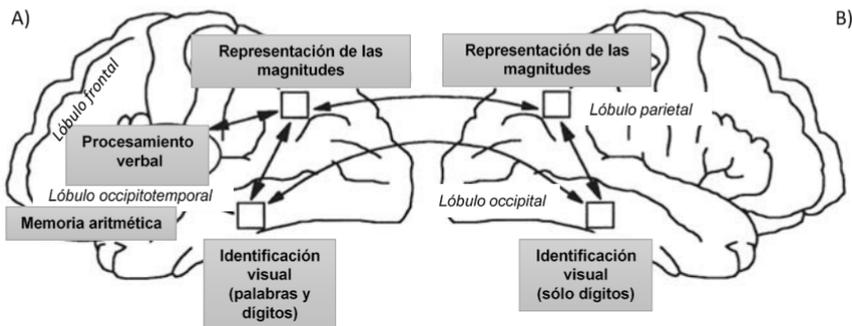


Figura 4. Vista lateral de los hemisferios izquierdo (A) y derecho (B). Simplificación de la transmisión de información a través de distintas áreas cerebrales durante el cálculo. No se muestra la corteza prefrontal que también participa con la selección de estrategias y planificación a través de la atención y memoria de trabajo.

En la Fig. 4 se observa que la corteza occipitotemporal del hemisferio izquierdo se asocia con el reconocimiento, tanto de cifras arábigas (4) como de palabras escritas (cuatro), mientras que la misma región en el hemisferio derecho reconoce sólo cifras arábigas. Además, se pone de manifiesto que ambos hemisferios pueden manipular cantidades numéricas, pero sólo el hemisferio izquierdo tiene acceso a la representación lingüística de los números y a la memorización de las tablas aritméticas. Esto quiere decir que, dependiendo de si se requiere una respuesta exacta o aproximada, nuestro cerebro activa distintos circuitos neuronales.

Números, espacio y tamaño

El tamaño, la información espacial y el número se procesan en una región similar del lóbulo parietal donde las neu-

ronas encargadas de estas dimensiones se encuentran interconectadas. Por eso, el concepto de número está muy vinculado al concepto de tamaño. Prueben su habilidad para decidir rápidamente dentro de cada par cuál es el número más grande:

3 o 6

6 o 7

9 o 5

Veamos cómo se vincula el concepto de *número* con el concepto de *espacio*: a) las personas representamos mentalmente a los números enteros en una línea recta orientada de izquierda a derecha; b) existe una fuerte correlación entre las habilidades matemáticas y las capacidades espaciales (como la facilidad de orientarse espacialmente); y c) utilizamos términos espaciales para hablar de números que están *cerca* o *lejos* uno de otro. Lo que ocurre es que la región parietal inferior alberga circuitos neurales dedicados a la representación de información espacial continua. De esta manera, permite la codificación de la *línea numérica* que se establece en el cerebro humano cuando se representa a los números naturales: éstos no se tratan como símbolos, sino como cantidades que se representan en una línea.

Discalculia

La discalculia es la dificultad de aprender a una edad determinada a nombrar un número determinado de objetos. Por ejemplo, no poder contar los propios dedos de la mano ni los símbolos arábigos, y tampoco estimar la cantidad aproximada (numerosidad) de elementos en un conjunto. Al no comprender el concepto abstracto de número (cardinalidad) ni el principio de ordinalidad, estos niños tienen serias dificultades para realizar cálculos. El cálculo, como la lectura, es una habilidad cultural que se aprende lentamente gracias a una enseñanza específica. Éste requiere de la interacción de las experiencias ambientales con el desarrollo de regiones visuales, espaciales, del lenguaje, de la memoria de trabajo y a largo plazo, la atención, la motivación y otras competencias intelectuales y ejecutivas. La disfunción de alguna de estas habilidades puede contribuir a la dificultad para adquirir una comprensión de los números. Por eso, la discalculia, como la dislexia, no es un trastorno único atribuible a una única anomalía genética, a una deficiencia cognitiva, trastorno del desarrollo o daño en una región específica del cerebro.

Problemas en la enseñanza: por unas matemáticas más naturales

Para saber enseñar hay que saber cómo se aprende

A través de los diferentes conceptos que se desarrollaron en este capítulo podemos visualizar qué implicancias pueden tener éstos para la educación de nuestros niños y jóvenes. Sabemos que para hacer cálculos matemáticos se necesitan dos habilidades principales:

- 1) Una sensibilidad visual innata a pequeños números (1, 2 y 3), o subitización, que luego se mezcla con la comprensión de cantidades aproximadas.
- 2) El desarrollo de un sistema de numeración abstracto exacto con cualidades cardinales y ordinales, que hace posible el cálculo y toma años desarrollar.

Respecto a la primera habilidad, es importante reconocer las habilidades matemáticas que requieren de un conocimiento muy pequeño de matemática. No es correcto pensar que los niños tienen un conocimiento muy pequeño de matemática. Los bebés, al igual que otros animales, nacen con la habilidad innata de subitización. Los chicos son extraordinariamente capaces de entender lo que es una suma o una resta. Su sistema de estimación del número es aproximado, no verbal, se extiende a sets de un sólo dígito y se ha observado que la discriminación decae cuando la numerosidad aumenta (efecto del tamaño) y con la distancia entre los números a comparar (efecto de distancia). Reconociendo estas habilidades con las que llegan los niños a la escuela, el desafío para los maestros es no introducir en un principio a la matemática como una disciplina abstracta (eso vendrá después) sino capitalizar esa intuición de las cantidades numéricas asociando primero los símbolos a la intuición correspondiente.

Respecto a la segunda habilidad, si bien todos los niños nacen con una representación de las cantidades numéricas (primera habilidad), también es preciso desarrollarla. La exposición a una lengua, una cultura y sobre todo a una educación cumplen un papel crucial en la adquisición de dominios adicionales más complejos, como por ejemplo pasar de contar con los dedos a imaginar las cuentas o saber las tablas de multiplicar. El aprendizaje de los símbolos visuales y de las reglas necesarias para llevar a cabo cálculos requiere una amplia exposición y una enseñanza específica,

y depende de otras habilidades cognitivas como el lenguaje y las habilidades ejecutivas. Por eso, es importante entender que los niños en edad preescolar necesitan tiempo (generalmente varios años) y una enseñanza particular para aprender los nombres verbales y los símbolos visuales que denotan cada número, y para entender la cardinalidad, ordinalidad y la no variación de su secuencia (incorporar la línea numérica). Solo luego de adquirir estos conceptos los niños desarrollan un sentido abstracto más exacto de los números, lo que les permite más adelante llevar a cabo cálculos más complejos.

¿Por qué para los niños es más fácil sumar y restar, que multiplicar y dividir?

Todos tenemos las mismas posibilidades que nos permite nuestro cerebro para sumar, restar y comparar cantidades aproximadas de manera intuitiva, y para el cual las multiplicaciones o divisiones resultan una pesadilla. Apparentemente aprender a multiplicar no es algo intuitivo. Cuando nuestro cerebro se ve confrontado con una tarea que no forma parte de sus habilidades innatas, como es la multiplicación, utiliza una vasta red de áreas cerebrales para llevarla a cabo.

Para aprender las tablas de multiplicar, recurrimos a estrategias que no están basadas en las representaciones numéricas cuantitativas sino en un aprendizaje verbal de memoria. Cada operación de multiplicación es recordada como una frase de memoria, es decir, como una secuencia específica de palabras. Memorizar todas las posibles combinaciones es una tarea realmente difícil debido a que todas involucran las mismas palabras (que denotan números) ordenadas en forma ligeramente diferente.

Durante los años preescolares ocurre una gran revolución en los procesos mentales relacionados con la aritmética.

Los niños pasan de una comprensión intuitiva de las cantidades numéricas, sustentada por estrategias simples para contar, al aprendizaje memorístico de la aritmética. Es en este momento donde pueden ocurrir las primeras dificultades serias, ya que progresar en matemática de repente implica almacenar gran cantidad de conocimiento numérico de memoria y durante este proceso suelen dejar de lado sus intuiciones acerca de las operaciones aritméticas.

Que “el fantasma” de los números entre amigablemente al aula

Cada una de las clases de matemática que cursan los niños es mucho más que modificaciones de millones de sinapsis en sus cerebros: implican la expresión de genes y formación de millones de neurotransmisores y receptores, la modulación de señales químicas que reflejan el nivel de atención del niño y su compromiso emocional con el tema.

La enseñanza de la matemática debería estar centrada en el desarrollo del razonamiento intuitivo, economizando la información que el docente da para ampliar la posibilidad de establecer relaciones, generar ideas y expresar pensamientos. Si un alumno comete un error, en lugar de corregir el resultado obtenido es mejor conducirlo desde ese resultado, a partir de ejemplos y contraejemplos, para que el alumno sea consciente de su acierto o de su error. En la enseñanza actual de la matemática se pone demasiado énfasis en los conceptos abstractos y en la memorización rutinaria de tablas y reglas numéricas. Este es uno de los principales factores que estancan el desarrollo instintivo de la matemática en el alumno y con ello se dificulta la adquisición de nuevos conceptos. Por este motivo, es mejor que los alumnos resuelvan situaciones problemáticas sin haberles mostrado previamente algún método de resolución.

Desde el punto de vista de la enseñanza, no introducir en el inicio de la escolaridad las reglas de los cálculos más complejos facilita que los niños elaboren otros procedimientos para resolver y representar estas operaciones, más relacionados con sus concepciones sobre la numeración y las propiedades de las operaciones que frecuentemente funcionan de forma implícita. El primer algoritmo de cálculo que todos los niños descubren por sí mismos es el de sumar dos conjuntos contándolos con los dedos. De hecho, elaboran espontáneamente las reglas aritméticas cuando comparan números y establecen criterios como “a mayor cantidad de cifras, mayor es el número”, lo que les permite comparar números de diferente cantidad de cifras, y “el primero es el que manda”, lo que les permite la comparación de los de la misma cantidad de cifras. La meta entonces es utilizar métodos de enseñanza basados en la comprensión del modo en que el cerebro humano resuelve los problemas matemáticos.

Bibliografía

- Dehaene, S. 1997. *The number sense: how the mind creates mathematics*. Nueva York, Oxford University Press.
- _____. 2014. *El cerebro lector: Últimas noticias de las neurociencias sobre la lectura, la enseñanza, el aprendizaje y la dislexia*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- _____. 2016. *El cerebro matemático: Cómo nacen, viven y a veces mueren los números en nuestra mente*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- Fuentes, A. 2001. "Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático", *Revista de Neurología*, 33(6), pp. 568-576.
- Lerner, D. 1992. *La matemática en la escuela. Aquí y ahora*. Buenos Aires, Aique.
- _____. "¿Tener éxito o comprender? Una tensión constante en la enseñanza y el aprendizaje del sistema de numeración", en Alvarado, M. y Brizuela, B. (comps.), *Haciendo números. Las notaciones numéricas vistas desde la psicología, la didáctica y la historia*. México, Paidós.
- Lerner, D., Sadovsky, P. y Wolman, S. 1994. "El sistema de numeración: un problema didáctico", en Parra, C. y Saiz, I. (comps.), *Didáctica de las matemáticas. Aportes y reflexiones*. Buenos Aires, Paidós.
- Rapin, I. 2016. "Dyscalculia and the Calculating Brain", *Pediatric Neurology*, 61, pp. 11-20.
- Sinclair, A. y Sinclair, H. 1984. *Las interpretaciones de los niños preescolares sobre los números escritos*. Human Learning, vol. 3, pp. 173-184. Traducción de Flavia Terigi.
- Terigi, F. 1992. "En torno a la psicogénesis del sistema de numeración: estado de la cuestión, perspectivas y problemas", *Revista Argentina de Educación*, 17.
- Terigi, F. y Wolman, S. 2007. "Sistema de numeración: consideraciones acerca de su enseñanza". *Revista Iberoamericana de Educación*, 43.
- Wolman, S. 1999. "Los algoritmos de suma y resta: ¿por qué favorecer desde la escuela los procedimientos infantiles?". *Revista del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Educación*, año VIII.

Los autores

Claudio Glejzer

Profesor en Ciencias Naturales ISFD N° 34. El Palomar, provincia de Buenos Aires. Magister en Neurociencias por la Universidad de Barcelona, España. Profesor Adjunto a cargo de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. Investigador integrante del UBACyT 2014-2017: “Tipos de alexia y agrafia en pacientes afásicos hispanohablantes” (Director: Aldo Ferreres. Co-directora: Valeria Abusamra).

Alejandra Ciccarelli

Doctora de la Universidad de Buenos Aires, especialidad en Química Biológica. Licenciada en Ciencias Biológicas, UBA. Profesora de Enseñanza Media y Superior en Biología, UBA-CEFIEC. Jefa de Trabajos Prácticos de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Adriana Maldonado

Profesora de Ciencias Naturales, Instituto Superior del Profesorado, Joaquín V. González. Licenciada en Enseñanza de la Biología, con gestión ambiental, por la Universidad CAECE. Docente de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Manuela Chomnalez

Licenciada en Ciencias Biológicas, UBA. Actualmente cursando el Doctorado en Ciencias Biológicas, especializado en comportamiento animal. Docente de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Florencia Bulit

Doctora en Ciencias Biológicas, UBA. Actualmente desarrolla sus trabajos de investigación en el Laboratorio de Comportamiento Animal en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Docente de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Carolina Facchinetti

Doctora en Ciencias Biológicas, UBA. Actualmente desarrolla sus trabajos de investigación en el Laboratorio de Comportamiento Animal en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Docente de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Analía Ricci

Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Buenos Aires. Investigadora Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Docente de la materia Biología: Comportamiento, Desarrollo y Aprendizaje, de la carrera de Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Marisol Domínguez

Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Buenos Aires. Actualmente desarrolla sus trabajos de investigación en el área de genética de la conservación en el Laboratorio de Ecología y Comportamiento Animal en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Docente de la materia Biología: comportamiento, desarrollo y aprendizaje, en la carrera de Ciencias de la Educación de la Facultad de Filosofía y Letras de la UBA.

