

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
VICERRECTORADO
CENTRO PSICOPEDAGÓGICO Y DE INVESTIGACIÓN EN
EDUCACIÓN SUPERIOR CEPIES



GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD
COGNOSCITIVA DEL *HOMO SAPIENS*

Una exploración a los arcanos del cerebro humano

Tesis de Maestría para optar el grado académico de Magister Scientiarum en Educación Superior
Mención: Educación Superior Universitaria

MAESTRANTE: LIC. ROBERTO AGUSTÍN HINOJOSA
PANIAGUA

TUTOR: MG. SC. IVÁN SALAZAR RODRÍGUEZ

LA PAZ – BOLIVIA

2023

Dedicatoria

A las patologías mentales,
puerta de ingreso al estudio del cerebro

Agradecimiento

A mis padres ...

A mi hijita Thelma ...

A mis profesores, maestros y amigos

A la música, el arte, la ciencia y la filosofía ...

A quienes estimularon el desarrollo de mi capacidad cognoscitiva

A todos ... ¡Gracias!

Resumen

Aprender es evolucionar. En todo proceso evolutivo subyace la interacción entre medio interno y medio externo del organismo. El desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* depende de la interacción entre naturaleza y cultura.

Nos interesa saber ¿Cómo evolucionó la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?, ¿Cómo se genera el conocimiento? Buscamos las respuestas explorando: la evolución del cerebro humano, la dinámica neuronal, la relación entre razón y emoción, y la atención.

Empleamos el método hermenéutico de investigación filosófica, el diseño cualitativo y técnicas de investigación documental. Encontramos que el prototipo de las células nerviosas es concomitante al desarrollo de los primeros organismos unicelulares y pluricelulares. Advertimos que la formación de un cerebro eficiente, capaz de aprender, memorizar y transmitir conocimiento, inicia hace más de dos millones de años con las primeras especies de género *Homo*.

En conclusión, la evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* depende de la co-evolución entre cerebro y cultura. El cerebro humano es dinámico y flexible, se renueva constantemente desde el nacimiento hasta la muerte, cambia y crece con el aprendizaje. Las emociones guían la conducta, la toma de decisiones y están presentes en todo proceso de conocimiento. Atención y distracción comparten las mismas redes neuronales, una se sobrepone a la otra. La triada: atención, emoción y razón es fundamental en todo proceso de enseñanza aprendizaje.

Palabras clave: evolución, capacidad cognoscitiva, cerebro, emoción, razón, atención

Abstract

Learning is evolving. Underlying every evolutionary process is the interaction between the internal environment and the external environment of the organism. The development of the cognitive capacity of Homo sapiens depends on the interaction between nature and culture.

We are interested in knowing: How did the cognitive capacity of Homo sapiens evolve? How is knowledge generated? We seek the answers by exploring: the evolution of the human brain, neuronal dynamics, the relationship between reason and emotion, and attention.

We use the hermeneutic method of philosophical research, qualitative design and documentary research techniques. We found that the prototype of nerve cells is concomitant with the development of the first unicellular and multicellular organisms. We note that the formation of an efficient brain, capable of learning, memorizing and transmitting knowledge, began more than two million years ago with the first species of the Homo genus.

In conclusion, the evolution of the cognitive capacity of Homo sapiens depends on the co-evolution between brain and culture. The human brain is dynamic and flexible, it is constantly renewed from birth to death, it changes and grows with learning. Emotions guide behavior, decision making and are present in every knowledge process. Attention and distraction share the same neural networks, one overlaps the other. The triad: attention, emotion and reason is fundamental in any teaching-learning process.

Keywords: evolution, cognitive ability, brain, emotion, reason, attention.

Tabla de contenido

Capítulo I: Introducción	12
<i>I. 1. Planteamiento del problema.</i>	<i>15</i>
<i>I. 2. Formulación del problema</i>	<i>21</i>
I. 2. 1. Problema general	21
I. 2. 2. Problemas específicos	21
<i>I. 3. Objetivos.....</i>	<i>21</i>
I. 3. 1. Objetivo general.....	21
I. 3. 2. Objetivos específicos	21
<i>I. 4. Justificación.....</i>	<i>22</i>
Capítulo II: Metodología	24
<i>II. 1. Hermenéutica: método de investigación filosófico.....</i>	<i>26</i>
<i>II. 2. Diseño de investigación</i>	<i>33</i>
II. 2. 1. Técnicas de investigación	34
II. 2. 1. 1. Técnicas generales.....	35
II. 2. 1. 2. Técnicas particulares:	35
II. 2. 2. Fuentes de información.....	36
II. 2. 3. Análisis lógico.....	37
Capítulo tres: Marco teórico	39
<i>III. 1. Génesis y evolución del sistema nervioso</i>	<i>40</i>
III. 1. 1. Primeros indicios sobre el origen de la célula nerviosa	40
III. 1. 2. Filogénesis del sistema nervioso en los vertebrados	42
III. 1. 2. 1. Phylum Cordata	43
III. 1. 2. 2 Subphylum vertebrata	44
III. 1. 2. 3. Estructura cerebral de los vertebrados	47
III. 1. 3. Ontogénesis del sistema nervioso en el <i>Homo sapiens</i>	51
III. 1. 3. 1 Neurogénesis	52
III. 1. 3. 2. Migración neuronal	54
III. 1. 3. 3. Sinaptogénesis	55
III. 1. 3. 4. Mielinización	56
III. 1. 3. 5. Reorganización sináptica.....	57
III. 1. 3. 6. Periodos críticos y sensibles	59
<i>III. 2. Estructura y Evolución Del Cerebro Humano</i>	<i>62</i>
III. 2. 1. El cerebro en la historia	62
III. 2. 2. La teoría del cerebro triuno.....	67

III. 2. 2. 1. El cerebro reptiliano	71
III. 2. 2. 2. El sistema límbico o cerebro mamífero	74
III. 2. 2. 3. El neocortex o cerebro racional	77
III. 2. 3. Lóbulos cerebrales.....	78
III. 2. 4. Estructura celular y transmisión de información genética.....	80
III. 2. 4. 1. Genes, estructuras moleculares de información biológica	81
III. 2. 4. 2. Genes y medio ambiente	82
III. 2. 4. 3. Variabilidad genética	83
III. 2. 5. Evolución de la capacidad craneana del género <i>Homo</i>	87
III. 2. 5. 1. La capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i> deviene de un proceso de coevolución entre cerebro y cultura	90
III. 2. 5. 2. Cazar en grupo es una habilidad cultural expresada ya en los predecesores del género <i>Homo</i>	92
III. 2. 5. 3. La domesticación del fuego impulsó el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i>	93
III. 2. 5. 4. Características particulares que impulsaron el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i>	97
<i>III. 3. Dinámica neuronal durante el aprendizaje</i>	100
III. 3. 1. Células nerviosas.....	100
III. 3. 1. 1. Células gliales.....	100
III. 3. 1. 2. Células neuronales	101
III. 3. 1. 2. 1. Morfología neuronal.....	103
III. 3. 1. 2. 2. Tipología de las células neuronales.....	105
III. 3. 2. Sinapsis	110
III. 3. 2. 1. Tipología de las sinapsis	110
III. 3. 2. 2. Dispositivos intrínsecos de comunicación sináptica.....	111
III. 3. 2. 3. La trasmisión de información depende de procesos inhibidores y excitadores	113
III. 3. 3. Plasticidad neuronal	114
III. 3. 3. 1. Plasticidad neuronal en la obra de William James	115
III. 3. 3. 2. Plasticidad neuronal en la obra de Santiago Ramón y Cajal	116
III. 3. 3. 3. Plasticidad neuronal en la obra de Jaerzy Kornowski.....	117
III. 3. 3. 4. Plasticidad neuronal en la obra de Erick Kandel	119
III. 3. 3. 5. Plasticidad y educación	119
III. 3. 4. Plasticidad y memoria en el caracol <i>Aplysia californica</i>	122
III. 3. 5. La estructura molecular de las neuronas cambia con el aprendizaje.....	126
III. 3. 5. 1. Transformaciones génicas durante la sinapsis	128
III. 3. 5. 2. La memoria a largo plazo depende de la expresión de genes.....	133
<i>III. 4. Cerebro Emocional y Capacidad Cognoscitiva</i>	137
III. 4. 1. Configuración del cerebro emocional	137

III. 4. 1. 1. Las emociones estimulan a la acción	138
III. 4. 1. 2. Órganos de la emoción	140
III. 4. 1. 2. 1. Tálamo	140
III. 4. 1. 2. 2. La amígdala	141
III. 4. 1. 2. 3. La Corteza cingulada	143
III. 4. 1. 2. 4. Hipotálamo	144
III. 4. 1. 2. 5. El córtex prefrontal	145
III. 4. 2. El circuito de las emociones	147
III. 4. 2. 1. Respuesta irracional ante un estímulo emocional.....	149
III. 4. 2. 2. Respuesta racional ante un estímulo emocional	151
III. 4. 3. Emociones y educación	152
III. 4. 4. La construcción del conocimiento depende de la interacción entre emoción, curiosidad y atención	156
III. 4. 4. 1. Las emociones como sustrato del conocimiento	158
III. 4. 4. 2. La curiosidad dirige la atención.....	162
III. 4. 4. 3. La curiosidad como método de conocimiento.....	164
III. 4. 5. La atención determina la realidad	166
<i>III. 5. Atención y Distracción.....</i>	<i>171</i>
III. 5. 1. El estudio de la atención	171
III. 5. 2. Modelos de atención basados en el sentido del oído	172
III. 5. 3. Modelo de redes propuesto por Posner.....	173
III. 5. 3. 1. Red posterior o de orientación.....	175
III. 5. 3. 2. Red de alerta	176
III. 5. 3. 3. Red anterior o ejecutiva.....	177
<i>III. 5. 4. Redes neuronales de la atención</i>	<i>178</i>
III. 5. 4. 1. El tálamo: receptor y distribuidor de información.....	180
III. 5. 5. Red neuronal por defecto (RND)	184
III. 5. 5. 1. El estudio de la actividad cerebral y la red neuronal por defecto	184
III. 5. 5. 2. Funciones de la red neuronal por defecto.....	187
Capítulo IV: Resultados, conclusiones y recomendaciones	192
<i>IV. 1. Resultados</i>	<i>193</i>
IV. 1. 1. Evolución del sistema nervioso	193
IV. 1. 2. Estructura y evolución del cerebro humano	194
IV. 1. 3. Dinámica neuronal y aprendizaje.....	195
IV. 1. 4. Cerebro emocional y desarrollo de la capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i>	196
IV. 1. 5. Redes neuronales de la atención	197
<i>IV. 2. Conclusiones.....</i>	<i>198</i>

IV. 2. 1. Evolución del sistema nervioso	198
IV. 2. 2. Estructura y evolución del cerebro humano	200
IV. 2. 3. Dinámica neuronal y aprendizaje.....	203
IV. 2. 4. Cerebro emocional y desarrollo de la capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i>	205
IV. 2. 5. Redes neuronales de la atención	210
IV. 2. 6. Origen y evolución de la capacidad cognoscitiva del <i>Homo sapiens</i> , reflejada en la educación.	212
<i>IV. 3. Recomendaciones.</i> –.....	213
REFERENCIAS.....	216

Índice de figuras

Figura 1. Cordado primitivo <i>Piaka gracilens</i>	44
Figura 2. Eras geológicas	47
Figura 3. Corte Horizontal del Encéfalo	48
Figura 4. Partes y Evolución del Cerebro de los Vertebrados.....	50
Figura 5. Vesículas Secundarias y Estructuras Derivadas	53
Figura 6. Diversas etapas de desarrollo de un neuroblasto	54
Figura 7. Corteza cingulada.....	69
Figura 8. Cerebro triuno	71
Figura 9. Cerebro reptiliano, base del encéfalo	72
Figura 10. Sistema límbico.....	77
Figura 11. Lóbulos cerebrales	79
Figura 12: Estructura de la célula de gen a DNA y cromosoma	80
Figura 13. Evolución del cerebro humano desde los primeros homínidos hasta nuestros días.	89
Figura 14. Tipología de las células gliales	102
Figura: 15 Estructura general de la neurona.....	105
Figura 16: Clasificación neuronal por forma	107
Figura 17: Clasificación neuronal por función.....	108
Figura 18: Clasificación neuronal por dirección del impulso nervioso	109
Figura 19: Mecanismos moleculares de la facilitación de corto y de largo plazo	130
Figura 20: Modificación sináptica	131
Figura 21: Mecanismos de la memoria a largo plazo	135

Figura 22: Circuito de información emocional.....	149
Figura 23: Redes atencionales Posner.....	175
Figura 24: Formación reticular	179
Figura 25: Modelo neurofuncional de la conciencia.....	181
Figura 26: Estimulación cerebral desde el sistema reticular activador ascendente	183

Capítulo I: Introducción

Aprender es evolucionar. En todo proceso evolutivo subyace la esencia del aprendizaje, expresado en el cambio y renovación constante de las condiciones de existencia. Cambio producido por la interacción entre medio interno y medio externo del organismo cuya máxima expresión es el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.

Dinámica inherente a la evolución de nuestra especie caracterizada por la interacción entre medio ambiente y cerebro, entre naturaleza y cultura. Donde, el desarrollo de la cultura impulsa el desarrollo del cerebro y viceversa.

Realizamos una exploración al pasado evolutivo de nuestra especie a través de uno de los órganos más importantes para la existencia y presencia del ser humano en el planeta. El cerebro. Nos interesa explicar el problema del conocimiento desde los arcanos de la naturaleza humana, irracional y racional a la vez. Nos interesa saber ¿Cómo evolucionó la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?, ¿Cómo se genera el conocimiento al interior de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*? Incógnitas confrontadas con el estudio intrínseco del cerebro, con la dinámica neuronal inherente al neurodesarrollo del encéfalo expresado en el cambio y renovación constante; explicado a través de la noción de plasticidad cerebral, neuronal o sináptica.

Recurrimos al método hermenéutico de investigación filosófica que permite sumergirse en el lenguaje y desde allí interpretar y traducir el lenguaje científico a un lenguaje sencillo y asequible. El diseño de investigación es cualitativo, no experimental y descriptivo.

Empleamos técnicas documentales para análisis de teorías, juicios, categorías y conceptos extraídos de la biología, la teoría de la evolución, la antropología, la teoría de la educación y la psicología.

Como resultado, “Génesis y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*”.

Describe los mecanismos inherentes que hacen a la evolución y funcionamiento del cerebro. Señala que los primeros organismos unicelulares y pluricelulares contienen el prototipo de las células nerviosas, cuya evolución se expresa en el sistema nervioso de todos los vertebrados. Sistema análogo a una red de comunicación entre medio interno y medio externo del organismo, que hace posible la evolución del reino animal y el aprendizaje.

Explora la estructura del cerebro a partir de la teoría evolutiva del cerebro triuno, según la cual el cerebro humano está formado por tres cerebros: el reptiliano, el mamífero y el neocórtex. Cada uno de ellos con características específicas y diferenciales, pero fuertemente conectados entre sí. Señalamos que el desarrollo de un cerebro eficiente, capaz de aprender, memorizar y transmitir conocimiento, inicia hace más de dos millones de años con las primeras especies de género *Homo*. Así mismo establecemos que desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* resulta de la interacción entre su cerebro y la cultura.

Expone la dinámica interna del cerebro mediante la descripción estructural y funcional de la neurona, célula nerviosa por antonomasia, a través del estudio de la sinapsis y la plasticidad cerebral presentes en todo proceso cognitivo. Describe los órganos cerebro emocional. Establece que la relación entre razón y emoción es una constante a hora de aprender, es más afirma que no hay razón sin emoción. Desde allí establece la importancia de las emociones a la hora de enseñar y aprender. Presenta la atención como cualidad determinante para todo proceso cognitivo, al tiempo que expone la Red Neuronal por Defecto como fuente de distracción que compite constantemente con la atención.

En suma, la evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* depende de la interacción entre medio interno y medio externo del organismo, expresada en el aprendizaje y adaptación constante. En la estructura anatómica y fisiológica del cerebro humano subyacen órganos filogenéticamente antiguos que datan de la época de los dinosaurios y de los grandes mamíferos como el tallo cerebral y la amígdala. Órganos que interactúan constantemente con el neocortex de formación reciente, donde se ubican las funciones de planificación y razonamiento propias del *Homo sapiens*.

El cerebro humano es dinámico y flexible, cambia con el aprendizaje. En él subyace la relación, constante, entre el cerebro emocional y racional. Mecanismo que guía la conducta y la toma de decisiones. Así mismo la atención guiada por la emoción y la curiosidad constituyen la base de todo conocimiento.

I. 1. Planteamiento del problema.

El *Homo sapiens* es producto de la evolución. Existen diferencias y similitudes entre ente el hombre y el resto de los animales que las vamos conociendo, asimilando y comprendiendo progresivamente a través de la educación formal e informal. Sea por analogía o por experiencia sabemos cómo funcionan los órganos y sistemas del cuerpo humano, conocemos su fisiología, en algunos casos su anatomía. Existe toda una cultura orientada al cuidado del cuerpo, del sistema cardiaco y el digestivo... Pero ... ¿qué ocurre con el cerebro? ¿cómo se formó? ¿cómo funciona? ¿cómo nos relacionamos con el principal órgano de conocimiento? ¿qué semejanzas y diferencias tiene con el resto de las especies de reino animal? Sabemos ... ¿cómo cuidar de él? ...

Existe un gran número de investigaciones orientadas al estudio de las patologías mentales, desde allí se abren las puertas al estudio de la “actividad normal” del cerebro. Actividad que genera nuevo conocimiento e integra diferentes áreas del que hacer humano como la filosofía, la psicología, la biología, la educación, la antropología, la economía, el marketing, la informática por mencionar algunas. Aunque, existe gran cantidad de información sesgada, mal interpretada y muy difundida sobre el funcionamiento del cerebro, caracterizada por su carácter novedoso y de fácil asimilación. Falacias que aluden al porcentaje de uso, a la posibilidad de incrementar la inteligencia, a la diferencia de género y uso de la capacidad cognoscitiva. Artificios mediáticos que convirtieron comentarios de personajes vinculados a la ciencia, así como resultados parciales de investigación en verdades absolutas sobre la actividad cerebral. Sin embargo, estas falacias fueron y están siendo rebatidas por investigaciones serias, complejas y en muchos casos orientadas a un público especializado.

En todo proceso de investigación existen dos posibilidades de aproximarse al objeto. Sumergiéndose en las causas u observando los efectos. Indudablemente estudiar las causas de un fenómeno permite explicar los efectos. En el caso que nos ocupa permite conocer ¿cómo se formó el cerebro humano?, ¿Qué semejanzas y diferencias tiene con el resto de los animales?, ¿Cómo funciona? ¿De qué partes está compuesto? Interrogantes orientadas a conocer (aunque parcialmente) la evolución del cerebro, su anatomía, su fisiología; al mismo tiempo, nos dan pautas para comprender el comportamiento humano. Naturalmente el estudio evolutivo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* está íntimamente relacionado con el problema del conocimiento.

El problema del conocimiento, es uno de los primeros objetos de reflexión filosófica. Saber ¿cómo se conoce?, ¿qué es el conocimiento?, ¿cómo se genera el conocimiento?, ¿por qué se conoce?, ¿para qué se conoce?, ¿cuándo se conoce?, ¿dónde se almacena el conocimiento?, ¿Cómo se relacionan emociones y pensamientos?, ¿cómo se transmite el conocimiento? ... Son interrogantes que estimularon la actividad de los primeros filósofos naturales o presocráticos hace 2 500 años atrás, en la antigua Grecia. Estas interrogantes sobre la posibilidad, origen y alcance del conocimiento marcaron el paso de la concepción mágico-religiosa a una explicación racional del mundo. Reflexiones que se funden con la dinámica del conocimiento e incrementan su valor en la historia del pensamiento. Hacen del conocimiento una de las preocupaciones constantes del que hacer filosófico desde su origen hasta nuestros días.

Problema estudiado por dos disciplinas filosóficas la gnoseología y la epistemología. La primera trata sobre la naturaleza, el origen y la posibilidad del conocimiento, en tanto que la segunda estudia la relación entre método científico, sus resultados y el criterio de verdad. La gnoseología estudia los sistemas de pensamiento que explican la realidad según la noción de conocimiento que subyace en diferentes épocas históricas

Así, para el dogmatismo todo conocimiento es posible, porque asume como verdaderos e incuestionables los conceptos, categorías y juicios en los que basa sus opiniones. El escepticismo, por el contrario, se caracteriza por desarrollar un sistema argumentativo que pone en duda el conocimiento. Para el idealismo, la realidad está en las ideas, estas permiten conocer el mundo material de una manera efectiva y certera. Aquí, el pensamiento determina la realidad. El racionalismo considera que la razón, independientemente de los sentidos, es la única fuente de conocimiento. En contraposición el empirismo afirma que la

experiencia, aquello que percibimos a través de los sentidos es la única forma de conocimiento. El positivismo sostiene que el conocimiento proviene de lo observable, de lo medible, de aquello que se repite constantemente y se convierte en objeto de investigación científica.

En este contexto, en el afán de establecer la certeza y el valor del conocimiento o de las interpretaciones del mundo surge el “método científico”. Cuya reflexión filosófica se emprende desde la “epistemología”. Disciplina filosófica que busca establecer la validez del conocimiento a través del estudio del método científico y su relación con el criterio de verdad, así como el análisis crítico de la descomposición crítica de las teorías científicas. Las principales corrientes epistemológicas son: el positivismo o empirismo lógico, el racionalismo crítico, la hermenéutica, el constructivismo, el postmodernismo, el criticismo y el sociocriticismo.

La historia escrita del cerebro se inicia con la cultura egipcia siglo XVI a C., quienes pese a ser una cultura cardiocentrista -consideraban al corazón como el órgano de conocimiento- describen y localizan algunas funciones cerebrales. Posteriormente en la antigua Grecia siglo IV a C, Alcmaenon filósofo griego perteneciente a la escuela de Pitágoras establece que el cerebro es el sitio de la mente y la parte más importante del organismo humano. Así mismo en el siglo V a C. Hipócrates, padre de la medicina occidental, sitúa al cerebro como el centro de las emociones. “Los hombres deberían saber que del cerebro y solo del cerebro, surgen nuestros placeres, alegrías, rizas y bromas, así como nuestras tristezas”. (Hipócrates)

Durante edad media entre los siglos V y XV d C., la mayor cantidad de registros escritos corresponde a la cultura islámica con Avicena, por ejemplo. Durante la misma época en

occidente las representaciones plásticas del Bosco grafican la práctica de trepanaciones craneanas. En el renacimiento entre los siglos XIV y XVI aparecen los primeros libros sobre neuroanatomía. En la edad moderna siglo XVIII, aparece la Frenología, cuya afirmación esencial sostenía que por medio del estudio de la forma y los contornos del cráneo podía deducirse la conducta del individuo. Durante el siglo XIX el descubrimiento de yacimientos arqueológicos pone en evidencia la práctica de trepanaciones craneanas en diferentes zonas del planeta. En el siglo XX aparecen diferentes teorías científicas que explican la estructura del cerebro como: la Doctrina de la neurona (Santiago Ramón y Cajal 1906), la Teoría evolutiva del cerebro triuno (Paul Maclean 1946), el Cerebro dividido (Roger Sperry 1960), la Teoría del cerebro total (Ned Herman 1994). Con todo no existe una teoría única o unificadora sino diferentes aproximaciones y/o explicaciones sobre el funcionamiento del cerebro.

Conocer cómo funciona el cerebro humano exige un recorrido por el pasado filogenético (origen y desarrollo de una especie), pasado recapitulado por la ontogénesis (desarrollo de un organismo) iniciado con la concepción entre óvulo y espermatozoide, proceso que termina con la muerte del individuo. De allí una de las dificultades para comprender al individuo. Pues el cerebro humano está compuesto por un pasado evolutivo protohistórico propio de la vida animal en general y del género *Homo* en particular. Así como de un pasado reciente que abarca la historia evolutiva de nuestra especie y más aún de un pasado ontogenético que abarca la historia individual de cada uno de los miembros de nuestra especie. En ambos casos el pasado (de la especie y del individuo) se ciernen sobre la existencia en forma de necesidades, habilidades y/o traumas.

Conocer la “Génesis y el desarrollo evolutivo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*” permite reflexionar sobre la complejidad de la naturaleza humana. Racional e irracional a la vez. Sustentada por la alternancia constante entre instintos, sensaciones, emociones y pensamientos que forman parte inalienable de la naturaleza humana. Entablar el diálogo entre consciente e inconsciente, entre pasado y futuro; pero anclados en el presente abre las puertas al conocimiento y cuidado de uno mismo. Condición *sine qua non* para ser y estar en el mundo para apropiarse de uno mismo, para guiar la propia existencia, para esculpir nuestro propio cerebro.

Cada vez con más acierto el estudio del cerebro se va impregnando en diferentes áreas del que hacer humano, tanto así que ha recibido el apelativo de Neurocultura (Francisco Mora, 2007). Empero la comprensión cabal de este paradigma exige conocer, aunque someramente, la estructura interna y las principales funciones del cerebro. Por tal razón, la reflexión sobre el cerebro exige un diálogo entre ciencias exactas (biología, física, matemática, neurología) y ciencias humanas (filosofía, teoría de la educación, psicología, antropología, historia). Diálogo expresado en la traducción del lenguaje científico, técnico y especializado a un lenguaje sencillo y asequible al público en general, aunque con marcado interés por sumergirse en los arcanos de nuestro cerebro. Estudiar la génesis y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* desde una perspectiva multidisciplinaria supone emular una de las actividades cardinales del cerebro, su capacidad de cambio y renovación constante. Es más, la difusión de resultados de estas investigaciones tiene la posibilidad de permear el inconsciente colectivo e instaurarse en la cultura, en el día a día, en la educación.

I. 2. Formulación del problema

I. 2. 1. Problema general

¿Cómo evolucionó la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?

I. 2. 2. Problemas específicos

- ¿Cómo se originó la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?
- ¿Cuáles son las características evolutivas del cerebro del *Homo sapiens*?
- ¿Cómo es la dinámica neuronal inherente al desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?
- ¿Cuál es la función de las emociones en el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?
- ¿Cuál es la herramienta principal para el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*?

I. 3. Objetivos

I. 3. 1. Objetivo general

Describir algunos mecanismos inherentes al funcionamiento de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*: registros evolutivos, sinapsis, plasticidad, relación razón emoción, atención.

I. 3. 2. Objetivos específicos

- Describir el origen de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.

- Identificar registros evolutivos inherentes al desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.
- Describir la dinámica interna del cerebro del *Homo sapiens*.
- Describir la función de las emociones para el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.
- Identificar aquellas características de la atención que la constituyen como el instrumento esencial en todo proceso de conocimiento.

I. 4. Justificación

A más de 2 500 años de permanencia, vigencia y renovación constante del problema del conocimiento. Conviene examinar la máxima socrática “conócete a ti mismo” que paulatinamente se transforma en el “cuidado de sí mismo” actividad que deviene en la “práctica de sí mismo”. Es decir, en el conocimiento, cuidado, y uso adecuado del cerebro.

La teoría de la evolución nos da algunas pautas para comprender la estructura del cerebro y abre paso al conocimiento de uno mismo. Ver el problema del conocimiento desde una perspectiva evolutiva, biológica y cultural desplaza la faz racional y acentúa la esencia racional – emocional del *Homo sapiens*. Permite observar el aprendizaje como una cualidad evolutiva inherente al reino animal, cualidad detonante en la transformación del cerebro animal al cerebro humano.

Transformación inacabada, hasta nuestros días, expresa la convivencia útil y necesaria entre el mundo animal y el mundo racional que habita en cada uno de los representantes de nuestra especie. Codependencia intrínseca a la naturaleza humana que permitió el

desarrollo de la cultura, el mito, el lenguaje, el arte, la religión, la filosofía, la historia y la ciencia. Pues el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* depende de la coevolución entre biología y aprendizaje, entre cerebro y cultura.

Tener conciencia que nuestro cerebro es el resultado de millones de años de evolución: permite comprender la naturaleza humana “racional e irracional a la vez”, permite distinguir entre sensaciones, emociones y pensamientos. Distinción que se abre paso a través del conocimiento de uno mismo ¿cómo funciona nuestro órgano de conocimiento?, del cuidado de uno mismo ¿cómo cuidamos de nuestro órgano de conocimiento? y con la práctica sobre uno mismo ¿cómo usamos nuestro órgano de conocimiento? Conocimiento y cuidado de si, que se traduce en el uso adecuado del cerebro, en la gestión de emociones y pensamientos, en el cuidado personal; en el día a día expresado en la alimentación, el ejercicio y el descanso.

Las investigaciones sobre el cerebro se relacionan con los más diversos ámbitos del que hacer humano desde el márketing, la informática, la lingüística, la educación, el deporte, etc. Con esta investigación pretendo abrir la reflexión sobre el conocimiento de sí mismo desde un punto de vista filogenético y ontogenético. Aportar a la discusión sobre el problema del conocimiento desde una perspectiva biológica, evolutiva, cultural y educativa. Esta reflexión busca identificar las características esenciales de la evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* y su aplicación en el ámbito de la educación. Al mismo tiempo busca despertar el interés de estudiantes, docentes y autoridades sobre la relación entre el sujeto y su cerebro, entre educación y desarrollo de la capacidad cognoscitiva del individuo.

Capítulo II: Metodología

Génesis y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*, tiene como objeto de estudio el órgano esencial del sistema nervioso, el cerebro. Nos aproximamos a él, a través del método hermenéutico de investigación filosófica, el diseño cualitativo y varias técnicas de investigación documental. Observamos nuestro objeto de estudio, el cerebro, a través de leyes, teorías, juicios, categorías y conceptos; elementos todos del conocimiento científico.

La estructura del lenguaje científico basado en un sistema de relaciones lógicas permite realizar proceso de análisis y síntesis de sus representaciones. Así mismo permite interpretar o traducir las proposiciones científicas a un lenguaje sencillo y asequible. En este caso toda reflexión sobre el cerebro, es sobre uno mismo, sobre el proceso de conocimiento, sobre lo que nos pasa por dentro, sobre la interpretación de la realidad.

De ahí que la complejidad del objeto de estudio será guiada por la *Hermenéutica* basada en la interpretación del lenguaje como método de investigación filosófica. Emplea el diseño cualitativo, descriptivo, exploratorio y no experimental, pues no controla ni manipula variables. Recurre a técnicas de investigación documental como instrumento de recolección de datos y profundiza en su estudio a través del análisis lógico de la información.

Acompaña la reflexión y explicación del objeto de estudio la lectura activa plasmada en el diálogo entre teorías, categorías del pensamiento científico y el investigador de este informe.

En la formulación del problema de investigación confluyen diferentes perspectivas de análisis sobre el objeto de estudio, como la teoría de la evolución, la biología, la antropología, la historia, la psicología y la teoría de la educación. En este encuentro de ciencias y disciplinas científicas se establece un diálogo en torno al problema del

conocimiento mediado por conceptos, categorías, juicios y teorías que se complementan, entran en tensión, o se excluyen mutuamente.

El trabajo del tesista, se enfoca en la interpretación y traducción de juicios, conceptos y teorías del lenguaje científico a un lenguaje accesible a las ciencias humanas, así mismo intenta establecer un diálogo entre ambos sistemas de pensamiento. A decir con (Quiroz, 2013), la comprensión de textos, supone la interpretación de la realidad porque el investigador construye y traduce la realidad, a través de su interpretación.

“El fenómeno de la traducción es el verdadero centro de la hermenéutica en este se confronta la situación hermenéutica básica que consiste en reconstruir el significado de un texto, trabajando con herramientas gramaticales históricas y de otro tipo para descifrar un texto antiguo” (Palmer, 2002).

II. 1. Hermenéutica: método de investigación filosófico.

La hermenéutica es la ciencia de la interpretación tiene sus raíces en la exégesis bíblica, filosófica, científica, existencial y cultural (Palmer, 2002, p. 53). Con fines metodológicos adoptamos aquí la propuesta heideggeriana “... la hermenéutica del Dasein” (Palmer, 2002, p. 63), comprendida como una ontología de la interpretación. Seguida de la “. . . hermenéutica del lenguaje [propuesta por Gadamer]” (Palmer, 2002, p. 65) comprendida como un proceso dialéctico, lingüístico e histórico que abre la posibilidad de construir un sustrato epistemológico entre conceptos, categorías y teorías que serán la base dialógica entre: texto y lector. Finalmente, con Ricoeur comprendemos la hermenéutica como “. . . un conjunto de signos [y símbolos] susceptibles de ser considerados como texto” (Palmer, 2002, p. 66). Desde allí se abre la posibilidad de establecer un diálogo entre teorías, juicios,

categorías y conceptos inherentes a las diferentes disciplinas científicas que forman parte de esta investigación.

Heidegger en su obra *Ser y tiempo* sitúa la exégesis hermenéutica desde la ontología. Inaugurada con la pregunta que interroga por “el ser”. Entiende la hermenéutica como la búsqueda del sentido de la existencia. Afirma, el autor, que una de las características esenciales de la naturaleza humana es su capacidad de comprender. Empero esta facultad no deviene por sí misma, sino a través de un profundo análisis sobre la naturaleza del ser, del objeto y del sujeto de conocimiento. En palabras de Heidegger se trata de comprender al objeto a través de la “Analítica Existencial del Ser Ahí”, del *Dasein*, el estudio del ser aquí y ahora.

Conocer el ser del objeto consiste en ingresar a un espacio y tiempo exento de cualidades subjetivas impuestas por el sujeto de conocimiento. Se trata de identificar el ser del objeto de conocimiento en el mundo, en la realidad, en su propia mismidad, en el aquí y el ahora. Conocer el objeto significa conocer el sentido del ente y comprender la esencia del ente en el mundo. Solo así, mediante el recorrido por la “Analítica Existencial del Ser Ahí”, se abre la posibilidad de conocer la estructura interna del ser del objeto, de entender el sentido de ser del objeto de conocimiento; lo que nos faculta a poder decir algo sobre él.

Por otra parte, el sujeto de conocimiento, debe identificar su posición en el mundo, su estar en el mundo a través del análisis de su propia existencia. Es, decir la constitución del sujeto de conocimiento deviene de un proceso de autoconocimiento, de constituir su Yo en el *Dasein* (aquí y ahora), en la inmediatez en la cotidianeidad. Sólo a partir del conocimiento de uno mismo, del conocimiento del ser del objeto se abre la posibilidad de entablar un

diálogo entre ambas posibilidades de existencia, entre sujeto y objeto de conocimiento.
Diálogo que permite comprender la esencia del objeto.

Para Heidegger “conocer” significa comprender la naturaleza del ser del objeto, más aún, conocer significa interpretar la realidad en el lenguaje. Pues para el filósofo alemán “el lenguaje es la casa del ser”. Es ahí donde se realiza el verdadero conocimiento del ser del objeto, donde se abre la posibilidad de interacción simbólica entre el Dasein del objeto de conocimiento y el Dasein del sujeto de conocimiento.

Una vez situados en la casa del ser “el lenguaje” seguiremos la línea de interpretación hermenéutica propuesta por Gadamer para quién el conocimiento se realiza en el lenguaje a través de la experiencia, la dialéctica hermenéutica y la ampliación del horizonte de significación. En el lenguaje se construyen relaciones de interpretación e interacción entre sujeto y objeto de conocimiento. Es allí donde se instaura el diálogo entre el ser del conocimiento y el ser del objeto de conocimiento. Mediante el lenguaje accedemos al mundo y se abre la posibilidad de construir y destruir realidades concretas o abstractas, tiene la facultad de trascender dimensiones temporales y espaciales. A través de él, del lenguaje, el pasado se hace presente en la interpretación hermenéutica del texto.

La experiencia del conocimiento está determinada por el dolor y la expectativa. Dolor expresado en la comprensión del texto expresado en un conjunto de sensaciones antagónicas de frustración y satisfacción, de placer y displacer, de acercarnos y alejarnos de la exégesis del texto. Todo ello gracias a la expectativa de conocer, comprender e interpretar la esencia del objeto de estudio.

En esta búsqueda de sentido se establece una lucha constante entre saber y no saber. Aquí toda pregunta en búsqueda del ser, orienta e ilumina la conciencia del no ser con la develación de la verdad y el sentido de la existencia del ser del objeto de conocimiento. El antagonismo entre saber y no saber se supera con la transformación del objeto en la conciencia, a través de la comprensión del ser del objeto en el lenguaje.

En consecuencia para conocer hay que tener presente (siempre y constantemente) “. . . saber que no sabes . . .” (Palmer, 2002, p.246) de lo contrario se corre el riesgo de caer en la construcción de supuestos que en lugar de acercarnos al conocimiento nos alejan de él. Por tanto, reconocer la ignorancia del propio sujeto de conocimiento permite el conocimiento de sí mismo, por una parte, y por la otra permite ubicar el ser del objeto en el mundo, en la realidad. Solo así podremos establecer el diálogo cuyo resultado exprese la construcción del sentido del ser del objeto de conocimiento.

Se trata pues de vivir una experiencia dialéctica concebida como la dinámica perpetua entre el saber y el no-saber. Reconociendo la propia ignorancia en la búsqueda de conocimiento, en la exploración constante orientada a comprender e interpretar la realidad. Este afán por desentrañar el sentido de la realidad ocurre en el lenguaje, por medio de la experiencia de escuchar y comprender el Dasein y el logos del texto (objeto) e integrarlo al Dasein del sujeto. Así la actividad del lector trasciende el hecho de reconocer signos lingüísticos, trasciende el propio hecho de conocer. Ahora leer consiste en escuchar, dialogar, interpretar y comprender. En última instancia, en palabras de Gadamer, el sentido del texto se produce en el diálogo hermenéutico entre ser del objeto y el ser del sujeto de conocimiento.

Esta experiencia dialógica consiste en sacar al texto de su petrificación, consiste en hacer presente la realidad y la experiencia del autor por medio de la interacción constante de preguntas y respuestas entre lector y autor; entre autor y lector. Preguntas realizadas en torno al objeto de conocimiento orientan el sentido de la lectura, determinan el resultado de la búsqueda y el sentido del texto. Para ello es necesario establecer diferencias básicas entre lo explícito y lo implícito, entre lo que se dice y lo que no se dice, entre el decir y lo dicho, se trata de leer entre líneas, entre faltas, entre ausencias. Así, el verdadero sentido del texto sale a luz en el lenguaje, antes que, en el entendimiento, este último se presenta como el instrumento que permite descomponer, trascender, recomponer, comprender e interpretar el verdadero sentido del texto.

Aquí la ignorancia se presenta como una negatividad creativa, “saber que sabes que no sabes” es la condición *sine qua non* para abrir paso a la comprensión hermenéutica del texto. El lector al reconocerse a sí mismo en el lenguaje, en el texto. Crea un sustrato epistemológico que permite reducir la brecha entre texto y lector. Se trata de construir un contexto, se trata establecer el horizonte de significación que determina el sentido del texto. Así el lenguaje se convierte en el locus epistemológico donde se devela el verdadero sentido del texto, donde se produce el proceso hermenéutico del conocimiento, del ser del objeto.

Por esta razón, en todo proceso de investigación, es necesario retornar siempre y constantemente a los objetivos, al planteamiento del problema, a la pregunta de investigación. Ellos nos orientan tanto en la búsqueda del sentido, como en la construcción del verdadero sentido del texto.

Desde un punto de vista hermenéutico, develar el sentido del texto deviene de una experiencia histórica, lingüística y dialéctica. Se trata de un proceso ontológico destinado a la comprensión e interpretación del ser del objeto de conocimiento. Empero esta forma de aproximación al ser del objeto no es universal, sino particular; así pues, para cada objeto de conocimiento debemos construir un sustrato epistemológico particular y auténtico. Más aún, mediante el análisis hermenéutico del texto es posible identificar diferentes sentidos en el discurso, es decir diferentes posibilidades de verdad en el mismo objeto de conocimiento

En toda experiencia hermenéutica el lenguaje se renueva constantemente en la comprensión e interpretación de conceptos, categorías y teorías. Es allí, en el lenguaje, donde se amplía el horizonte de interpretación entre texto y lector, entre autor y lector, es allí donde el lector ingresa en la profundidad del Dasein con el fin de integrarse fácticamente con el ser del objeto. Desde donde es posible conocer y explicar la naturaleza interna del objeto. Por esta razón el lenguaje más que un instrumento de comunicación es un vehículo de comprensión e interpretación hermenéutica del texto. Es el eje de articulación entre lector, autor y texto; se presenta como la condición *sine qua non* para la comprensión e interpretación del discurso.

En última instancia, el conocimiento hermenéutico es un proceso de renovación constante, pues cada vez que nos aproximamos a desentrañar el sentido de un texto lo hacemos en función a nuevas y renovadas inquietudes. Que a la vez que develan el verdadero sentido del ser del objeto develan ciertas características de nuestra naturaleza más íntima. Así conocer el objeto es conocerse a uno mismo, es identificar las posibilidades de acción que estamos dispuestos a asumir a la hora de realizar una investigación hermenéutica.

Finalmente, recurrimos al concepto de mimesis empleado por Ricoeur para comprender el sentido polisémico del lenguaje. Es decir, que el texto tiene múltiples significados y sentidos dependiendo de la perspectiva del observador. Por tal razón la transmisión de conocimiento, la asimilación del sentido del texto ocurre en la interacción dialéctica entre lector y autor del texto. Es ahí donde se produce una nueva construcción de la realidad, desentrañando el verdadero sentido del texto.

Como resultado de esta reflexión surge la siguiente propuesta metodológica de investigación hermenéutica.

En primer lugar, establecer la posición del sujeto de investigación en el mundo, en el sistema de relaciones que lo constituyen como ser ahí, en el lenguaje. Establecer la posición del objeto de investigación en el mundo, en el sistema de relaciones que lo constituyen como ser ahí, en el lenguaje. En ambos casos se trata de conocer la estructura interna de cada uno de los actores del proceso de conocimiento, para luego establecer un diálogo constante entre sujeto y objeto de conocimiento. Por esta razón, paralelamente al proceso de lectura e interpretación del texto, pondremos énfasis en la estructura interna del lenguaje.

En segundo lugar, asumimos una posición dialéctica desde donde interrogamos e interactuamos constantemente con el texto (objeto de estudio) mediante un proceso constante de preguntas y respuestas que guían la investigación. Se trata de interrogar constantemente al texto en función al problema de investigación. Ejercicio dialéctico replicado para cada capítulo, para cada concepto, para cada enfoque de investigación. En cada caso se construyen nuevas y renovadas preguntas.

En tercer lugar, siguiendo a Gadamer construiremos un horizonte de interpretación; desde donde será posible interpretar el verdadero sentido del texto. Así siguiendo a Ricoeur se abre la posibilidad de construir un sistema de conceptos, juicios y teorías orientados a explicar la génesis y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.

II. 2. Diseño de investigación

El diseño de investigación cualitativa es una alternativa para explicar la interacción entre individuos, sociedades y culturas. Analiza experiencias, documentos, textos, imágenes, descripciones; así mismo cuenta con una gran variedad de técnicas para acceder y explicar al objeto de estudio. Empleado por las ciencias del comportamiento, este diseño, se caracteriza por la flexibilidad metodológica a la hora de aproximarse al objeto de investigación. Aunque, “Si los métodos existentes no encajan con un problema o campo concreto, se adaptan o se desarrollan nuevos métodos o enfoques” (Flik, 2015, pp13).

En ese sentido “Génesis y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*” explora el cerebro desde una perspectiva evolutiva, biológica y cultural con la intención de interpretar, comprender y explicar el problema del conocimiento. Característica esencial del *Homo sapiens* que lo diferencia del resto de los animales, cualidad inherente a la naturaleza humana expresada en un conjunto de imágenes y símbolos. Estudiaremos la evolución de la capacidad cognoscitiva, enmarcado entre las antípodas de la razón y la emoción.

En ese afán escudriñaremos el pasado evolutivo del *Homo sapiens*, enfocados en el desarrollo de su capacidad cognoscitiva; indagaremos cómo se formó, que características nos aproximan y cuales nos alejan del mundo animal. Veremos cómo funciona el cerebro en el presente, en el momento del aprendizaje. Así mismo, intentaremos dar algunas pautas

orientadas a vislumbrar el futuro de nuestro cerebro e interpretar el comportamiento de nuestra especie. Desde esta perspectiva intentaremos inmiscuirnos en el mundo natural de nuestra especie. Pues, "... las investigaciones cualitativas estudian las cosas en su entorno natural intentando dar sentido a los fenómenos o interpretaciones desde el punto de vista de los significados que les dan las personas" (Flik, 2016, p. 20).

Realizamos este viaje a través de investigaciones procedentes de la teoría de la evolución, la biología, la antropología, la etología, la psicología y la teoría de la educación. A través del estudio de teorías, juicios, categorías y conceptos expuestos en: informes de investigación, publicaciones en revistas especializadas, imágenes, videos, conferencias y seminarios, entre otros. Cuya sistematización exige la revisión bibliográfica constante de investigaciones nuevas y antiguas, relacionadas directa o indirectamente con el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. Actividad que socava el problema de investigación, abre nuevas interrogantes que enriquecen la reflexión y el contenido de este informe. Empero los conceptos de evolución, estructura, función, cerebro ... guían constantemente la investigación.

II. 2. 1. Técnicas de investigación

Según (Bunge, 1997) la estructura de la investigación comprende dos etapas, en la primera se construye el armazón de la tesis, en la segunda se delinear las técnicas particulares de obtención de datos. En cada etapa subyace el análisis lógico y riguroso de conceptos y categorías científicas. Aunque, la dinámica inherente el objeto de estudio, *mutatis mutandis*, permite replicar este procedimiento al interior de la investigación. Añadimos a esta definición las fuentes de información y el análisis como instrumento de investigación.

II. 2. 1. 1. Técnicas generales

1. Surge la idea de investigación
2. Formulación del problema
3. Búsqueda de información
4. Delimitación del objeto de estudio
5. Identificación de categorías esenciales de estudio
6. Elaboración de un índice como hipótesis de trabajo
7. Sistematización y construcción del informe final

II. 2. 1. 2. Técnicas particulares:

1. Recolección de datos
 - a. Permanente
 - b. Técnicas documentales
 - c. Revisión bibliográfica/ navegación por internet
 - d. Lectura sistemática, analítica y crítica
 - e. Bitácora de trabajo
2. Ordenación y clasificación de datos
 - a. Categorización de la información

b. Establece relaciones entre conceptos esenciales

c. Genera preguntas que guían la estructura de la investigación

3. Sistematización conceptual

a. Construye el índice general

b. Construye el índice particular por capítulo

c. Construye esquema de redacción por capítulo, por subcapítulo

d. Confronta la formulación de nuevos problemas de investigación

4. Elaboración del informe final

a. Acción progresiva

b. Implica nuevas reflexiones

c. Técnicas de redacción

d. Emplea formato APA 7° edición

5. Flexibilidad de la investigación

a. Analiza problemas de investigación

b. Analiza concepto (objeto) desde diferentes perspectivas

c. Mejora técnicas particulares de investigación constantemente

II. 2. 2. Fuentes de información

Nuestras fuentes de información son: teorías científicas, artículos de investigación, tesis de posgrado, memorias de congresos, entrevistas, entre otros. Distinguimos entre fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias difunden información que no ha sido filtrada, interpretada, comentada o evaluada; presentan datos fiables y objetivos, comparten información nueva y original en revistas especializadas, actas de congreso, informes técnicos, monografías o resultados de experimentos. Las fuentes secundarias proceden de la investigación e interpretación de las fuentes primarias. Se trata de información accesible, sintetizada y reorganizada disponible en libros, revistas de difusión impresas y on line.

II. 2. 3. Análisis lógico.

El “análisis lógico” es una forma de investigación en sí misma; pues identifica mensajes subyacentes, otorga significados de acuerdo al contexto de investigación, genera nuevo conocimiento. Los procesos lógicos de análisis y síntesis que emplea son categorías inherentes al desarrollo de la Capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. Son herramientas que estimulan el desarrollo cognitivo y con él transforman la información en conocimiento.

El análisis, se inicia ya en el proceso de constante de revisión bibliográfica, oscila entre lo general y lo particular, entre teoría y concepto, entre el objeto de la investigación y los atributos del objeto. Identificamos y extraemos datos (teorías, juicios, categorías, conceptos, ejemplos) en formatos impresos y digitales, expuestos en libros, artículos de investigación, actas de congresos, conferencias y otros. La selección y clasificación de estos textos de investigación forman parte del contexto de investigación.

El análisis de información vinculado estrechamente a la lectura, consiste en: interrogar al texto; identificar su estructura; identificar las ideas centrales del autor; graficar los

conceptos esenciales e integrar estos pasos con el proceso hermenéutico de investigación filosófica. Antes de iniciar la lectura, como primer paso, conviene realizar una serie de interrogantes orientadas a identificar definiciones, funciones y/o relaciones entre conceptos y problemas de investigación. Como segundo paso identificamos la estructura gramatical del texto: descriptivo, argumentativo, explicativo, etc.; al mismo tiempo identificamos el sistema argumentativo: discusión, polarización o reflexión empleado por el autor. Como tercer paso identificamos conceptos esenciales, y las ideas centrales con las que el autor construye su sistema argumentativo. El cuarto paso consiste en graficar el texto, realizar mapas mentales. Actividad que permite observar el texto desde otra perspectiva: identifica ideas, conceptos, características de los mismos; al tiempo que establece relaciones con conceptos y problemas propios de la investigación. Finalmente, como quinto paso, incorporar el análisis hermenéutico, descrito en el acápite anterior, que nos da pie para la reflexión, interpretación y/o traducción del texto.

Con la sistematización y análisis de la información, el investigador crea una visión gráfica y sintética del texto, condensa la(s) idea(s) central(es) de investigación, separa lo útil de lo necesario. El investigador se presenta como intermediario entre el objeto de estudio y el público, en este caso entre tribunales de revisión de la tesis y objeto de estudio. El postulante desarrolla su capacidad intelectual, ordena conceptos, ideas; en algunos casos otorga nueva significación y sentido al objeto de investigación. Así, el investigador está ante la posibilidad de crear nuevo conocimiento al solucionar un problema, o presentar el problema del conocimiento desde una perspectiva particular y auténtica.

Capítulo tres: Marco teórico

III. 1. Génesis y evolución del sistema nervioso

Nuestro conocimiento es necesariamente finito,
mientras que nuestra ignorancia
es necesariamente infinita
Karl Popper

Los seres vivos coexistimos en interacción constante entre mundo interior y mundo exterior. Los cambios que afectan al planeta tierra, nuestra casa, modifican las condiciones de existencia de la vida. La génesis del planeta tierra deviene de la interacción constante entre corteza terrestre, atmosfera, hidrosfera y su correlación con la actividad solar y el movimiento de la luna (Sánchez Santillán et al., 1969 p. 35). Relación signada por cataclismos, glaciaciones, variaciones extremas de temperatura, erupciones volcánicas, separación de capas tectónicas, así como el impacto de meteoritos sobre la superficie terrestre. Eventos, todos, registrados en la historia geológica del planeta enmarcada en una serie de procesos fisicoquímicos que dieron paso a la formación de organismos unicelulares primero y pluricelulares después. Así toda alteración medioambiental del planeta influye en la estructura interna de los seres vivos.

III. 1. 1. Primeros indicios sobre el origen de la célula nerviosa

Hace 4 500 millones de años (Bonito et al., 2011) la tierra era una masa incandescente, atraía meteoritos y materiales cósmicos, de cuya acumulación forman parte el núcleo y la corteza terrestre (Pellini, 2015). Este influjo cósmico generó gran actividad volcánica, formó una densa atmósfera gaseosa rica en monóxido de carbono, metano, bióxido de azufre y bióxido de carbono. La concentración y condensación de gases produjo copiosas precipitaciones pluviales formando grandes cuerpos de agua (Anguita, 2011). Hace 3 500

millones de años, durante la era arqueozoica¹ la combinación de elementos orgánicos e inorgánicos genera el primer caldo nutritivo (Sánchez Santillán et al., 1969) compuesto por moléculas de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno cuya combinación genera los primeros indicios de vida. En estas condiciones, aparecen los primeros organismos unicelulares y pluricelulares como bacterias, algas y protozoos. Organismos capaces de transmitir material genético, realizar fotosíntesis y responder a estímulos del medio.

Según Rangel (2006) registros paleontológicos muestran que al finalizar la era *arqueozoica* aparecen los primeros animales pluricelulares de simetría radial con sistema nervioso simple. La estructura básica de estos organismos está formada por una célula nerviosa con dos terminales, una dirigida hacia la superficie sensible y la otra hacia la superficie motora (Rangel, 2006). Gracias a su estructura radial estos organismos forman redes nerviosas difusas que permiten actividades de desplazamiento, defensa y alimentación. “El sistema nervioso más simple estaría constituido por una célula con dos prolongamientos: uno en relación con la superficie sensible, o receptriz; y el otro con la motora o relacional” (Rangel, 2006, p. 2).

¹ Arqueozoica: Comienzan a caer las primeras lluvias que aportaron agua líquida que inundó las partes bajas de la tierra. En el agua aparecieron los primeros animales unicelulares, principalmente algas o bacterias. Una vez que surgió la vida, las reacciones biogeoquímicas entraron en escena y desencadenaron procesos de co-evolución entre todos los componentes en un prístino ecosistema terrestre, con una abundante diversidad de nichos por conquistar. La prueba más fehaciente de esta co-evolución es la diversidad metabólica entre las eubacterias o bacterias verdaderas y arqueobacterias o extremófilas (Margulis y Fester, 1991), que pese a su simplicidad estructural fueron funcionalmente tan complejas que pudieron aprovechar y modificar todos los tipos de sustrato –orgánico e inorgánico– para obtener energía y habitar en todos los ambientes del planeta, incluso los más extremos. El flujo entre todos estos subsistemas se relaciona de tal forma que un cambio en uno de ellos, por pequeño que sea, tiene la capacidad de producir mutaciones en todos los demás, razón por la cual asumir la evolución de la Tierra implica pensar en un sistema termodinámicamente abierto y fundamentado en la segunda ley de la termodinámica. (Sánchez-Santillán et al., 2014).

En principio, las formas unicelulares de vida no poseen un sistema nervioso en sentido estricto, sino que interactúan con el medio a través de su membrana citoplasmática ². En el caso de la amiba, por ejemplo, sí el medio externo presenta algún estímulo relacionado con alimento la membrana citoplasmática cambia su estructura, genera poros que permiten el paso del alimento hacia el interior del organismo. Lo propio, pero en sentido contrario, ocurre cuando la membrana impide el paso de elementos nocivos. También existen organismos unicelulares que se desplazan a través de flagelos, es el caso de los dinoflagelados presentes en el zoo y fitoplancton (Curtis et al., 2007, p.395).

III. 1. 2. Filogénesis del sistema nervioso en los vertebrados

La filogénesis, es el estudio de relaciones evolutivas entre especies que comparten un tronco común. Es el caso de los vertebrados para quienes Guerrero y Gonzales, en (W Garstang 1928)³, plantean la hipótesis que los vertebrados se originan de la larva de un tunicado (*Cephalocordado*), que no metamorfoseó, pero desarrolló gónadas funcionales y se reprodujo. Si bien, varios investigadores coinciden con Garstang no se registraron fósiles de esta especie. La solución a esta dificultad consistió en desplazarse de la metodología paleontológica hacia la biología molecular. Al estudio de los "... 'relojes moleculares' que sirve para estimar los tiempos de divergencia de los genes y de especies, con el objeto de discernir la historia evolutiva de la vida" (Hedges y Kumar, 2004) en (Guerrero Arenas & González Rodríguez, 2012, p.176).

²Membrana citoplasmática: Capa celular que separa el medio interno del medio externo de la célula.

³ Walter Garstang: Biólogo, ictiólogo especialista en temas larvarios, defendió que la evolución podía ocurrir independientemente en larvas y adultos y que la información filogenética se encontraría en las primeras. Por tanto, la aparición de novedades evolutivas se debía a alteraciones en la ontogenia y no a modificaciones del estado adulto. (https://es.wikipedia.org/wiki/Walter_Garstang)

III. 1. 2. 1. Phylum Cordata

Según el análisis de la técnica mencionada hace 630 millones de años evolucionó un "... nuevo patrón de desarrollo embrionario dando lugar a una nueva línea de animales, los deuterostomados que incluyen a dos *phyla* superficialmente diferentes: los equinodermos (*phylum Echinodermata*) y los cordados (*phylum Chordata*) que incluyen a los vertebrados" (Salhi, 2005, p.1). Las características fundamentales de los cordados son: 1. la notocorda, cordón precursor de la columna vertebral; 2. Cordón nervioso dorsal y hueco; 3. Hendiduras o bolsas faríngeas; 4. Cola postnatal (Curtis et al., 2007). El origen filogenético del *phylum Chordata* comprende tres *Subphyla*: *Urochordata* (tunicados), *Cephalochordata* (peces lanceta) y *Vertebrata* (vertebrados).

Los organismos del *subphyla Urochordata* son animales marinos; la mayoría son sésiles⁴ y el cuerpo está cubierto por un exoesqueleto. Su sistema nervioso es sencillo. Compuesto por un ganglio desde donde se proyectan dos grupos de nervios un grupo inerva la estructura sensible, el sifón bucal, en tanto que el otro inerva la musculatura faríngea y los órganos viscerales (Salhi, 2005).

Los *Cephalocordados* son animales largos y comprimidos en forma de pez también conocidos como lancetas o anfioxos. Son animales bentónicos⁵, sus cabezas salen de la arena hacia el agua, se alimentan filtrando partículas alimenticias en suspensión. El sistema

⁴ Sésiles: Organismo que vive fijado a una estructura, como una roca, una concha u otro organismo. "corales sésiles".

⁵ Bentos: Son animales que viven en el fondo de los cuerpos de agua mares, lagos, lagunas. La zona béntica es la región ecológica en el nivel más bajo de un cuerpo de agua, como un océano o un lago, incluyendo la superficie del sedimento y de algunas capas del subsuelo. Los organismos que viven en esta zona se llaman bentos. Por lo general, viven en estrecha relación con la parte inferior del substrato, y muchos de dichos organismos están permanentemente sujetos por su parte inferior.

nervioso de los anfioxos está formado por un cordón nervioso longitudinal hueco que se extiende desde el extremo del rostro hasta la base de la cola. La notocorda acompaña el recorrido de este cordón en toda su extensión; en el extremo apical presentan una mancha ocular, que detecta los cambios de luces y sombras, pero carece de cerebro propiamente dicho Salhi (2005).

La figura 1 muestra la reconstrucción artística de un Cordado Primitivo: *Pikaia gracilens* cuyos fósiles datan de unos 530 millones de años.

Figura 1. Cordado primitivo Pikaia gracilens



Nota: Especímen precursor de los vertebrados modernos. Representación artística

III. 1. 2. 2 Subphylum vertebrata

El *subphyla Vertebrata* se caracteriza por la presencia de: notocorda, cordón nervioso, desarrollo de la región cefálica (donde concentran gran parte de sus órganos sensoriales y el cerebro), hendiduras branquiales, esqueleto, y una cola postanal en alguna etapa de su desarrollo. (Khaner, 2007; Turner et al. 2010) en (Guerrero Arenas & González Rodríguez,

2012). Así mismo presentan cráneo, mandíbula y entre diez a doce pares de nervios craneales. Forman parte de este grupo peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Los primeros vertebrados aparecen en los grandes cuerpos de agua hace 500 millones de años durante la era paleozoica⁶. Es la era de los grandes peces, los anfibios y los primeros reptiles (Sánchez-Santillán et al., 2014). Durante este periodo los reptiles se adaptaron al medio terrestre, desarrollaron una articulación occipital que les permite mover la cabeza, así mismo modificaciones en su sistema placentario les permite incubar sus huevos en la tierra.

Durante la era *mesozoica*⁷ hace 250 millones de años (Rangel, 2006), una serie de eventos geológicos y atmosféricos: como la deriva continental, la formación de grandes cuerpos de agua, erupciones volcánicas y una marcada influencia del sol y la luna, modifican las condiciones de existencia de la vida en el planeta. El aumento progresivo de la exposición al sol sobre la línea del Ecuador, de 4 a 12 horas diarias, sumada a un incremento en la distancia entre la tierra y la luna reduce su influencia en la actividad de los cuerpos de agua. Este conjunto de fenómenos atmosféricos acentúa las posibilidades de existencia de nuevas formas de vida, se inicia una gran expansión del mundo animal y vegetal (Badii et al.,

⁶ Paleozoico: En esta etapa, se produjo la mayor explosión de vida, la cual coincidió con una bonanza climática en un proceso dinámico de co-evolución, aunado a la abundancia de mares someros y abiertos por la separación de las masas continentales, donde la temperatura promedio se estima en 22°C, lo que desencadenó el consecuente aislamiento de especies, las cuales se fueron diversificando filogenéticamente hasta conformar otras nuevas, proceso denominado vicarianza (Mayr, 1976) en (Sánchez-Santillán et al., 2014).

⁷ Mesozoico: Predominaron los climas cálidos, no hubo ninguna glaciación. Durante este periodo la deriva continental y la orogénesis, trajeron consigo un efecto fundamental en los climas de la Tierra, denominado sombra orográfica y, en consecuencia, una mayor diversidad de ambientes climáticos que funcionaron como nuevos nichos ecológicos. (Sánchez-Santillán et al., 2014).

2008). Los grandes reptiles dominan la tierra, junto a ellos coexisten peces, anfibios, insectos y pequeños mamíferos. Es la era de los dinosaurios.

El final de la era mesozoica está marcado por un cambio súbito en la composición de la atmósfera producto del impacto de un meteorito (con un diámetro aproximado de 10 Km) sobre la superficie terrestre. Hecho que generó una cadena de fenómenos cósmicos, geológicos y atmosféricos modificando las condiciones de existencia de la vida sobre el planeta. Una gran nube de gases enrarecidos envolvió gran parte del planeta, impidiendo el paso de luz, diezmando gran parte de la vida vegetal y animal. Se inicia un largo periodo de enfriamiento que dio paso a la génesis de grandes mamíferos (Badii et al., 2008).

Las especies sobrevivientes al *mesozoico* son las que se adaptaron rápida y eficientemente a los cambios generados por el impacto del asteroide. Hace 65 millones de años llegamos a la era *cenozoica*⁸ o de la vida reciente. En este periodo la fauna se compone por una gran cantidad de invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos dispersos entre mares y continentes. Los mamíferos se adaptan rápida y eficientemente a las nuevas condiciones del medio debido al desarrollo placentario de los neonatos (Badii et al., 2008). Los nuevos individuos nacen completamente formados (salvo excepciones de algunas especies marsupiales). Asistimos a la expansión de los mamíferos sobre el planeta. Figura 2.

⁸ Cenozoico: Los continentes continuaron su desplazamiento hasta alcanzar su distribución actual. Lo estructuralmente distinto, respecto a las anteriores etapas geológicas, son las variaciones de temperatura entre la línea del Ecuador y los polos. Variaciones de temperatura que juntamente con el movimiento de rotación de la tierra desencadenan la circulación general de la atmósfera, sobre todo en la tropósfera, porción particularmente importante para el desarrollo de la vida. En esta época aparece una gran cantidad de nuevas especies entre animales y plantas. (Sánchez-Santillán et al., 2014)

Figura 2. Eras geológicas



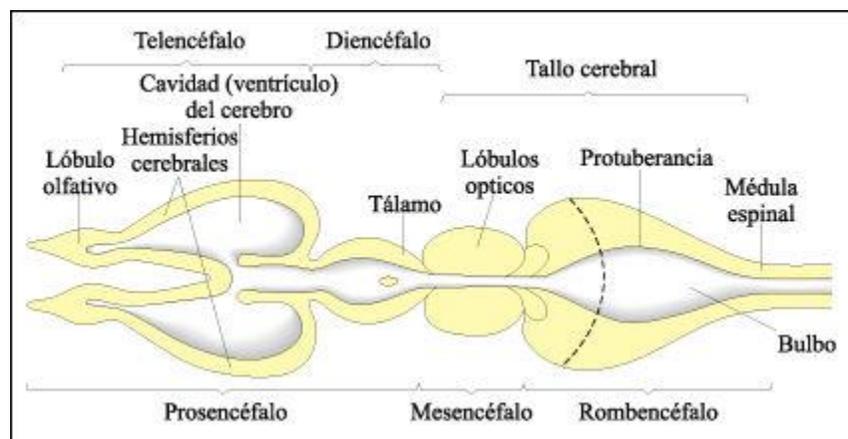
Tomado de <https://www.mindomo.com/es/profile/id/y6fkS9>

III. 1. 2. 3. Estructura cerebral de los vertebrados

La evolución del cerebro en los diferentes clases de vertebrados sigue el mismo patrón de construcción "... se inicia con tres protuberancias en el extremo anterior del tubo neural hueco" (Curtis et al., 2007, p. 772). La estructura básica del sistema nervioso central en vertebrados está compuesta por el encéfalo y el tubo dorsal. El encéfalo, controla y coordina la actividad de todo el organismo mediante el sistema nervioso y la transmisión de impulsos nerviosos. El encéfalo presenta tres cavidades: el prosencéfalo, el mesencéfalo y el rombencéfalo (figura 3).

El procencéfalo incluye al telencéfalo y al dicencéfalo. El telencéfalo en peces está relacionado con la información olfatoria. La estructura más prominente del telencéfalo es el cuerpo estriado, relacionado con el control de comportamientos complejos. En los mamíferos, la porción central del telencéfalo, se distribuye entre los hemisferios cerebrales, es la más grande respecto a otras partes del encéfalo (Curtis et al., 2007).

Figura 3. Corte Horizontal del Encéfalo



Nota: Tomado de (Curtis et al., 2007)

Siguiendo a Curtis (2007) el diencéfalo, comprende el tálamo y el hipotálamo el primero encargado de las funciones superiores y el segundo asociado con impulsos y emociones. El tálamo es el centro de comunicación entre el tallo cerebral y las funciones superiores del cerebro. El hipotálamo se encarga de las funciones de reproducción, alimentación, placer, dolor e ira.

El mesencéfalo forma parte del tallo cerebral y del cerebelo, está vinculado al desarrollo del sentido de la vista. La articulación entre el mesencéfalo y la corteza cerebral permite el

control de procesos voluntarios de ventilación. En los mamíferos el mesencéfalo está vinculado con los actos reflejos en los cinco sentidos.

Rombencéfalo y mesencéfalo forman parte del tallo cerebral. Esta estructura se caracteriza por el ensanchamiento de su parte ventral que actúa como puente de comunicación entre los hemisferios cerebrales. Así mismo presenta una serie de haces nerviosos que comunican el tallo cerebral con la corteza cerebral de los mamíferos (Curtis et al., 2007).

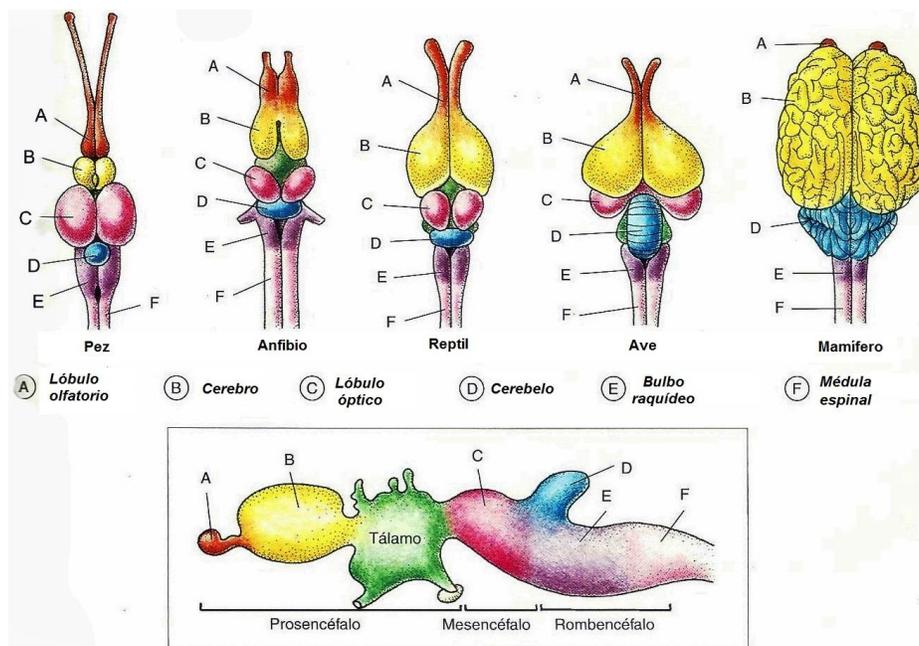
Los peces son los primeros vertebrados en poseer un sistema nervioso, tienen un cerebro pequeño en relación a su cuerpo, Presentan dos lóbulos olfativos, dos lóbulos ópticos, un cerebelo y un bulbo raquídeo. Los lóbulos olfativos ubicados en la parte anterior del encéfalo reciben estímulos olfatorios, los lóbulos ópticos ubicados en la parte media perciben estímulos visuales, el cerebelo percibe varios estímulos del oído y de los órganos del equilibrio. El bulbo raquídeo atraviesa toda la espina dorsal, es donde se encuentra el cuerpo de las células nerviosas, estas células coordinan los movimientos natatorios y el reflejo de huida asociado al diencéfalo (Fernández, 2012).

En los reptiles el encéfalo está más desarrollado con variaciones estructurales de acuerdo a la especie; los lóbulos ópticos y olfatorios incrementan la capacidad de ambos sentidos, en especial el sentido del olfato. De acuerdo con Chu Lee, 2015 los reptiles presentan una nueva estructura denominada ojo parietal o tercer ojo; se trata de un órgano termosensible y quimiorreceptor que identifica la presencia de presas y predadores en los alrededores (Sistema Nervioso En Vertebrados, 2015) y (Chú Lee et al., 2015). Al mismo tiempo se desarrolla una gran cantidad de terminaciones nerviosas en toda la superficie del cuerpo. En especies de mayor tamaño el encéfalo está cubierto por una capa denominada neopallio

(Papaini, Mauricio R. Salas, 1999). A partir de la cual se forma la corteza cerebral en los mamíferos.

EN el cerebro mamífero se distinguen claramente dos hemisferios cerebrales cubiertos por el neopallio (Azcarate Bang, 1973). El neopallio coordina y centraliza funciones motoras y sensitivas, en ella se distinguen gran cantidad de receptores sensoriales tanto en el interior como en el exterior del cuerpo que permiten captar sensaciones de calor, dolor, presión, temperatura, etc. El desarrollo del neopallio estimula la eficacia de la memoria olfativa, la percepción y distinción de sensaciones de placer y displacer, así como el cuidado de las crías después del nacimiento (Papaini, Mauricio R. Salas, 1999) y (Kardong, 2007). Con ello se inicia la capacidad de aprender a través de la experiencia. La figura 4, compara el cerebro de los vertebrados y muestra el desarrollo y evolución del cerebro.

Figura 4. Partes y Evolución del Cerebro de los Vertebrados.



Nota: Tomado de (Curtis et al., 2007)

III. 1. 3. Ontogénesis del sistema nervioso en el *Homo sapiens*

En el periodo embrionario, comprendido desde la tercera hasta la octava semana de gestación, se inicia la formación de "... las tres hojas germinativas endodermo, mesodermo y ectodermo [que] dan origen a sus propios tejidos y sistemas orgánicos. (...) [en este periodo] se establecen los principales caracteres del cuerpo" (Lagman, J., Sadler, T. W., 2001, p. 107). La hoja germinativa del *endodermo* forma el tracto gastrointestinal, el aparato respiratorio, la vejiga urinaria, las glándulas tiroides y paratiroides, el hígado el páncreas, la cavidad del tímpano y la trompa de Eustaquio. La hoja germinativa del *mesodermo* forma el tejido conectivo compuesto por cartílagos, huesos y el sistema muscular, también participa en la formación del sistema sanguíneo, el aparato reproductivo, los riñones, la glándula suprarrenal y el bazo. La hoja germinativa del *ectodermo* da origen al sistema nervioso central y periférico, los ojos, el epitelio sensorial de la nariz, la epidermis que comprende pelos, uñas y el esmalte dentario, también comprende órganos como la glándula mamaria, y la hipófisis.

El sistema nervioso está formado por dos tipos de células nerviosas: glías y neuronas. Las glías guían a las neuronas durante el proceso de migración celular, sostienen a las neuronas, forman parte de la estructura del encéfalo, son células fagocitarias y refuerzan las conexiones interneuronales.

Las neuronas, son las células nerviosas por antonomasia, su función esencial es la transmisión de información a través de redes y circuitos interneuronales que van desde los órganos de los sentidos al cerebro (sistema aferente) y desde el cerebro hacia los sentidos

órganos y músculos (sistema eferente). De estas células depende la transmisión de información sensorial, emocional y/o racional.

La gestación, evolución y organización del cerebro es un proceso heterocrónico⁹ con marcadas diferencias estructurales y fisiológicas. Durante este proceso destacan las expresiones génicas¹⁰, así como la interacción constante entre mundo interior y exterior del individuo (Coll-Andreu, 2011). Los hitos más destacados de la maduración neuronal son: procesos de neurogénesis, migración, sinaptogénesis, apoptosis, reorganización sináptica, mielinización, así como periodos críticos y sensibles asociados con la experiencia.

III. 1. 3. 1 Neurogénesis

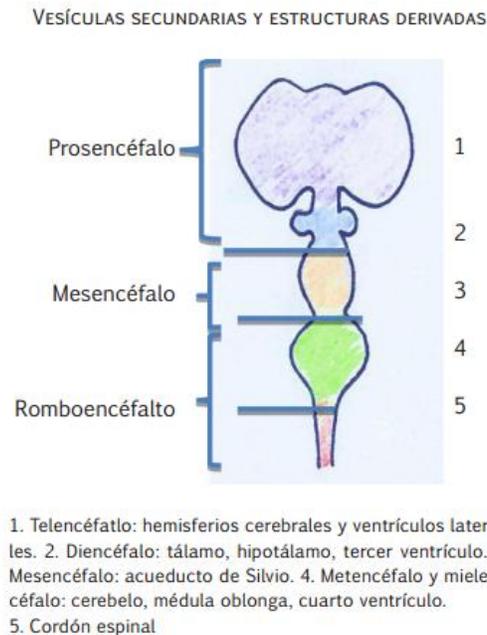
La neurogénesis, nacimiento de neuronas, se inicia a partir de la tercera semana de desarrollo embrionario, comprende dos procesos paralelos la formación del encéfalo por una parte y del sistema nervioso por la otra. La formación del encéfalo corresponde al crecimiento de la capa germinativa del ectodermo engrosa y dilata su forma circular hasta alcanzar una forma oblonga, más larga que ancha. Una línea media atraviesa la palca en sentido longitudinal, asistimos a la formación del tubo neural cuyo extremo superior se denomina neuróporo craneal y el inferior el neuróporo caudal (Lagman et al., 2001). Ambos extremos de la línea difieren en grosor, la parte apical, más ancha que la caudal, origina las vesículas cerebrales y la parte caudal más estrecha la médula espinal. Las

⁹ Heterocrónico: Se entiende por heterocronia aquellos cambios evolutivos que ocurren como resultado de alteraciones en el desarrollo del organismo, ya sea afectando el ritmo de crecimiento, la edad de maduración sexual o el momento en que determinado carácter comienza a manifestarse (Agustí 2010)..

¹⁰ Expresión de genes: Transformación de información genética o activación de genes propia de la construcción de un fenotipo o individuo nuevo.

vesículas cerebrales (Figura 5) se identifican como cerebro anterior o prosencéfalo, cerebro medio o mesencéfalo, y el cerebro posterior o metencéfalo (Organ, 2012).

Figura 5. Vesículas Secundarias y Estructuras Derivadas



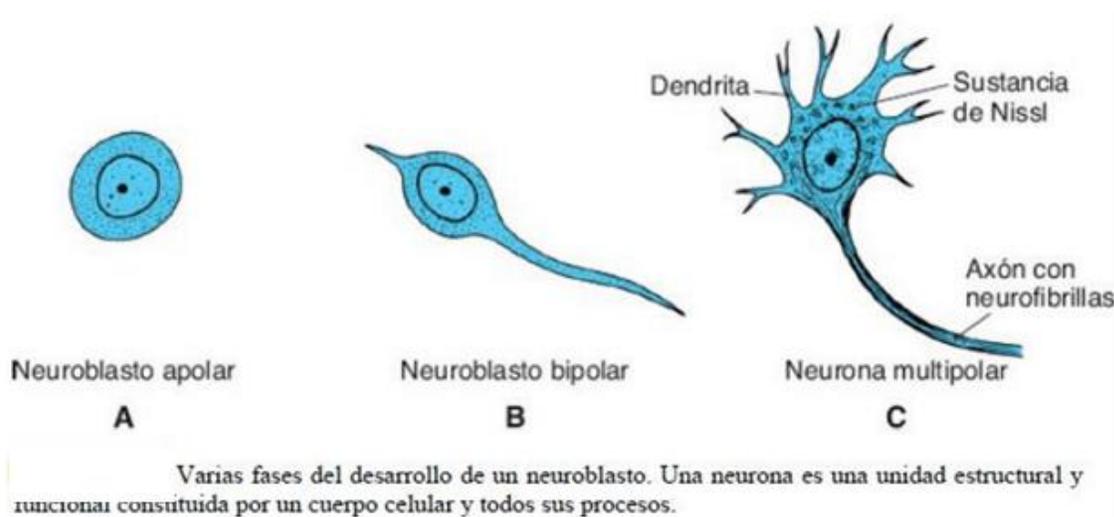
Nota: Tomado de (Organ, 2012).

Las neuronas se originan por división de células neuroepiteliales que dan lugar a los neuroblastos (células neuronales) y los glioblastos (células gliales) (Figura 6). En primer lugar, se forma el neuroblasto apolar, células de forma circular, sin diferenciación. A partir de estas células se forman las prolongaciones citoplasmáticas que dan lugar a los neuroblastos bipolares. Células con dos extensiones diametralmente opuestas, en un extremo presenta la prolongación del cilindro eje axonal y en el otro las prolongaciones dendríticas (Lagman, J., Sadler, T. W., 2001 p. 405).

En segundo lugar, según Lagman (2000), finalizada la producción de neuroblastos, las células neuroepiteliales dan origen a células de sostén, denominadas glías, glioblastos o

astrocitos. Estos se diferencian en astrocitos plasmáticos y astrocitos fibrosos. Los astrocitos plasmáticos son células fagocitarias, desempeñan un papel central en la fase de apoptosis y reorganización neuronal. Los astrocitos fibrosos o neuroglías son células de sostén encargadas de sujetar a las neuronas y consolidar los sistemas de transmisión de información en las sinapsis.

Figura 6. Diversas etapas de desarrollo de un neuroblasto



Nota. Recuperado de (Lagman et al., 2001).

Durante la neurogénesis se produce una gran cantidad de células neuronales sobrepasando entre un 30 a 70% el número de neuronas en una persona adulta. La sobreproducción inicial de neuronas se autorregula durante el periodo perinatal y la adolescencia. En ambas etapas se reorganiza el cableado sináptico, sea por falta de uso o por ausencia de conexiones interneuronales.

III. 1. 3. 2. Migración neuronal

La migración neuronal es el recorrido realizado por las neuronas desde su origen en las células neuroepiteliales hasta llegar a su posición definitiva en el cerebro, en el sistema nervioso central o en el sistema nervioso periférico. Este fenómeno ocurre entre el tercer y quinto mes de gestación cuando las neuronas se encuentran en estado de neuroblasto apolar; cuando aún no poseen axones y dendritas. Para este propósito las células gliales forman redes que guían el desplazamiento neuronal. Su posición definitiva coincide con la maduración fisiológica y anatómica del organismo, así los axones brotan durante la migración y las dendritas se desarrollan cuando llegan a su posición final (Rohlf, 2016). También aquí destaca el carácter heterocrónico de maduración cerebral puesto que la migración se produce en diferentes etapas de desarrollo.

III. 1. 3. 3. Sinaptogénesis

La sinaptogénesis se inicia el último trimestre de gestación y se extiende durante la primera infancia, hasta entrados los dos años (Rohlf, 2016). Se trata del primer estadio de conexiones neuronales destinados a sustentar la ulterior organización de transmisiones sinápticas. Paralelamente a este desarrollo neuronal corre la fase de crecimiento axonal o axogénesis y la proliferación de dendritas, ambos fenómenos relacionados con factores de crecimiento neurotrófico, como las neurotrofinas. Así mismo, en muchos casos la emisión de neurotransmisores funciona como factor trófico para el desarrollo de terminales neuronales facilitando las transmisiones sinápticas.

Durante la primera etapa de consolidación de transmisiones sinápticas se forman las primeras estructuras del sistema nervioso encargadas de regular diferentes procesos fisiológicos como el ritmo cardiaco, la respiración y la digestión. Así mismo, se consolida

el primer entramado de conexiones sinápticas encargadas de responder a demandas medioambientales. Se configuran los circuitos sinápticos destinados a reconocer imágenes, sonidos como la voz y el rostro de la madre, el movimiento de los ojos y la cabeza, los primeros movimientos de las extremidades (Rohlf, 2016).

Este periodo de germinación sináptica, paralelo a la maduración neuronal se caracteriza por una sobreproducción de conexiones sinápticas que se extiende desde el final del tercer trimestre de vida intrauterina hasta los dos años de edad. Esta red primigenia de conexiones sinápticas establece las bases para el ulterior desarrollo de un sistema de conexiones neuronales eficaces capaz de solventar las necesidades de cambio y adaptación constante.

III. 1. 3. 4. Mielinización

Río (2005), la mielina recubre los axones y fortalece las conexiones sinápticas. Es una capa aislante producida por las células de *Schwann* en el caso del sistema nervioso periférico y por las *células gliales* en el sistema nervioso central. La mielinización ocurre entre la decimosegunda y decimotercera semana de gestación, se inicia en regiones caudales, raíces de la medula espinal y el troncoencéfalo, desde allí se dirige progresivamente hacia el cerebro. Es un fenómeno que se extiende hasta entrados los treinta años; está en función al desarrollo integral del organismo, a la interacción con el medio ambiente y fundamentalmente al aprendizaje. Fortalece conexiones sinápticas inherentes a la respiración, la digestión, el ritmo cardiaco asociadas con el sistema nervioso autónomo (Río et al., 2005).

Así mismo la mielinización fortalece las conexiones sinápticas encargadas de operar procesos de conocimiento como el lenguaje, la motricidad fina, el cálculo matemático entre

otros (Rohlf, 2016). En zonas cortico espinales la mielinización termina a los dos años, la del cuerpo calloso culmina en la adolescencia, en zonas corticales encargadas de las funciones ejecutivas como el lóbulo temporal termina a los treinta años (Río et al., 2005).

III. 1. 3. 5. Reorganización sináptica

El proceso de reorganización sináptica, poda sináptica o apoptosis es un fenómeno heterocrónico que ocurre en diferentes fases del desarrollo, incluso durante la edad adulta, así como en diferentes zonas del cerebro. Domínguez, (2016) anota "...en el ser humano se ha constatado poda sináptica durante la infancia, entre los seis meses postnatales y los siete años de edad (Huttenlocher, 1979)" citado en (Rohlf, 2016).

Durante la reorganización sináptica las células gliales fagocitarias participan activamente en la eliminación de residuos neuronales y sinápticos producidos por la apoptosis en el primer caso y la poda neuronal en el segundo. Recordemos que durante la neurogénesis y la sinaptogénesis existe una sobreproducción de neuronas y conexiones sinápticas que deben ser reguladas para el normal funcionamiento del organismo. La regulación neuronal, o muerte celular programada también conocida como apoptosis ocurre en diferentes etapas de desarrollo "... durante el primer trimestre de desarrollo prenatal y el sexto mes posnatal..." (Rohlf, 2016, p. 23). Al regular el número de neuronas se corrige el número de conexiones sinápticas, incrementando la eficacia y el normal funcionamiento del organismo (Coll-Andreu, 2011).

En la reorganización sináptica subyace el principio de plasticidad sináptica; toda vez que producto de la apoptosis y la poda sináptica, las neuronas están habidas de restablecer y reforzar conexiones preexistentes, así como de instaurar nuevas y renovadas conexiones

interneuronales, entre circuitos y redes neuronales, entre capas y áreas cerebrales. La renovación de circuitos sinápticos involucra cambios genómicos y no genómicos, el primer caso refiere cambios permanentes en la estructura molecular de la célula nerviosa; en tanto que en el segundo caso los cambios son pasajeros.

En ambos casos, el detonante para establecer nuevas conexiones sinápticas es la experiencia, entendida como un tipo específico de influencia ambiental sobre el sistema nervioso. Ciertamente la reorganización sináptica depende de la información procedente de los sentidos, de la manipulación de objetos, del contacto visual y corporal entre miembros de la misma especie, de las relaciones conductuales de premio y castigo, así como de conductas de imitación. Según (Grenough & Black) 1992 la plasticidad sináptica en función a la experiencia se clasifica en: “1. Independiente de la experiencia, 2. Expectante de la experiencia y 3. dependiente de la experiencia” en (Coll-Andreu, 2011).

Para Coll Andreu la plasticidad sináptica independiente de la experiencia, refiere cambios genéticamente programados, sin participación de la experiencia, es el caso de las conexiones sinápticas de niveles sensoriales básicos como el sistema nervioso autónomo encargado de regular las funciones del sistema cardiaco, respiratorio y digestivo. En la plasticidad expectante de la experiencia las conexiones sinápticas están en estado latente, atentas al contacto con la experiencia o influencia externa para activar conexiones sinápticas vinculadas, por ejemplo, con el lenguaje articulado, el sentido de la vista o las emociones, por mencionar algunas. La plasticidad dependiente de la experiencia hace referencia a cambios progresivos generalmente vinculados a procesos de aprendizaje con énfasis en la niñez y la adolescencia, su presencia destaca en proceso de aprendizaje. En efecto la plasticidad expectante de la experiencia se extiende a lo largo de todo el arco vital

de individuo, puesto que es la experiencia de lo cotidiano, del aprendizaje en sí mismo que activa las múltiples posibilidades de interconexión sináptica. Así la experiencia es el umbral para el desarrollo de un infinito número de conexiones sinápticas plasmadas en el desarrollo del lenguaje articulado, en la explicación y construcción de la realidad, en una palabra, en las múltiples posibilidades de aprendizaje (Coll Andreu, 2011).

III. 1. 3. 6. Periodos críticos y sensibles

En los periodos críticos la conexión neuronal de áreas específicas de aprendizaje está en estado latente. Se preparan las condiciones anatómicas y fisiológicas, para la interconexión neuronal. Durante esta etapa, las neuronas están predisuestas a responder a estímulos externos y formar relaciones sinápticas precisas.

Durante los periodos sensibles las neuronas maduras establecen circuitos neuronales estables en correspondencia con las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del individuo. En una primera etapa son procesos como el de reconocer la voz e la madre, succionar, deglutir, caminar, hablar, entre otras. En este periodo las células nerviosas presentan una mayor disposición para generar o renovar nuevos y diferentes circuitos neuronales tanto en procesos de aprendizaje y memoria como en la consolidación del conocimiento y la expansión creativa.

También durante los periodos sensibles las neuronas están dispuestas a formar nuevas conexiones destinadas al aprendizaje abstracto: incrementar el uso del lenguaje y el cálculo matemático, a desarrollar habilidades sociales, a conocer el mundo a través de las emociones, a percibir la esencia de los valores como parte constitutiva de la naturaleza humana. Es la época en la que se inicia el conocimiento de uno mismo. Este periodo

transcurre a lo largo de la historia de cada ser humano, coincide con periodos fisiológicos como el paso de la niñez a la infancia, de la infancia a la adolescencia, de la adolescencia a la madures y es transversal a la naturaleza humana.

Con todo advertimos que la maduración neuronal comprende un entramado de eventos anatómicos, fisiológicos y conductuales destinados a preparar el cerebro para desarrollar óptimamente habilidades de conocimiento y aprendizaje para la existencia del individuo. De manera puntual, el aprendizaje de un idioma diferente a la lengua materna muestra la diferencia entre ambos periodos. Quienes aprenden una segunda lengua antes de la adolescencia disponen de una fluidez natural en la articulación y fonación. En tanto que quienes lo aprenden después de la adolescencia presentan el dejo característico de su lengua materna (Ortiz, 2009). Es el caso del ex presidente de Bolivia Gonzalo Sánchez de Lozada o del exgobernador del departamento de La Paz Felix Patzi; en ambos casos arrastran el dejo característico del inglés y el aimara respectivamente.

Así, conocer es evolucionar, es transformar las estructuras internas del organismo en función al medio ambiente, es también transformar el medio en función a las necesidades del ser humano. La acumulación de habilidades evolutivas sumadas al desarrollo del cerebro, hacen del *Homo sapiens* una especie única que aprende, acumula, aplica y transmite el conocimiento adquirido. Cualidades susceptibles de desarrollar en cada uno de los miembros de nuestra especie.

La evolución del cerebro humano marca la diferencia entre el hombre y el resto de los animales. Distinción acompañada por una serie de transformaciones orgánicas y artificiales como la posición bípeda, la visión binocular, la conquista y manipulación del fuego, el

cambio de dieta, el cuidado de la prole, la construcción del espacio social y el desarrollo del lenguaje, entre otras. Esta combinación entre lo orgánico y lo artificial, entre lo biológico y lo cultural fue crucial para el desarrollo del lenguaje, y el despegue de la capacidad cognitiva.

III. 2. Estructura y Evolución Del Cerebro Humano

El verdadero acto de descubrimiento
no consiste en salir a buscar nuevas tierras,
sino en aprender a ver la vieja tierra con nuevos ojos.

Marcel Proust

III. 2. 1. El cerebro en la historia

Desde épocas pretéritas hasta nuestros días el cerebro ha suscitado marcado interés en sacerdotes, adivinos o chamanes primero y hombres de ciencia después, por develar el misterio que encierra, el cerebro humano. El primer documento exento de características mágico religiosas de la antigüedad, es el papiro de Smith perteneciente a la cultura egipcia. En él se registran 48 casos de trabajadores lesionados en una construcción. El análisis se realiza siempre en el mismo orden de la cabeza a los pies. Cada caso detalla: a) el título lesión, ubicación, órganos afectados; b) el tipo de examen por palpación o auscultación; c) el diagnóstico y d) el tratamiento de la lesión. Así mismo se describe la importancia del sistema nervioso central, así como la relación entre cerebro y médula espinal. “En los párrafos del papiro fue donde primero se usaron las palabras cerebro, meninges, suturas craneanas y líquido céfalo raquídeo, constituyendo las bases de la primera nomenclatura anatómica” (Vargas et al., 2012, 1359).

En la antigua Grecia, las primeras descripciones del cerebro se atribuyen a Alcmaeón de Crotona (450 a.C.); considerado el padre de la anatomía comparada, realizó disecciones en hombres y animales. A su juicio, el cerebro se encargaría de «sintetizar» las sensaciones, porque todos los sentidos se hallan conectados con él. Así mismo señaló la diferencia entre

el sentir y el entender. La primera está en todos los animales, la segunda es exclusiva del hombre y radica en el cerebro (Blanco, 2014).

Hipócrates (460 a 370 A. C.) denomina al cerebro como el asiento de las emociones, establece las bases para el diagnóstico de enfermedad mental. Con él se establece la separación entre el carácter mágico religioso y la medicina propiamente dicha. Estableció que todas las enfermedades son de causa natural haciendo a un lado las atribuciones mágico religiosas de las enfermedades mentales. Así mismo se refirió a la epilepsia como un mal sagrado, "... describió tres tipos de delirio febril, manía, melancolía y estados depresivos que atribuía, genialmente, al temperamento bilioso, incluyendo en el genérico término de paranoia" (Spota, 1946, p. 296).

Durante la edad moderna Franz Joseph Gall (1758-1828) médico especializado en neuroanatomía y pionero de la frenología¹¹ disciplina que establece una relación intrínseca entre un área del cerebro y el comportamiento del individuo. Gall, dividió el cráneo en 35 zonas, entre ellas "cada zona del cerebro aporta funciones específicas para realizar el procesamiento de la información" (Arias, 2018, p.43); así mismo describió 46 facultades humanas como la voluntad, la memoria, la espiritualidad, la moral incluyendo actividades motoras. Su trabajo destaca por obtener datos sobre anatomía, patología y neurología

¹¹ La frenología, o doctrina del cerebro, creada por Franz Joseph Gall (1758-1828) y desarrollada por Johan Caspar Spurzheim y George Combe (...) es un antecedente importante del localizacionismo y de la psicología aplicada, que significó el paso de las explicaciones metafísicas a la búsqueda de los fundamentos neurofisiológicos de la conducta humana Gall planteó que las facultades mentales SE UBICAN EN zonas específicas del cerebro.... el localizacionismo de Gall ofrecía implicancias prácticas y tomado como base de la frenología, dio inicio a la práctica neurológica, ya que fue el primero en obtener sus datos de la anatomía, la patología y la neurología clínica (Arias, 2018).

clínica fundamentos básicos para la práctica neurológica. Así mismos el trabajo de Gall fue aplicado en ciencias como la criminalística, el derecho, la psicología (Arias, 2018).

Registros arqueológicos ponen en evidencia la práctica de trepanaciones craneanas realizadas por culturas paleolíticas extendidas por todo el planeta. Es el caso del yacimiento arqueológico de Yucay, ubicado en el departamento de Cusco del Perú, desde donde en 1865 se encuentra un cráneo humano que presenta una perforación rectangular en la parte frontal. El análisis de este cráneo realizado por Paul Broca, medico antropólogo francés quién indica:

No hay ninguna fracture, ni fisura, sea en la tabla interna, sea en la tabla externa...-, por consiguiente, «el cirujano que ha practicado la operación no ha podido basarse más que en molestias funcionales para diagnosticar la existencia de una lesión Intra-craneana. ¿Este diagnóstico ha sido exacto? —dice—, la operación, ¿tuvo por resultado la-evacuación de un líquido acumulado bajo el cráneo? Estoy muy lejos de afirmarlo, pero estoy tentado de creerlo-. (Broca, 1867, 407). en (Palop et al., 1969, p. 56).

Paul Broca¹² (1864) y Karl Wernicke¹³ (1876) identificaron el circuito del lenguaje cuyo mecanismo involucra áreas del cerebro asociadas con funciones motoras e interpretativas. En base a este modelo se construyen teorías que explican tanto la naturaleza del lenguaje como el intrincado circuito neuronal que ocurre en el cerebro para interpretar o articular

¹² Paul Broca fue un médico, neurólogo, cirujano, anatomista y antropólogo, cuyas publicaciones sobre la localización del centro del habla (hoy conocido como “área de Broca”) fueron un paso esencial en el estudio del cerebro y sus funciones (Villanueva, 2015).

¹³ Carl Wernicke: Neurólogo y psiquiatra alemán conocido por sus trabajos sobre la afasia formuló una teoría general sobre la afasia que proponía la relación entre cada uno de los componentes del lenguaje y un área cerebral determinada (Febrer, 2006).

palabras. Sobre esta perspectiva de investigación, Michael Posner (1988) mediante el uso de PET (Tomografía por Emisión de Positrones) demostró que la actividad cerebral es diferente cuando oímos una palabra a cuando vemos la misma palabra escrita. Estudios recientes demuestran que lesiones en el hemisferio derecho, interfieren la comprensión de metáforas, ironías e ingenio características propias del lenguaje coloquial. En muchos casos estos individuos tienen problemas para desenvolverse en diferentes contextos debido a su escasa comprensión de las sutilezas del lenguaje.

La doctrina de la neurona de Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), sienta las bases para el estudio de las neurociencias desde aquel entonces hasta nuestros días. Su trabajo se divide en tres ámbitos de estudio, el primero denominado Teoría de la neurona donde amplía la teoría celular, demuestra la individualidad de la neurona, describe la existencia de espinas dendríticas, así como la forma de los axones. En segundo lugar identifica y describe "... los distintos circuitos neuronales existentes en los centros nerviosos" (Campos, 2020, p. 2), a tiempo que anuncia el principio de polaridad dinámica. Según el cual, la información que atraviesa la célula nerviosa viaja en una sola dirección, hecho que permitió establecer la tesis: el cerebro está formado por redes y circuitos de información. El tercer ámbito de estudio tiene que ver con patrones de degeneración y regeneración de las células nerviosas, donde desarrolló protocolos de investigación en medicina regenerativa. "Cajal sentó los cimientos de la investigación moderna sobre el sistema nervioso y puede afirmarse que fue el más grande de todos los científicos que estudiaron el cerebro" (Kandel, 2019, p. 82).

Charles Scot Sherrington Médico neurofisiólogo británico (1857 – 1952) enfoca su investigación a la transmisión de información entre células nerviosas. De manera esquemática en toda sinapsis participan dos o más células nerviosas donde una se denomina

neurona presináptica y la otra neurona postsináptica. Los axones de las neuronas presinápticas denominados terminales presinápticas están compuestos por vesículas sinápticas cargadas de neurotransmisores. La neurona postsináptica cuenta con receptores postsinápticos ubicados en las dendritas. Entre ambas neuronas se forma un espacio interneuronal denominado hendidura sináptica, lugar donde ocurre la transmisión de información.

Paul MacLean (1976) plantea la teoría del cerebro triuno. En ella afirma que el cerebro humano está compuesto por tres cerebros. En él perviven registros de un cerebro que nos remonta a la época de los reptiles, otro nos vincula con los grandes mamíferos y un tercero que marca la época del hombre. Teoría afincada en la evolución de los vertebrados afirma que estos tres cerebros están dispuestos en capas claramente diferenciadas por su estructura y por su función. La capa interna denominada cerebro reptiliano contiene los dispositivos básicos de conservación, alimentación y reproducción. La capa intermedia o sistema límbico se encarga de procesar sensaciones y emociones. La última capa denominada neocortex se encarga de desarrollar funciones propiamente humanas como la planificación, el lenguaje articulado y el pensamiento abstracto compuesto de conceptos, juicios e inferencias.

En 1981 Roger Wolcott Sperry expone sus descubrimientos relacionados con la especialización funcional de los hemisferios cerebrales (Puente, 2007), circunstancia por la que recibe el premio nobel de fisiología y medicina 1981. Afirma que el cerebro se divide naturalmente en dos hemisferios, el izquierdo y el derecho. Cada uno de ellos está especializado en un modo de pensamiento y percepción (Muñoz et al., 2012). Esta teoría explica que el cerebro humano está invertido respecto al cuerpo. El hemisferio derecho

controla la parte izquierda y el hemisferio izquierdo controla la parte derecha. Cada hemisferio desarrolla funciones cognitivas diferentes. En la década de 1950 el hemisferio izquierdo era considerado dominante e intelectualmente más desarrollado, en tanto que el hemisferio derecho era relativamente retardado, sordo y ciego a la palabra, carecía de funciones cognitivas superiores (Sperry, 2003). El trabajo de Sperry destaca por demostrar que ambos hemisferios están interconectados entre sí, ambos comparten información, ambos destacan por la complejidad de las funciones que desarrollan y ambos pueden existir independientemente el uno del otro.

III. 2. 2. La teoría del cerebro triuno

La teoría del cerebro triuno se origina con el estudio de la epilepsia y las emociones. Paul MacLean (1913 - 2007), médico, neurólogo y psiquiatra, inició sus investigaciones sobre el cerebro con la observación y tratamiento de pacientes epilépticos¹⁴. Patología vinculada a una disfunción del sistema nervioso caracterizada por una fuerte actividad bioeléctrica en la base del cráneo seguida una cascada de emociones vinculadas con el miedo, el placer, la depresión, la agresividad, entre otras. La investigación se concentró en un tipo específico de epilepsia, la epilepsia psicomotora o epilepsia sin convulsión. Este tipo de epilepsia presenta una gama de sensaciones y emociones simultáneas como: el sentimiento alterado de sí mismo; una sensación exagerada de la realidad; pérdida de memoria a corto plazo o en lo que dura la crisis. Durante los periodos de crisis el científico detectó la actividad de estructuras límbicas en la generación y expresión de sentimientos y emociones.

¹⁴ La epilepsia es una enfermedad crónica del sistema nervioso central, (...) se manifiesta en forma de crisis inesperadas y espontáneas, desencadenadas por una actividad eléctrica excesiva de un grupo de neuronas hiperexcitables. Existen diferentes tipos con convulsión, sin convulsión (Revista de la Facultad de Medicina (México), 2018).

Las emociones al igual que las crisis epilépticas producen actividad bioeléctrica en la base del cráneo, específicamente en la zona del rinencéfalo¹⁵ (Cookson & Stirk, 2019). Para la exploración de emociones MacLean recurre al estudio de afectos¹⁶, concebidos como entidades psicosociales básicas que no admiten carácter neutro. Se clasifican en agradables y desagradables. La sistematización de afectos identificó tres categorías: afectos básicos, específicos y generales (Cookson & Stirk, 2019).

Los afectos básicos corresponden a necesidades corporales como ser: sed, hambre, digestión, reproducción, refugio, etc. Los afectos específicos son sensaciones de calor, olor, sabor, sonidos e imágenes, así como afinidades culturales expresadas en costumbres y tradiciones. Los afectos generales son activados en situaciones sociales, en el encuentro con nuestros semejantes; situaciones que despiertan sentimientos de deseo, ira, miedo, desánimo, alegría Maclean (1949) citado en (Cookson & Stirk, 2019). MacLean demostró que durante una crisis epiléptica sin convulsión se genera toda la gama de sensaciones y emociones descrita para los afectos básicos, específicos y generales.

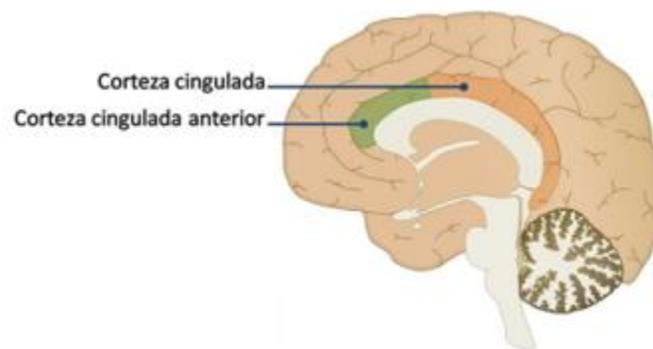
Uno de los referentes importantes en el trabajo de MacLean es el estudio de sentimientos y emociones, realizado por J. W. Papez en su trabajo *Un mecanismo propuesto de emoción* (1937) citado en (Linares et al., 2009). Papez planteó que las emociones se originan en la capa racional del cerebro. Diagramó un circuito emocional compuesto por el hipocampo, el hipotálamo, el tálamo y la corteza cingulada. Papez destaca la interacción entre

¹⁵ Rinencéfalo o bulbo olfatorio: Porción filogenéticamente antigua de los hemisferios cerebrales que incluye: el bulbo olfatorio y tracto, la sustancia anterior perforada, el girus subcalloso, el hipocampus, el uncus, la amígdala, el fornix y la comisura anterior. Las lesiones en estas estructuras pueden producir hiperactividad (Psiquitria.com, 2022).

¹⁶ Los afectos son construidos psicosocialmente e incluyen a las emociones: reacciones momentáneas de gran intensidad, con manifestaciones neurovegetativas como el sudor, el temblor, el rubor, etcétera, con expresiones socialmente codificadas. (Hernandez et al., 2011).

sensaciones, emociones y pensamientos, afirma que cuando un estímulo emocional llega al tálamo, órgano encargado de recibir la información sensorial, se produce una respuesta en paralelo que involucra emociones y pensamientos. Por una parte, la vía del sentimiento lleva la información hacia el hipotálamo considerado, en aquel entonces, como único centro de excitación emocional. Por otra parte la vía del pensamiento dirige la información sensorial hacia el neocórtex (Palmero Cantero, 1996).

Figura 7. Corteza cingulada



Tomado de <https://n9.cl/w9uqc>

Papez, describió un mecanismo al interior del cerebro entre la corteza cingulada¹⁷ y los órganos de la base del cráneo, que conecta el cerebro límbico y el neocórtex. Destacó la función del cíngulo (Figura 7) órgano que establece la comunicación entre el rinencéfalo y el neocórtex (Cookson & Stirk, 2019). Allí se establece la conexión entre emociones y razón, entre protocerebro y neocórtex o cerebro humano.

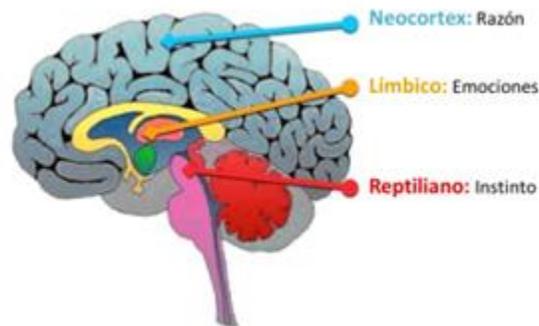
¹⁷ Corteza Cingulada: Estructura que rodea al cuerpo caloso. Se la considera como una estructura intermedia entre la corteza primitiva y la neocórtex, no solo desde el punto de vista filogenético y estructural, sino también por las conexiones que establece, al representar un centro de enlace entre las estructuras antiguas y la neocórtex, o entre las actividades conscientes e inconscientes.

MacLean amplió el circuito de Papez e identificó estructuras primitivas compuestas por órganos cerebrales comunes a los vertebrados. En lugar de atribuir a un solo órgano responsable de generar las emociones “el hipotálamo”, Maclean diagramó una estructura interna el “sistema límbico” encargado de percibir experiencias afectivas provenientes del exterior. El trabajo de Papez, como el estudio de la epilepsia y su relación con las emociones, permitió a Maclean cuestionar la existencia del inconsciente absoluto y afirmar la interacción permanente entre consciente e inconsciente, entre cerebro emocional y neocortex. Al mismo tiempo, puso en evidencia que el cerebro emocional se expresa por medio del lenguaje corporal, simbólico o durante el sueño, mas no mediante el lenguaje articulado. En palabras del científico "... nuestro comportamiento afectivo continúa dominado por un sistema relativamente crudo y primitivo. Esta situación proporciona una pista para comprender la diferencia entre lo que 'sentimos' y lo que 'sabemos' "(MacLean , 1949, p. 351) en (Cookson & Stirk, 2019).

En base a estas investigaciones MacLean plantea la teoría del cerebro triuno (Figura 8), afirma que en el cerebro humano subyacen órganos, estructuras y circuitos activos que datan de la época de los dinosaurios y de los grandes mamíferos. El cerebro humano está compuesto por "... tres computadoras biológicas interconectadas, cada una con su propia inteligencia especial, su propia subjetividad, su propio sentido del tiempo y el espacio, su propia memoria, ... y otras funciones" (MacLean , 1949) en (Cookson & Stirk, 2019).

Estas estructuras son el cerebro reptiliano, el cerebro mamífero y el cerebro humano. Cada uno de ellos con características específicas y diferenciales. El primero asociado con los instintos, el segundo con las emociones y el tercero con la razón.

Figura 8. Cerebro triuno



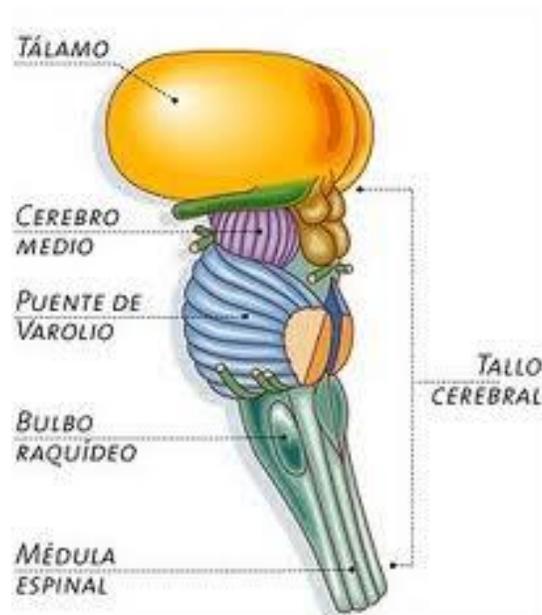
Tomado de <https://enriquerubio.net/el-cerebro-triuno>

III. 2. 2. 1. El cerebro reptiliano

La formación reptiliana comprende la primera capa, se ubica en la base del cerebro, está formada por el ganglio basal, el sistema reticular y el tallo cerebral (Figura 9). Íntimamente asociada al sistema nervioso autónomo, regula el ritmo cardíaco, la respiración, la digestión y la secreción de hormonas. Su participación es fundamental en procesos de atención y la regulación del ritmo circadiano, fundamentales para procesos de aprendizaje y memoria.

El cerebro reptiliano, es la capa de los instintos. Desde allí se regulan las funciones básicas: supervivencia, reproducción, alimentación; así como el sentido de conservación, esto es: atacar, huir o quedarse paralizado en situaciones de peligro (MacLean, 1978). Por ejemplo, cuando vemos a un individuo caminar por media calle absorto en sus pensamientos o manipulando un teléfono celular sin darse cuenta del peligro hasta que el claxon de un vehículo le hace saltar de la calzada a la acera; es gracias a la acción del cerebro reptiliano.

Figura 9. Cerebro reptiliano, base del encéfalo



Nota: Tomado de <https://n9.cl/vqteh>

El cerebro reptiliano es rutinario, territorialista y con una marcada resistencia al cambio; este comportamiento pervive desde épocas pretéritas hasta nuestros días. Las relaciones de poder, conquista y defensa del territorio, constantes en la historia de la humanidad son una muestra de la influencia del cerebro reptiliano en el comportamiento humano. Conducta explicada por la etología¹⁸ como isopraxis.

... situación en la que dos o más individuos asumen un comportamiento y se comunican entre sí a través de la realización de una misma actividad (...) es más,

¹⁸ Etología: ... estudio biológico del origen y evolución de la conducta animal en su ambiente natural; connota aspectos fisiológicos, ecológicos y comparativos. (Galarsi, Medina, Ledezma, & Zanin, 2011)

uno puede definir el termino especie como un grupo de animales que ha adquirido genéticamente la capacidad de imitarse a sí mismo (MacLean, 1978)¹⁹.

Se siente cómodo con las rutinas, los modelos, las religiones, los discursos políticos enardecidos, la burocracia y las instituciones. Cuida su espacio, prefiere instalarse en su zona de confort, es agresivo y responde impulsivamente ante cambios no programados o alteraciones de su rutina.

Actitudes como ir al trabajo siempre por la misma ruta, proteger la casa, la familia o atrincherarse detrás de ideas y creencias valiosas en determinadas circunstancias, pero ineficaces en otras; son propias del cerebro reptiliano. Esta clase de comportamiento se manifiesta con mayor claridad en personas convencidas por sus ideales antes que por la realidad, en sujetos que niegan la existencia de hechos concretos y transforman la realidad de acuerdo a sus propios intereses. Característica de un tipo de conducta cómoda, recurrente y resistente al cambio; gusta de rituales de competencia, jerarquías y disfruta de detentar poder sobre sus semejantes. Comportamiento recurrente en ámbitos académicos, es el caso de aquellos docentes habituados a repetir conocimientos muertos y/o petrificados (Orias, 2002) y de estudiantes que se resisten a pensar por sí mismos. En ambos casos observamos una marcada resistencia al cambio.

¹⁹ McLean señala 24 características que recuerdan nuestra pertenencia al mundo animal: 1. Selección y preparación del hogar o del territorio. 2. Establecimiento del territorio. 3. Rastreo. 4. Demarcación del territorio. 5. Preferencias de lugares determinados. 6. Patrullaje del territorio. 7. Comportamiento ritual para la defensa del territorio el cual comúnmente implica el uso de adornos y colores. 8. Pelea formal en defensa del territorio. 9. Exhibición triunfal cuando la defensa es exitosa. 10. Adopción de posturas distintivas y coloración en señal de rendición. 11. Saqueo. 12. Caza. 13. Establecimiento del hogar. 14. Provisiones. 15. Uso de un lugar determinado para defecar. 16. Formación de grupos sociales. 17. Establecimiento de jerarquías sociales mediante exhibiciones rituales y otros medios. 18. Saludo. 19. Limpieza y aseo mutuo. 20. Cortejo con exhibición de ornamentos coloraciones. 21. Apareamiento. 22. Parto y atención a la cría en forma aislada. 23. Agrupación en manadas. 24. Migraciones (MacLean, 1978).

III. 2. 2. 2. El sistema límbico o cerebro mamífero

En principio la zona correspondiente al cerebro mamífero se denominó “cerebro visceral”, término que trajo más de una confusión porque en lenguaje fisiológico es sinónimo de órganos huecos. MacLean introdujo el concepto de “sistema límbico” para referirse a los órganos del cerebro reptiliano y mamífero. El término límbico deriva del latín *limbus*: borde que rodea cualquier cosa; ciertamente el cerebro mamífero es una estructura en forma de anillo que rodea al cerebro reptiliano. Así, el sistema límbico está formado por el cerebro reptiliano y el cerebro mamífero. El autor fundamenta el concepto de “sistema límbico” a través de estudios biológicos, etológicos y evolutivos.

En el orden bilógico describió las interconexiones neuronales entre tronco encefálico (cerebro reptiliano) y el sistema de órganos que lo rodea, el cerebro mamífero. Ensayos con animales de laboratorio (ratones, gatos y monos) demostraron que al aplicar descargas eléctricas en el tronco encefálico los impulsos nerviosos permanecen al interior del circuito límbico. Mediante estudios bioquímicos con reactivos inducidos demostró la distinción entre el archicortex (rinencéfalo porción más antigua del cerebro) y mesocortex (corresponde al cerebro de los grandes mamíferos). Ambos experimentos permitieron establecer diferencias anatómicas y fisiológicas entre sistema límbico (cerebro reptiliano y mamífero) y neocorteza.

Desde el punto de vista etológico²⁰ MacLean (1978) estableció que en el sistema límbico se procesa información de tipo sentimental y afectivo que guía el comportamiento animal sea para la conservación del individuo, del grupo o la especie. En palabras del autor “El

²⁰ Etología: Estudio científico del comportamiento humano y animal.

concepto del sistema límbico conduce al reconocimiento a menudo pasado por alto de que la historia de la evolución del sistema límbico representa la historia de la evolución de los mamíferos y su forma distintiva de vida familiar” (MacLean, 1978, p. 261).

En el orden evolutivo, el científico estadounidense, estableció que los mamíferos se desprenden de la rama de *Terapsidos*. Grupo de dinosaurios que desapareció hace 250 millones de años a finales del pérmico. Llegó a esta conclusión gracias al estudio comparativo entre la estructura del aparato auditivo y del esqueleto de registros fósiles y el *Dragón de Komodo*. Realizó estudios comparativos de neuroconducta entre reptiles, aves y mamíferos estableció 25 formas comunes de comportamiento entre estos grupos. En el orden celular estableció que

En ninguna parte la uniformidad de los ensamblajes celulares complejos es más sorprendente que en la cerebral evolución de los vertebrados, ya que se aplica a las similitudes dentro de las clases y a ciertos elementos comunes entre las clases (MacLean , 1987, p. 1235).

En el cerebro mamífero tanto los instintos como la información proveniente del exterior a través de los órganos de los sentidos se transforman en emociones. Con ellas se configuran los primeros indicios del aprendizaje y la memoria; se generan patrones de conducta orientados a la protección del individuo, del grupo y la especie. Con las emociones, asistimos a la formación de un precepto natural propio de la clase *Mamalia* “... la prohibición de comer animales de la misma especie (...) la preocupación por la cría tiende a generalizarse a otros miembros de la especie” (MacLean, 1978), salvando excepciones claro. Con el desarrollo de las emociones, se garantiza la continuidad de la especie, se inicia

el cuidado materno, se genera la comunicación audiovocal entre madre y cría, con las emociones surge el juego; características nuevas y esenciales en el desarrollo del cerebro mamífero (Pizarro de Zullinger, 2014). Así, el cerebro mamífero incorpora un nuevo patrón de comportamiento animal que se antepone al de los instintos.

De acuerdo con (Velásquez Burgos, 2006), las estructuras encargadas de procesar estímulos correspondientes al orden de instintos y emociones son: tálamo, hipotálamo, hipocampo, sistema nervioso y amígdala (Figura 10).

Tálamo: recibe la información proveniente de los sentidos. Desde el tálamo salen dos vías de comunicación una con dirección a la amígdala y otra al neocortex.

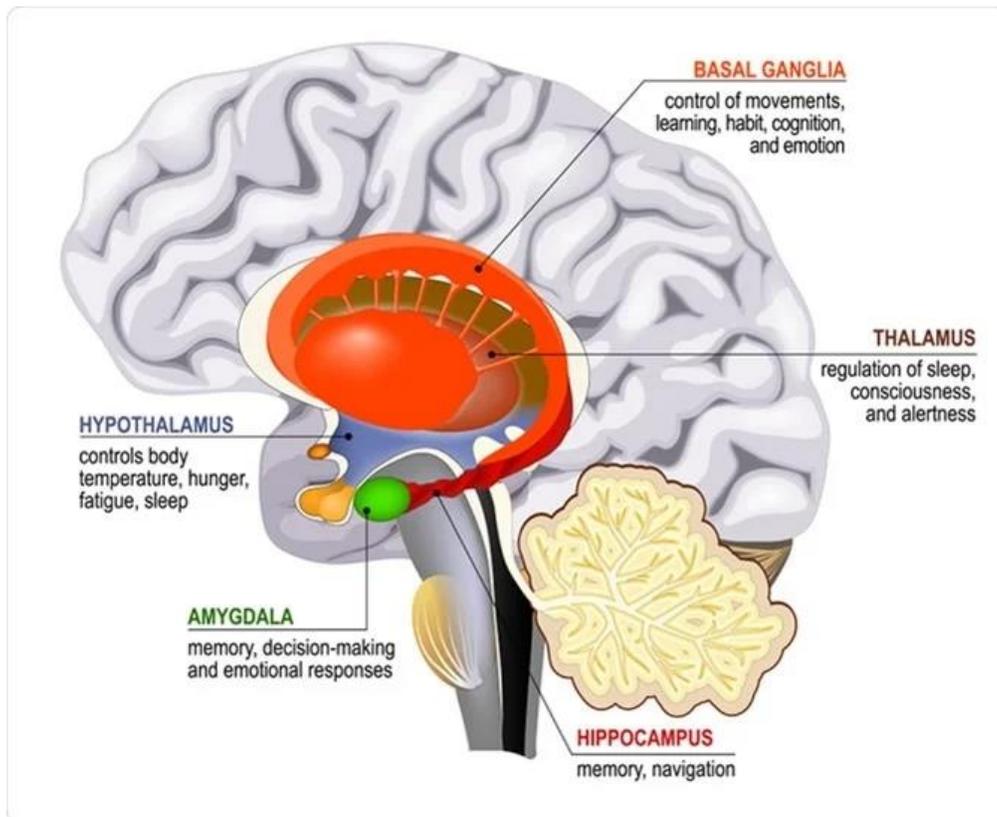
Hipotálamo: estructura ubicada debajo del tálamo recibe la información de la amígdala y la transfiere al sistema nervioso central.

Sistema nervioso: activa los centros motores del organismo. Si la acción responde a una emoción hablamos de la respuesta al cerebro mamífero si responde a un instinto como huir o confrontar el peligro, corresponde al cerebro reptil.

Hipocampo: Es el almacén de los recuerdos producidos por las sensaciones y las emociones, así como de la experiencia producida por el movimiento del cuerpo en el espacio y el tiempo.

Amígdala: Es el centro de las emociones. Cuenta con un gran número de conexiones que ingresan y salen de ella hacia diferentes partes del cerebro. Su actividad genera gran cantidad de neurotransmisores.

Figura 10. Sistema límbico



Nota. Tomado de <https://n9.cl/m3c7>

III. 2. 2. 3. El neocortex o cerebro racional

La tercera capa o neocortex, corresponde al cerebro humano. Esta nueva capa se forma sobre el sistema límbico se encarga de las funciones cognitivas propias del *Homo sapiens*. A primera vista esta nueva capa es una estructura que se pliega sobre sí misma, forma una serie de abultamientos limitados por cisuras y circunvoluciones. Las cisuras dividen el cerebro en dos hemisferios el izquierdo y el derecho y cinco lóbulos: un frontal, dos temporales, un parietal y un occipital. Las circunvoluciones son pliegues que amplían la superficie de acción de las neuronas en la corteza cerebral.

III. 2. 3. Lóbulos cerebrales

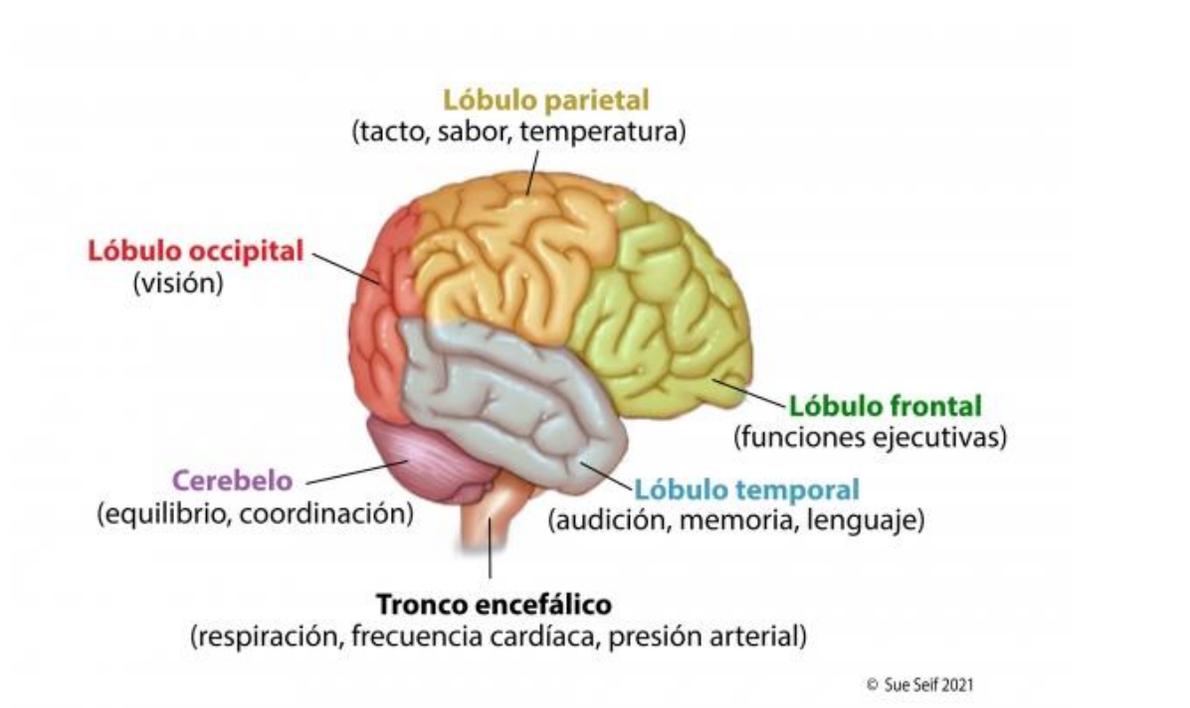
El cerebro humano está dividido en cinco lóbulos: un occipital, dos temporales, un parietal y un frontal (Kandel et al., 2001). El lóbulo occipital ubicado en la nuca procesa información fotosensible. El lóbulo parietal ubicado en la parte apical integra la información proveniente de los sentidos y de los otros lóbulos, en él se genera la sensación somática del esquema corporal, posición del cuerpo en el espacio. El lóbulo temporal ubicado a la altura de los oídos estimula las funciones auditivas y el lenguaje articulado, así mismo promueve las funciones dominantes de ambos hemisferios.

El lóbulo frontal es el más desarrollado, en él se realizan las funciones ejecutivas, la memoria de trabajo y la memoria social (Figura 11). Las funciones del lóbulo frontal marcan la diferencia entre el hombre y el resto de los animales. Aquí las funciones ejecutivas se vinculan con la memoria, el pensamiento abstracto, tanto en el arte como en la ciencia. La memoria de trabajo vinculada con secuencias y procedimientos y con la ideación a largo plazo, es decir proyectar el objeto de conocimiento a diseño final. Así mismo una parte del lóbulo frontal, el lóbulo prefrontal se desarrolla la memoria social vinculada con el sistema de reglas implícitas y explícitas que permiten la vida en sociedad (Flores Lázaro, 2008).

En suma, la interrelación de estos tres cerebros (reptiliano, mamífero y humano) cumple funciones específicas en la configuración del individuo. El cerebro reptiliano constituye la base de los instintos básicos de supervivencia como la reproducción, sensaciones de hambre y sed así como arranques de rabia, miedo, placer o dolor. El cerebro mamífero configura el mundo emocional, se instaura el cuidado de las crías, se crean lazos

emocionales entre miembros de la familia, el grupo y la especie; con las emociones se inauguran los primeros indicios del aprendizaje y la memoria. Con el Neocortex, asociado a la razón, se hace posible el desarrollo de funciones cognitivas como lenguaje articulado, el pensamiento abstracto, la noción de espacio y tiempo. Empero, ninguno de estos cerebros es independiente el uno del otro, más al contrario toda actividad humana depende de la interrelación constante entre estructuras anatómicas y capacidades funcionales conquistadas en millones de años de evolución.

Figura 11. Lóbulos cerebrales

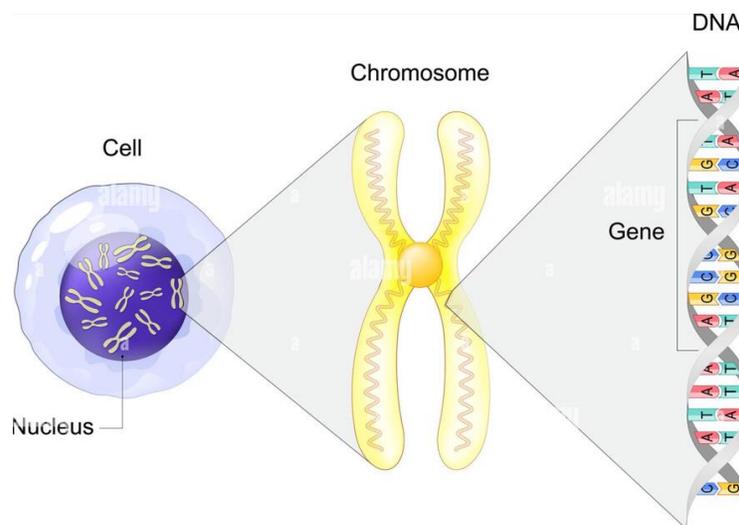


Nota: Tomado de: <https://n9.cl/1babj>

III. 2. 4. Estructura celular y transmisión de información genética

La célula es la unidad anatómo y funcional de todos los organismos vivos, de manera general está compuesta por la membrana celular, el citoplasma, y el núcleo celular. La membrana celular define los límites de la célula, su naturaleza permeable regula el paso de sustancias y compuestos entre medio intracelular y medio extracelular (Curtis et al., 2007). El citoplasma es un medio acuoso y gelatinoso donde se encuentran el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi y las mitocondrias, necesarios para garantizar procesos metabólicos y de reproducción celular. En el citoplasma también se almacenan nutrientes y se transforma la estructura de compuestos químicos y bioquímicos en energía. El núcleo celular está compuesto por cromosomas, moléculas de ADN y genes, al mismo tiempo, este orgánulo celular está limitado por la membrana nuclear (Figura 12). A través de ella se produce el tránsito de información necesaria para la activación de genes, la síntesis de proteínas y la reproducción celular.

Figura 12: Estructura de la célula de gen a DNA y cromosoma



Nota: Tomado de <https://n9.cl/mhppt2>

III. 2. 4. 1. Genes, estructuras moleculares de información biológica

Un *gen* es una “secuencia específica de ADN (ácido desoxirribonucleico) ubicada en un determinado lugar del cromosoma y contiene instrucciones para sintetizar una proteína en particular” (Kandel, 2007a). Los genes son la base de la herencia genética en todos los organismos, son unidades de información biológica única y particular para cada especie, para cada individuo para cada órgano. Contienen códigos de información, instrucciones para la síntesis de proteínas que determinan la naturaleza, estructura, y función de las diferentes células del organismo (Pizarro de Zullinger, 2014).

El conjunto de genes se denomina *genoma*, contiene la información suficiente y necesaria para el desarrollo del individuo. Según el proyecto *Genoma Humano* se estableció que cada una de las células del cuerpo humano tiene al menos 20 000 genes, ubicados al interior del núcleo celular, forman parte de los 23 pares de cromosomas (F. Mora, 2001).

Cada célula del cuerpo humano posee genes activos e inactivos. El cuerpo humano está formado por órganos, sistemas y estructuras cuya diferencia específica responde a la activación de información genética. Si bien cada célula del cuerpo posee la totalidad de genes solo una fracción de ellos se activan, mientras que el resto permanece inactivo, apagado. Esto explica la diferenciación y especialización celular. Por esta razón Tenemos células especializadas para el hígado, los riñones, el corazón, los músculos, los huesos, para el sistema respiratorio o para el sistema nervioso; en cada caso se activan unos genes, en tanto que otros permanecen inactivos.

Existen dos tipos de activación génica una interna y otra externa. La interna corresponde a procesos fisiológicos inherentes al desarrollo del organismo. La externa corresponde a

activaciones génicas inducidas por el medio ambiente. El caso más característico está en las células del sistema nervioso, las *neuronas*. Ellas tienen la posibilidad de activar más de la mitad de la totalidad de genes presentes en el núcleo celular.

La relación entre genes y medio ambiente influye en la organización celular y molecular del cerebro. Nuestro órgano de conocimiento cambia, desde el nacimiento hasta la muerte, sea por procesos fisiológicos inherentes al desarrollo, sea por influencia externa como los procesos de aprendizaje promovidos desde la familia, el juego, el lenguaje, la interacción con el medio físico y cultural, la educación formal e informal, el trabajo entre otras. Ciertamente, las diferentes expresiones del aprendizaje modulan la expresión génica de las neuronas y reconfiguran las conexiones sinápticas al interior del cerebro.

III. 2. 4. 2. Genes y medio ambiente

Si bien la activación de genes determina la forma y el normal funcionamiento del organismo, la interacción entre genotipo²¹ y medio ambiente determina los rasgos diferenciales del individuo, el fenotipo²². El fenotipo expresa las características esenciales de cada individuo, variaciones perceptibles unas a simple vista mientras que otras, enquistadas en lo más profundo del cerebro, afloran con la conducta. En primer caso nos referimos a aspectos formales como la contextura del cuerpo (gruesa o delgada), al color de los ojos, de la piel o del cabello; en el segundo caso nos referimos al desarrollo de habilidades innatas como la disposición para la música, las artes plásticas, las matemáticas

²¹ Genotipo: conjunto de la información genética almacenada en el ADN de un organismo. (...) cada ser vivo posee un genotipo específico, que es el total de la información genética albergada en sus células

²² Fenotipo: características físicas observables de un organismo, producto de la expresión o manifestación de la información genética contenida en el genotipo, en concordancia con las condiciones del ambiente determinado en el que hace vida el organismo.

o el deporte. Un fenotipo resulta de la relación entre el gen y el medio, entre genoma y medio, entre genotipo y aprendizaje, entre fenotipo y experiencia.

Estas variaciones entre genes y medio ambiente, no solo marcan la diferencia entre individuos, sino también entre poblaciones, entre especies que hacen al género *Homo*. Más aún si tenemos en cuenta que todo proceso de recombinación genética expresada en el individuo se replica en la población como instrumento de evolución y adaptación al medio ambiente. Como el consumo de proteínas a través de la ingesta de larvas, de carne en descomposición o cruda primero y cocida después; o el paso de cazadores y recolectores a agricultores y ganaderos. Cada paso, grande o pequeño, en la evolución del género *Homo* está signado por el aprendizaje, por la interacción entre medio externo y medio interno del cerebro, por la interacción entre genes y medio ambiente. La herencia genética, que permite la conquista, acumulación y transmisión de conocimiento entre poblaciones, especies y entre generaciones, se conoce con el nombre de variabilidad genética.

III. 2. 4. 3. Variabilidad genética

La variabilidad genética se produce por la activación de otros genes del genoma. Actividad suscitada por el medio intracelular, por el medio extracelular o por el medio ambiente entorno al organismo (Mora, 2001). Estos cuatro factores influyen configuración última del organismo, modifican estructuras internas y externas perceptibles unas e imperceptibles otras.

La variabilidad genética es un mecanismo de adaptación, es la respuesta a la selección natural, es la reconfiguración del organismo en función a su interacción con el medio, con el aprendizaje, con nuevas condiciones de existencia. Sea en caso de adaptación al medio

externo, sea en procesos de autorregulación interna, sea en procesos de aprendizaje; la variabilidad genética expresada en las células nerviosas del cerebro y del sistema nervioso, determinan el éxito o fracaso en todo proceso de adaptación. Es más, las variaciones genéticas determinan la diferencia específica entre cada uno de los aproximadamente siete mil setecientos cincuenta y tres miles de millones de seres humanos que habitamos el planeta.

El estudio molecular del cerebro humano expone la historia evolutiva de nuestra especie a través de la interpretación de registros mnémicos fijados en el núcleo celular de las células nerviosas, en los genes, en el ADN, en los cromosomas (F. Mora, 2001). El éxito de nuestra especie depende de la interacción entre medio intracelular y medio ambiente, esto es, de la variación de información genética de las células nerviosas en particular, así como del organismo en general. La diversificación de información genética en las células cerebrales dispone al cuerpo y al cerebro a la solución de problemas, inducen al organismo a adaptarse a nuevas condiciones de existencia. En el orden filogenético estas variaciones de información genética dieron paso a la existencia de especies extintas, del género *Homo*. Destaca el hecho de que la información relevante, destinada a preservar y continuar la vida del individuo y la especie se transmite de especie en especie, de generación en generación, de individuo en individuo.

Nuestro cerebro guarda la historia de miles de millones de años explicados por la evolución, la etología, la genética, la epigenética²³ y las neurociencias. La información

²³ El término Epigenética fue acuñado en la década del cincuenta para describir el mecanismo por el cual los organismos multicelulares desarrollan múltiples tejidos diferentes a partir de un único genoma. En la actualidad reconocemos que este proceso se logra mediante marcas moleculares detectables; dichas marcas generan modificaciones que afectan la actividad transcripcional de los genes y una vez establecidas son relativamente estables en las siguientes generaciones (García Robles et al., 2012)

genética de una población, grupo o especie, varía toda vez que la influencia externa modifica la composición genética del núcleo celular. Sea por desplazamiento de un piso ecológico a otro, sea por catástrofes naturales, sea por cambio climático, sea por aprendizaje de técnicas de cacería, pastoreo, agricultura o alfarería el cerebro humano cambia, se adapta a nuevas condiciones de existencia. Esta información modifica la estructura molecular de las células nerviosas, se establecen nuevas conexiones sinápticas, aparecen nuevas habilidades. Son modificaciones ocurridas durante el proceso de aprendizaje, producto de la relación entre medio interno y medio externo del organismo, fenómeno estudiado por la epigenética. “Esta interdependencia de factores genéticos y epigenéticos garantiza la unicidad de cada individuo, Somos una urdimbre individual de factores genéticos y epigenéticos que nos han moldeado desde el comienzo de nuestra existencia” (Pizarro de Zullinger, 2014, p. 3).

La interacción entre medio ambiente y las estructuras moleculares y celulares del cerebro influye tanto en el desarrollo de la flexibilidad adaptativa como en el tamaño del propio cerebro. Según el cociente de encefalización, índice obtenido por la relación entre masa corporal y masa encefálica que por lo general sigue una proporción de uno a uno, así cuanto más grande es el animal mayor será el tamaño y peso de su cerebro. Sin embargo, en el caso humano la proporción es de uno a siete, es decir, nuestro cerebro es siete veces más grande con relación al cuerpo, nuestro cerebro corresponde a un animal de una tonelada de peso. El cerebro humano es el más grande y desarrollado de la clase mamalia. La evolución del género *Homo* en general y del *Homo sapiens* en particular explica la relación entre capacidad cognoscitiva y tamaño del cerebro.

Una comparación entre el cerebro de un chimpancé (*Pan paniscus*, pariente más cercano del género *Homo*), y el cerebro humano marca la diferencia en el desarrollo del encéfalo. El cerebro del chimpancé al nacer pesa aproximadamente 350 gr y llega a la edad adulta con un peso de 450 gr. El cerebro humano al nacer tiene un peso aproximado de 350 gr y alcanza un peso de 1 450 a 1 500 gr en la edad adulta (F. Mora, 2001). Es decir, el chimpancé nace con un 70% de su cerebro ya formado. En tanto que en el caso humano cerca al 75% de la formación de su cerebro se realiza en la interacción entre cerebro y medio ambiente; de hecho, el cerebro del niño se forma con el juego, la experiencia, el aprendizaje y la memoria.

La interacción entre medio interno y medio externo del organismo modifica la estructura interna de órganos y células, expresada en los genes. La información genética almacenada en el núcleo celular se transmite de generación en generación. Sin embargo, la información genética es susceptible de modificarse con la experiencia y el aprendizaje. Los genes cambian con el aprendizaje. Así lo demuestra la evolución del género *Homo*, donde varias especies convivieron entre sí, pero solo una de ellas llegó a tener éxito, en términos evolutivos, y permanecer hasta hoy en día sobre el planeta tierra.

Cada individuo de nuestra especie tiene la capacidad de modificar sus genes según el tipo de interacción que tenga con el medio, según su experiencia, según su educación. La educación regula la conducta humana desde el nacimiento hasta la muerte, marca la diferencia entre cada uno de los siete mil setecientos cincuenta y tres millones de habitantes del planeta tierra. En consecuencia, si los genes se modifican con el aprendizaje, el cambio de hábitos se perfila como el instrumento para mejorar la educación emocional,

la salud física y fisiológica de cada ser humano y con ello lograr más y mejores condiciones de existencia.

III. 2. 5. Evolución de la capacidad craneana del género *Homo*

Según Sherwood Chet (2018) el desarrollo de un cerebro eficiente en términos de capacidad de aprender, memorizar y transmitir conocimiento, inicia hace cuatro millones de años (Figura 13). Cuando los primeros simios del género *Australopithecus* abandonaron la seguridad de los árboles e iniciaron la exploración y conquista de la sabana africana. El linaje del género *Homo* se desprende de una especie de mono africano el *Australopithecus africanus*, cuyo fósil descubierto en África en 1974. “Lucy”, como se denomina desde aquél entonces, es una especie extinta de mono africano cuya data se remonta a 3.3 Ma. (millones de años), su extinción data hace 2.1 Ma. Estos australopitecinos fueron los primeros simios con locomoción bípeda, con un marcado dimorfismo sexual y una capacidad craneana de 470 cm³.

El *Homo habilis*, primera especie del género *Homo* apareció hace 2.1 Ma. y desapareció hace 1.6 Ma. Con un periodo de existencia de 500 000 años, su cerebro desarrollo una capacidad de 646 cm³, 146 cm³ más que los *Australopitecinus*. El cráneo presenta una forma más esférica, por el desarrollo de las áreas frontales conectadas con el lenguaje (Sherwood, 2018). Según Mora (2001), el *Homo habilis* fue la primera especie con la destreza suficiente para fabricar herramientas de piedra; además eran insectívoros, carroñeros y cazadores. De hecho, desarrollaron estrategias de cacería basadas en emboscadas y persecuciones; se presume que fue una especie altamente sociable. Esta especie fue precursora en la construcción de útiles de piedra, en el trabajo en equipo, en el

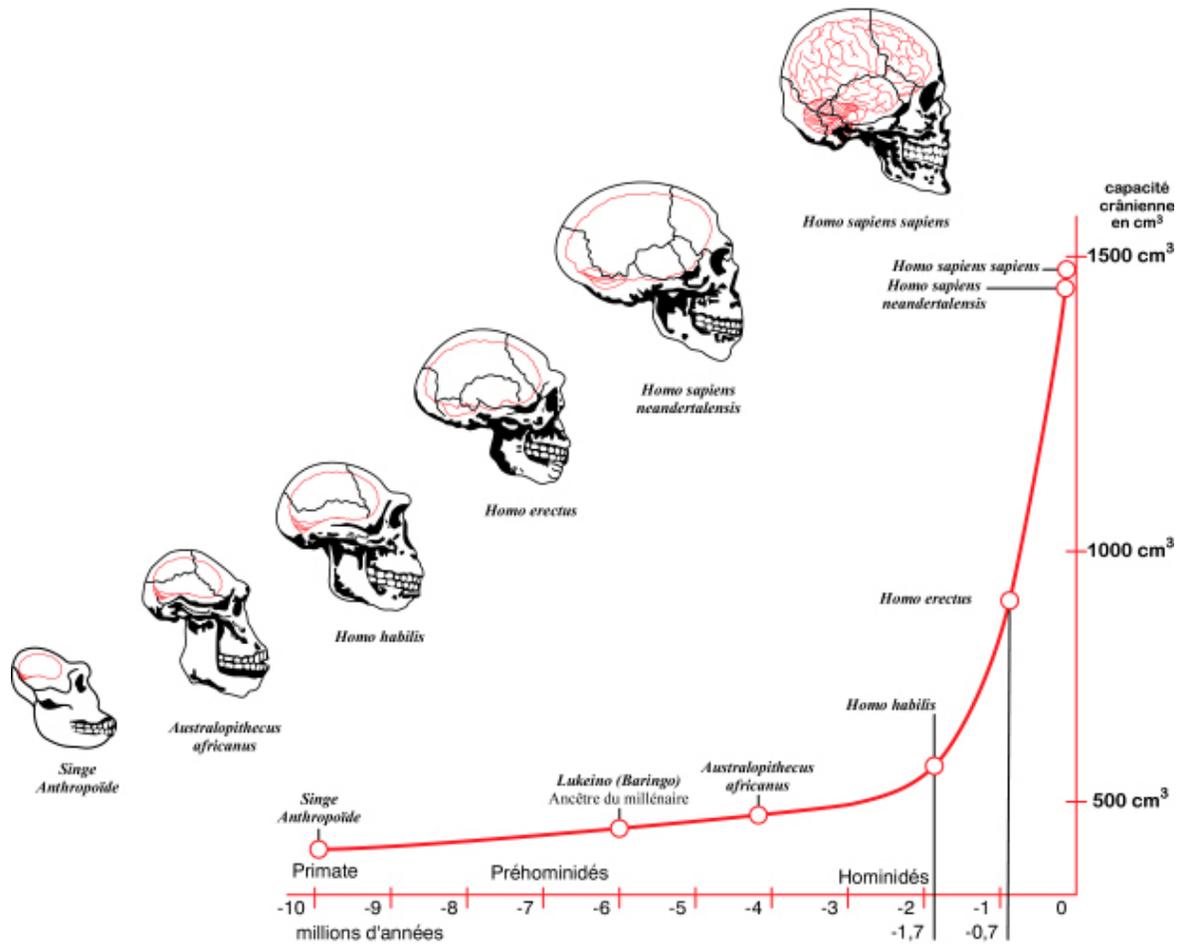
consumo de proteínas, en la génesis de un sistema de comunicación simbólica marca un hito fundamental para el ulterior desarrollo del cerebro humano (Mora, 2001).

El *Homo erectus* cuya data proviene desde hace 1,9 Ma., extinto hace 143 000 años. Con una capacidad craneana de 952 cm³, su cerebro crece en 306 cm³, con mayor cantidad de circunvoluciones respecto a sus predecesores (Sherwood, 2018). Esta especie se distinguió por fabricar hachas manuales y expandir su entorno fuera de África. Se desplazaba en pequeños grupos, recorrían grandes distancias y cazaban en los bosques. Desarrollaron un lenguaje más sofisticado y caminaban en posición erecta.

Según Sherwood (2018) el *Homo neadertalensis* apareció hace 400 000 años y se extinguió hace 40 000 años. Con una capacidad craneana de 1 404 cm³, su cerebro creció en 779 cm³. Coexistió con nuestra especie fue un gran cazador; dominaba la fabricación de herramientas y el uso del fuego. Desarrollaron técnicas precisas en el tallado de la piedra empleando martillos de percusión blandos, hechos de hueso y madera para realizar cortes precisos sobre lascas de pedernal empleadas en la fabricación de hachas, puntas de flecha, instrumentos cortantes, entre otros.

El *Homo sapiens* Surgió hace unos 300 000 años (Sherwood, 2018). Con una capacidad craneana de 1 500 cm³, desde la aparición del *Homo hábilis* hasta la aparición del *Homo sapiens* el cerebro creció en 854 cm³, también se modificó su estructura externa, de alargada a esférica.

Figura 13. Evolución del cerebro humano desde los primeros homínidos hasta nuestros días.



Nota. Tomado de <https://n9.cl/ghmq8>

Estas modificaciones estructurales del cráneo humano corresponden a zonas específicas del cráneo y el cerebro

; particularmente el área frontal relacionada con la planificación, las zonas temporales relacionadas con los territorios de Broca y Wernike vinculadas al lenguaje y las zonas parietales conectadas con áreas de asociación de información (F. Mora, 2001). “Las regiones que se ocupa de la cognición y el lenguaje se han agrandado enormemente durante

la evolución” (Sherwood, 2018). Transformaciones inherentes a la evolución del género *Homo*, como la flexibilidad adaptativa y la capacidad cognoscitiva expresada en el aprendizaje, sumadas a la habilidad de comunicación y transmisión de información propician el éxito evolutivo del *Homo sapiens*.

Este refinamiento del cerebro resulta de la interacción entre células cerebrales y medio ambiente; entre aprendizaje y memoria; entre cerebro y cultura. Donde las capacidades de aprendizaje, memoria, comunicación sumadas a la dieta, la imitación e innovación activaron mecanismos de interacción entre evolución biológica y cultural. Es más, la acumulación de conocimiento, la imitación y la comunicación generan cultura a través de la aplicación del conocimiento expresado en la innovación e invención de utensilios, así como en el desarrollo de nuevas habilidades adaptativas. Estos fueron algunos de los factores que propiciaron el desarrollo de la capacidad cognoscitiva, junto a ello, el crecimiento del cerebro humano. Este proceso de interacción constante entre cerebro y medio ambiente explica el desarrollo del cerebro desde los 646 cm³ registrados para el *Homo habilis* hasta 1 500 cm³ apuntado para nuestra especie; es más, en tan solo 100 000 años de evolución nuestro cerebro creció 100 cm³ lo demuestra la relación entre el *Homo neardentalis* y el *Homo sapiens*. “Todos estos grupos evolucionaron en la misma dirección, pero nuestra especie alcanzó un umbral antes que las demás en lo que concierne a capacidades cognitivas complejidad social y éxito reproductivo” (Jean-Jacques Hublin) en (Wong, 2018).

III. 2. 5. 1. La capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* deviene de un proceso de coevolución entre cerebro y cultura

El cerebro humano no solamente creció, sino que durante su evolución se modificaron códigos de información genética, se reorganizaron redes y circuitos neuronales, se implementaron procesos de aprendizaje y memoria haciendo posible la adaptación al medio y el desarrollo de la cultura. La reorganización del cerebro humano está determinada por códigos genéticos desplegados paulatinamente desde la concepción, el nacimiento, y las diferentes etapas de maduración hasta entrada la edad madura. Esta reestructuración, fruto de la interrelación entre cerebro, medio ambiente, aprendizaje y cultura, se expresa en función al desarrollo biológico del individuo, por una parte, y por la otra en función a la relación entre cerebro, medio ambiente, aprendizaje y cultura. Según el cerebro vaya aprendiendo, copiando, guardando, transmitiendo y renovando la información, las estructuras moleculares, así como los circuitos y redes neuronales también se transforman. En palabras de Laland (2018) “Para la evolución de nuestra especie la evolución cultural parece tan importante como la genética” (Laland, 2018).

En el desarrollo del neocórtex confluyen procesos biológicos y culturales, como el desarrollo de la capacidad craneana y la transmisión de información genética, por una parte; y por la otra la generación, acumulación, la difusión y la aplicación de conocimiento. En ambos casos, “aprendizaje y memoria” son el eje central para el desarrollo de nuestra especie desde que los primeros *Australopithecus africanus* se irguieron sobre sus patas traseras y emprendieron un viaje sin retorno, que dio origen al género *Homo*. En cada etapa evolutiva de nuestra especie, destaca la adaptación al medio ambiente por medio del aprendizaje y la memoria. La generación, la transmisión, acumulación y aplicación del conocimiento adquirido impulsan el desarrollo de nuestro cerebro. Ciertamente, toda vez que el cerebro aprende, guarda, aplica y transmite información, genera cultura; al mismo

tiempo la cultura, el aprendizaje la memoria y la transmisión de conocimiento inducen al desarrollo biológico del cerebro.

No fue nuestro gran cerebro, nuestra inteligencia ni el lenguaje lo que nos dio la cultura, sino más bien esta última la que impulsó un cerebro voluminoso, una inteligencia sin igual y el lenguaje (...) la cultura transformo el proceso evolutivo (Laland, 2018).

III. 2. 5. 2. Cazar en grupo es una habilidad cultural expresada ya en los predecesores del género *Homo*

Según Mora (2001) los indicios para el desarrollo del cerebro y la cultura se encuentran en los antecesores del género *Homo* en los primeros *australopitecinos*, quienes practicaban la caza persistente.

La esencia de este tipo de caza (genuinamente humana) era perseguir la presa durante varios días, lo que requería una constante atención del cazador hacia la presa y, desde luego, «anticipar» el futuro (la presa abatida). Es altamente posible que los australopitecinos pudieran haber utilizado este tipo de caza, dado que fueron criaturas mejor adaptadas a correr que a andar (Dart, 1964) en (Mora, 2001, p. 26).

Por otra parte, la presión selectiva entendida como la influencia del medio ambiente sobre el organismo, desarrolló cerebros más grandes y resistentes. Pues el cerebro de los primeros australopitecinos debió haber colapsado durante las grandes correrías en la sabana africana poniendo en riesgo la continuidad de la especie (Mora, 2001). Los *Homo hábilis* dotados con un cerebro más grande, más interconectado y más eficaz, heredaron y perfeccionaron aquella técnica.

Advertimos los primeros indicios sobre la interacción entre cerebro y cultura. La caza persistente exige la participación de más de un miembro del grupo para identificar y separar la presa del grupo. Luego, seguirla durante tiempo indeterminado, horas, días, soportando el frío, el calor y/o las torrenciales lluvias. Esta tarea induce a reflexionar sobre el crecimiento del cerebro y la necesidad de integrar circuitos cerebrales como la memoria, la imitación, la comunicación y esencialmente la transmisión de información. De hecho

... nos fuerza a admitir, que las capacidades del *Homo habilis* para la construcción de herramientas, comunicación con sus semejantes y creación de nuevos estilos sociales de vida habrían sido, en parte, la consecuencia y no la causa del aumento inicial del tamaño y reorganización del cerebro del hombre durante la evolución (Mora, 2001, p. 26).

Conocer, transformar y aplicar lo aprendido, en la resolución de problemas, es una facultad compartida por otras especies, pero sumamente refinada en nuestra especie. Es más, esta facultad, parece haber sido puesta por la selección natural al servicio de la supervivencia y el crecimiento del cerebro (Laland, 2018). La acumulación progresiva de conocimiento expresado en el aprendizaje y la memoria, incentivó el desarrollo del lenguaje, la fabricación de herramientas, la manipulación del fuego, el cambio de dieta, la vida en sociedad entre otras habilidades propias de nuestra especie.

III. 2. 5. 3. La domesticación del fuego impulsó el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*

El desarrollo de la capacidad cognoscitiva permite transformar la información empírica en representaciones abstractas, guardarlas en la memoria y transmitirla tanto a los miembros

del grupo como a las nuevas generaciones. Para Kevin Land "... la cultura consiste en la serie de comportamientos que comparten los miembros de una comunidad y que se basan en información transmitida socialmente" (Laland, 2018). Es el caso del conocimiento, manipulación y dominio del fuego, atribuida al *Homo erectus* (F. Mora, 2001).

Registros arqueológicos demuestran que el primer contacto entre hombre y fuego fue fortuito. Sea al tropezar con una erupción volcánica, sea ante la caída de un rayo, sea por la combustión espontánea producida por la mezcla de gases enrarecidos, generados por materia orgánica en descomposición (Gómez de la Rúa & Diez-Martín, 2009). Imaginemos a los primeros homínidos frente a esta situación; convengamos que la primera reacción, como la de cualquier otro animal, fue huir del peligro. Sin embargo, la recurrencia del fenómeno despertó sensaciones encontradas de temor y admiración; al ver la transformación del paisaje, al sentir dolor causado por el contacto directo con llamas, al percibir el olor o al ingerir carne asada de animales atrapados por las brasas. Sin dejar de lado las sensaciones de calor y seguridad que reúne al grupo en torno a la hoguera. Es el inicio del proceso de conocimiento sobre un fenómeno específico que transformará la estructura psíquica y fisiológica de nuestra especie.

Al calor del fuego se cohesionan el grupo, se genera sensaciones de protección y seguridad ante el ataque de depredadores, insectos o grupos hostiles. En torno al calor del fuego se genera el espacio público donde se incentiva la comunicación, el intercambio de información producto de experiencias cotidianas como la caza, la pesca y la recolección de alimentos (Eliade, 1983), y el desarrollo del lenguaje. Más aún, en torno a la hoguera se produce el paso de lo crudo a lo cocido aspecto por demás efectivo para el desarrollo del aparato digestivo y el cerebro (Bardisa & White, 1967). Pues al ingerir carne cocida no solo

se facilita la digestión, sino que también acelera la asimilación de proteínas esenciales para el desarrollo y evolución del cerebro (Harris, 1994).

“Con él [fuego] se abre una perspectiva de pensamiento que antes era inconcebible. EL fuego exige cuidado para su conservación. Exige colaboración estrecha entre varios hombres y un lenguaje para dar órdenes o para entenderse” (Cuatrecasas, 1967). Desde un punto de vista empírico este proceso deviene de la curiosidad innata del hombre, de la observación constante en busca de identificar las causas del fenómeno. Deviene de la experiencia, de la observación y clasificación de materiales aptos para la producción, la conservación, manipulación y el dominio del fuego. Inferimos que los primeros homínidos debieron pasar mucho tiempo observando, clasificando y experimentando las propiedades de combustión de materiales; así como en el uso del fuego en diferentes aspectos de la vida diaria. Este nuevo descubrimiento modifica la conducta del grupo en general e incide en la estructura psíquica de individuo, estimula la capacidad cognitiva seguida de un despliegue técnico orientado al uso y manipulación del fuego.

Al calor del fuego se generó un verdadero proceso de enseñanza y aprendizaje, que contribuyó al desarrollo de la capacidad cognoscitiva, la atención, la capacidad de concentración y el lenguaje. En efecto, el desarrollo del lenguaje, corporal primero y articulado después, juega un papel esencial para el despliegue de la capacidad cognoscitiva de los primeros homínidos; en la organización del grupo tanto en la búsqueda de materiales para hacer fuego, como para conservarlo. La transmisión de información en cuanto al tipo de material y las técnicas de producción supuso un esfuerzo de concentración de un puñado de individuos especializados en la producción del fuego. Pues solo algunos logran el dominio de la técnica, en tanto que el resto empleará sus esfuerzos en otras actividades.

La domesticación del fuego marca un hito en el desarrollo de la capacidad cognoscitiva de nuestra especie expresada en el dominio y transformación de la naturaleza. Cuyos resultados se expresan en la fabricación de instrumentos para la agricultura, en la domesticación de animales, en la producción de útiles para el hogar dando origen a la cerámica y la metalúrgica (Eliade, 1983). En torno al fuego se despliega el primer esquema de conocimiento relacionado con la selección y clasificación de materiales, así como las técnicas necesarias para su producción y conservación. Así mismo, el desarrollo de “la reflexión sería producido por el estímulo psicológico del fuego” (Cuatrecasas, 1967, p.2).

Aprender, memorizar, copiar, transmitir y renovar conocimiento implica la expresión de genes que modifican la estructura celular y reorganizan la anatomía del cerebro. Al mismo tiempo, se transforma la realidad empírica, se produce cultura, se construyen imágenes y símbolos que representan la realidad y permiten hablar en ausencia de la experiencia sensible. De esta manera entre cultura y cerebro se establece una correlación directamente proporcional entre aprendizaje y expresión de genes, entre conocimiento y cultura, entre solución de problemas y rendimiento cognitivo. La acumulación, la réplica e innovación del conocimiento induce la renovación de estructuras cerebrales, a la expresión de nuevas y renovadas conexiones sinápticas. En otras palabras, el desarrollo de la cultura estimula el desarrollo del cerebro. Correlación signada por la precisión y eficacia del conocimiento, por la renovación y aplicación de la información antes que por la simple copia o repetición sin innovación.

Cada vez que se supera cierto nivel de complejidad, se generan cambios grandes o pequeños, se aporta un nuevo conocimiento, sea para el individuo o la colectividad, se desencadenan cambios en el cerebro, en la cultura. Estas transformaciones dependen de la

fiabilidad de la información, de la capacidad de réplica, así como de las transformaciones del entendimiento. “Sin una transmisión precisa es imposible acumular cultura” (Laland, 2018, p. 18). Una transmisión fallida o con interferencia induce al fracaso, al error y no acumula cultura, al contrario, una transmisión precisa, eficiente e innovadora genera cambios a nivel biológico y cultural. Así, el primer método de aprendizaje se basó en la copia, en el aprendizaje depositado en la memoria, en el recuerdo, en la aplicación y renovación del conocimiento que tiende siempre hacia adelante.

III. 2. 5. 4. Características particulares que impulsaron el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*

Si bien en el amplio espectro del comportamiento animal existen múltiples ejemplos en los que hombre y animales comparten destrezas como la comunicación, la memoria, el razonamiento social y espacial, así como la empatía. Empero solo el desarrollo evolutivo de nuestra especie supo combinar y sacar máximo provecho de aquellas facultades. Según el investigador Thomas Suddendorf dos facultades nos diferencian del resto de los animales: “la primera, es la capacidad de solucionar situaciones complejas, (...) La segunda el impulso de compartir nuestras ideas y nuestros pensamientos con otros”(Suddendorf, 2018).

Nuestros parientes más cercanos, los chimpancés, con quienes compartimos el 99% de la secuencia genética y un marcado paralelismo en el desarrollo social desde la infancia hasta entrada la edad adulta. Ellos, al igual que nosotros tiene una vida social activa, crecen en medio del juego, en torno a él crean relaciones sociales y alianzas cooperativas. De igual manera, expresan sus emociones, aprenden y hasta se complacen entre sí. En cuanto al

desarrollo de sus facultades cognitivas, las primeras investigaciones sobre el tema reportaron a un grupo de chimpancés (observados a través de cámaras trampa) empleando una herramienta o utensilio para alimentarse. Los chimpancés luego de elegir una rama la desojan, luego la introducen por uno de los tantos orificios de un termitero, luego esperan que las termitas suban a la rama y al sacarla ¡vualá!, la ramita está llena de termitas. Este hecho denota un proceso de planificación y aprendizaje; más aún las habilidades adquiridas por los chimpancés se transmiten de grupo en grupo de generación en generación.

Un comportamiento similar (emplear un instrumento para conseguir un beneficio) se observó en los cuervos. Según la revista Science 2017 un equipo de investigadores de Nueva Caledonia registró la conducta de un grupo de cuervos capaces de elegir una rama quitarle las hojas y tallar uno de sus extremos en forma de gancho para sacar presas de su escondite (Kabadayi & Osvath, 2017). En Japón un grupo de cuervos rompen la cáscara dura de un fruto, apreciado por ellos, dejándolo caer sobre el asfalto y esperan a que la rueda de algún vehículo rompa la cáscara. Lo realmente importante de este caso es que estos cuervos se sitúan cerca a los semáforos y descienden cuando el semáforo está en rojo para recoger y comer el apetecido fruto. Según Kabadayi y Osvath, en ambos casos los cuervos muestran signos de una capacidad de planificación general solo documentada en personas y grandes simios.

En nuestra especie la capacidad de imaginar situaciones complejas, de solucionar problemas se aplica tanto al ámbito social como al natural. En el orden social, ponerse en el lugar del otro, de quien necesita ayuda, de quién atraviesa un conflicto o con quien se tiene un inconveniente, desarrolla la comprensión empática o, en caso contrario genera antipatía. En ambos casos la respuesta al problema deviene de la prospección, de imaginar la

situación a través de la descomposición y recombinación de sus elementos que orientan la toma de decisiones. Lo propio ocurre en el orden natural cuando enfrentamos problemas de orden 'técnico o procedimental'. De esta manera se desarrolla la memoria operativa y el pensamiento recursivo que dan lugar a las funciones ejecutivas propias de nuestra especie y generadoras de cultura (Suddendorf, 2018).

Por otra parte, el impulso de compartir ideas y pensamientos genera el intelecto colectivo orientado a promover el beneficio común a través de la difusión de conocimiento y la solución de problemas. Intercambiar ideas y pensamientos superan la capacidad individual, modifican la mente, transforman el mundo y propician la aparición del lenguaje, la cultura y la imaginación. Así, conocer y aprender a solucionar problemas es una habilidad adquirida que se extiende del grupo a la cultura y de esta a la humanidad. La prueba más antigua de esta forma de perfeccionar y transmitir conocimiento se encuentra en los yacimientos de piedra tallada cuya data se remonta a la edad de piedra, hace 1.8 Ma. atrás cuando el *Homo erectus* en sus desplazamientos llevaba consigo sus útiles de trabajo dejando una importante cantidad de piedra tallada por donde pasaban (Suddendorf, 2018). En todo caso el intelecto colectivo inicia el proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la cooperación, destinado a la adaptación al medio y enfocado en la división del trabajo cuyo último fin es la preservación del individuo en particular y de la especie en general. “Con la imaginación de situaciones complejas y la tendencia a enlazar sus intelectos, nuestros antepasados acabaron fundando civilizaciones y logrando alcances técnicos que han alterado la faz del planeta” (Suddendorf, 2018, p. 28).

III. 3. Dinámica neuronal durante el aprendizaje

“Todo ser humano si se lo propone puede ser escultor de su propio cerebro”

Santiago Ramón y Cajal

La primera descripción detallada de las células neuronales fue realizada por Santiago Ramón y Cajal a finales del siglo XIX. Empleando la técnica de tinción de Camilo Golgi, aisló grupos de neuronas e identificó células independientes. Demostró que “... el tejido nervioso no es una red continua sino una malla de células separadas” (Kandel et al., 2001, p. 6) relacionadas entre sí por un mecanismo electroquímico. Los aportes de Cajal al estudio de las células nerviosas se conocen como *doctrina de la neurona* en ella se establecen los fundamentos básicos sobre el sistema nervioso vigentes aun en nuestros días (De Felipe, 2005).

III. 3. 1. Células nerviosas

La anatomía interna del cerebro está formada por dos tipos de células las glías y las neuronas. Las células gliales están emplazadas de tal forma que sostienen y determinan la estructura del encéfalo. Las neuronas son las células cerebrales por antonomasia; de ellas depende la transmisión de información sensorial, emocional y/o racional.

III. 3. 1. 1. Células gliales

Las células gliales, también conocidas como neuroglías. Descritas por Rudolf Virchow (1821-1902), en 1846 como una sustancia conectiva o intersticial no neuronal presente en el cerebro y la médula espinal (De Felipe, 2005). El termino glía proviene del griego (glia) que significa pegamento. Aproximadamente por cada neurona existen 50 células gliales. Estas células envuelven, agrupan y aíslan circuitos neuronales.

Existen dos tipos de células gliales la microglia y macroglia. Las microglías son células fagocitarias encargadas de eliminar sustancias tóxicas y estructuras dañadas sea por lesión o infección del sistema nervioso central. Existen tres tipos de macroglia: oligodendrocitos, células de Schwann y astrocitos (Kandel et al., 2001). Los oligodendrocitos se encuentran en el sistema nervioso central, en tanto que las células de Schwann se encuentran en el sistema nervioso periférico. En ambos casos recubren axones y terminales sinápticas con una capa de mielina.

Los astrocitos son más numerosos, coexisten entre las células gliales y las neuronas aportan nutrientes a las células neuronales, mantienen el equilibrio iónico del medio intracelular, regular las cantidades de sodio y potasio, captan o eliminan neurotransmisores durante las sinapsis. Así mismo, las células gliales guían a las neuronas durante procesos de neurogénesis y migración neuronal, recubren los axones neuronales con mielina, sostienen la estructura neuronal, fortalecen conexiones sinápticas, separan redes sinápticas (Figura 14).

III. 3. 1. 2. Células neuronales

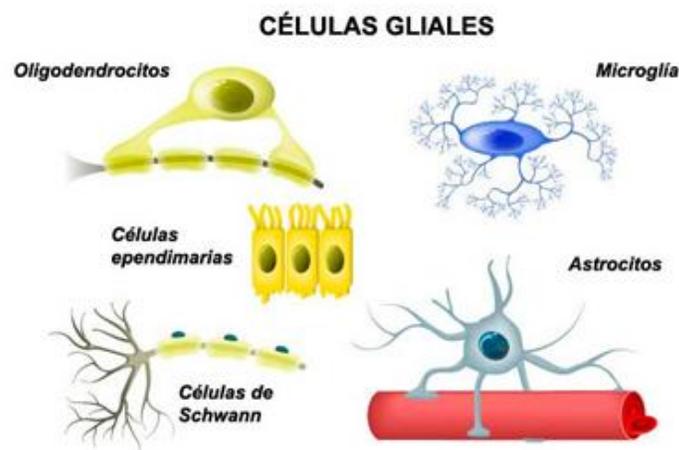
Santiago Ramón y Cajal sostiene que la neurona es la unidad estructural del cerebro y su elemento unitario de señalización²⁴ (Kandel, 2007). La neurona es la unidad anatómico funcional del sistema nervioso y del cerebro. Son células eucariotas²⁵, especializadas en la recepción y transmisión rápida de mensajes. Las neuronas tienen un cuerpo pequeño y múltiples ramificaciones, cubren una extensa superficie, lo que permite optimizar su

²⁴ Señalización o identificación.

²⁵ Se llama célula eucariota (del vocablo griego eukaryota, unión de eu- “verdadero” y karyon “nuez, núcleo”) a todas aquellas en cuyos citoplasmas pueda hallarse un núcleo celular bien definido, cuyo interior contiene el material genético (ADN y ARN) del organismo.

intercomunicación (Nieto Sampedro, 2003). La comunicación interneuronal se produce gracias a mecanismos electroquímicos explicados por la *hipótesis iónica* y la *teoría química*. La hipótesis iónica trata de la transmisión de información al interior de la célula nerviosa; describe mecanismos inherentes a la célula para enviar señales eléctricas denominados potencial de acción. La teoría química describe la comunicación interneuronal gracias a la emisión de señales químicas denominados neurotransmisores (Kandel, 2007).

Figura 14. Tipología de las células gliales



Nota: Extraído de <https://n9.cl/m76a9>

En la década de 1890 Ramón y Cajal sintetizó el trabajo de toda su vida en lo que se denominó *Doctrina de la neurona* (Kandel, 2007); en ella estableció cuatro principios fundamentales que sentaron las bases para el ulterior estudio de las facultades mentales.

Primero: la neurona es el elemento estructural y funcional fundamental del cerebro; es la pieza constitutiva de su estructura y la unidad elemental en la transmisión de señales.

Segundo: las terminales del axón de una neurona solo se comunican con las dendritas de otra en lugares especializados, (que Sherrington (1897) denominó sinapsis). Cajal supuso que la conexión entre neuronas no es continua, sino que hay un diminuto espacio entre terminales pre sinápticas y post sinápticas, que hoy denominamos hendidura sináptica.

Tercero: ... principio de especificidad de la conexión, según el cual las neuronas no establecen conexiones indiscriminadamente. Esto es un sistema de circuitos específicos, formado por varias células, donde la comunicación interneuronal se establece solamente entre determinadas células, mas no con otras.

Cuarto: ... principio de polarización dinámica: consiste en la especificidad del impulso nervioso. En un circuito sináptico, las señales avanzan en una sola dirección. La información recibida por las dendritas pasa por el cuerpo celular luego al axón y de allí a las terminales presinápticas desde donde se emite la señal que pasa a las dendritas de otra célula (Kandel, 2007).

III. 3. 1. 2. 1. Morfología neuronal

Las neuronas están formadas por un cuerpo celular o soma, las dendritas, el axón y las terminales presinápticas (Figura 15). En el cuerpo celular o soma se encuentra el núcleo celular, contiene la información genética y el retículo endoplasmático encargado de la síntesis de proteínas. Es el centro metabólico de la célula. Del soma salen dos ramificaciones el axón y las dendritas.

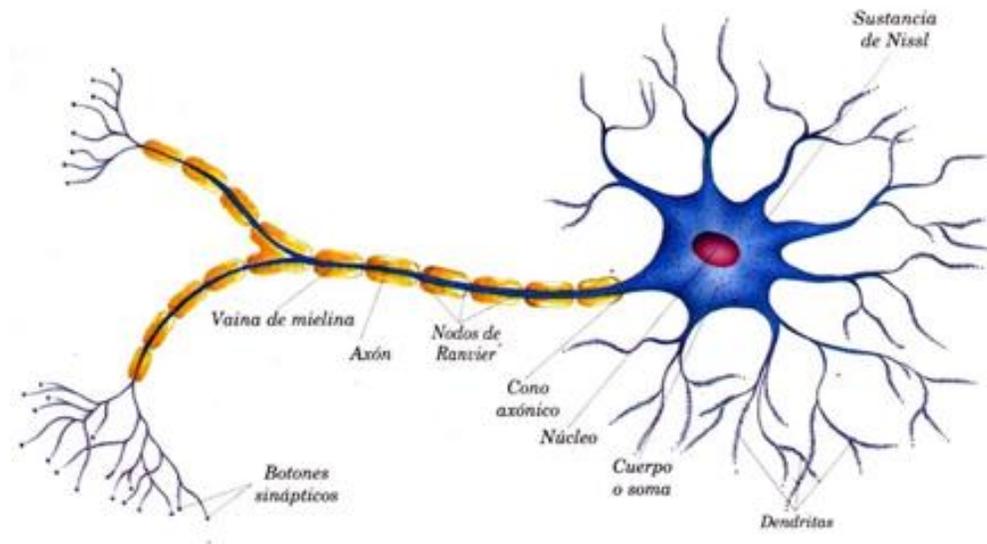
Las dendritas, del griego dendrón que significa árbol, son ramificaciones originadas en el soma situadas en el extremo opuesto al axón semejantes a las ramas de un árbol. Son las encargadas de recibir la información proveniente de otras células, algunas neuronas del

cerebro humano llegan a tener cuarenta ramificaciones dendríticas. Destacan aquí las neuronas de Purkinje por ser las más grandes y con mayor número de dendritas, 200 aproximadamente (Kandel, 2007).

El axón es un tallo único, se origina en el soma tiene una longitud variable desde 1 mm a 3 m de largo, de acuerdo a su función y posición; sea en el encéfalo, sea en el sistema nervioso o en función al tipo de célula. Su diámetro varía entre 0.2 micras a 0.2 milímetros, a medida que se aleja del cuerpo celular presenta una serie de ramificaciones cuyo extremo apical forman los botones presinápticos. Entre el cuerpo celular y el origen del axón existe una estructura llamada montículo del axón, donde la información proveniente del impulso nervioso desencadena una señal eléctrica conocida como potencial de acción. El potencial de acción es un impulso eléctrico rápido y fugaz, transmite información a lo largo del axón sin interrupciones ni distorsiones a velocidades entre 1 y 100 metros por segundo así mismo la amplitud y la intensidad de la señal eléctrica es invariable responde al principio del todo o nada. Las terminales pre sinápticas se encuentran en la parte apical del axón, se diferencian por ser más delgadas que el axón y por la presencia de botones sinápticos encargados de transmitir la información sea a las dendritas, sea al axón y en ocasiones al cuerpo celular (Kandel et al., 2001).

Según el esquema de la estructura neuronal de una neurona bipolar el axón se encuentra al otro extremo de las dendritas, desde las terminales presinápticas ubicadas en el axón a manera de botones se envían señales hacia las dendritas de otras células. Cajal advirtió que las dendritas reciben la información y los axones transmiten la información hacia otras dendritas demostrando que la información fluye desde las dendritas hacia el axón (Kandel, 2007).

Figura: 15 Estructura general de la neurona



Nota: Tomado de <https://n9.cl/zdw4i>

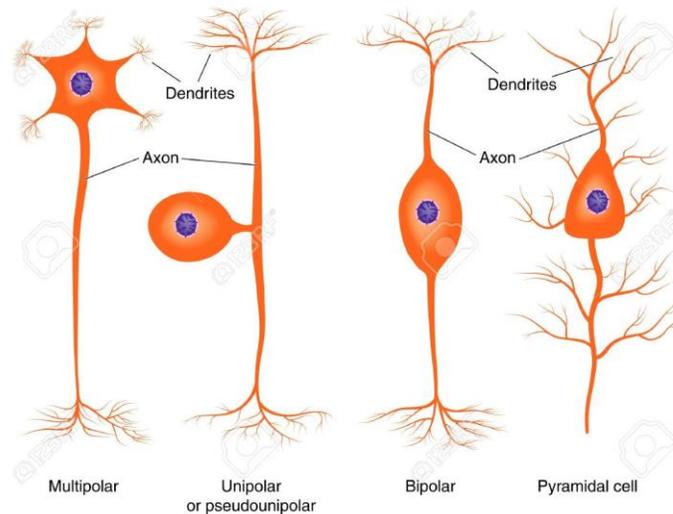
La estructura básica de las neuronas da lugar a casi un millar de células diferentes, sin embargo, cantidad y diversidad son superadas por la complejidad y calidad de circuitos y redes neuronales que en última instancia determinan la conducta humana. El cerebro está compuesto aproximadamente por ochenta y seis mil millones de neuronas, todas ellas comparten la misma estructura básica, al mismo tiempo que establecen un complejo sistema de comunicación y transmisión de información. “Uno de los principios esenciales de la organización del cerebro es que neuronas con propiedades básicamente similares pueden producir acciones bastante diferentes según la forma en que estén conectadas entre sí y con los receptores sensoriales y los músculos” (Kandel, 2007).

III. 3. 1. 2. 2. Tipología de las células neuronales

Las neuronas se clasifican por su forma, por su función, por la transmisión del impulso nervioso, por la dirección del impulso nervioso, por el tipo de neurotransmisor y por el tipo de sinapsis. Por su forma las neuronas se clasifican en unipolares, bipolares, pseudounipolares y multipolares (Figura 16). Las neuronas unipolares, son las más simples, del cuerpo celular sale una sola prolongación dando origen a los axones y las dendritas; este tipo de células se encuentra tanto en invertebrados como en el sistema nervioso autónomo de vertebrados. En las neuronas bipolares el soma da origen a dos prolongaciones diametralmente opuestas las dendritas que perciben información de los órganos de los sentidos y un axón que transmite el estímulo hacia el sistema nervioso central (Kandel et al., 2001).

Las neuronas pseudounipolares se originan durante la gestación como células bipolares, después las prolongaciones que salen del soma se fusionan y forman un solo tallo desde donde se bifurcan las dendritas y el axón. Las neuronas multipolares se caracterizan porque del soma salen múltiples ramificaciones, las dendritas, y un axón.

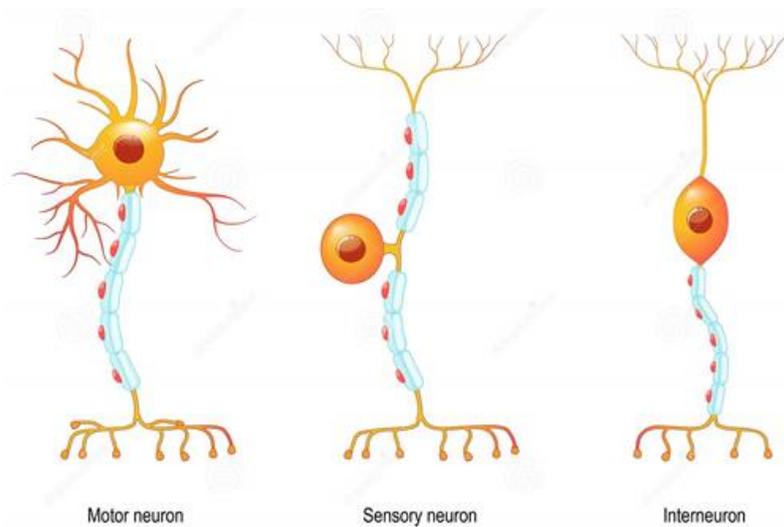
Figura 16: Clasificación neuronal por forma



Tomado de: <https://n9.cl/a32jt>

Por su función las neuronas se clasifican en sensoriales, motoras e interneuronas. (Figura 17). Las neuronas sensoriales son de tipo bipolar están en los sentidos como en la retina del ojo, en células epiteliales del sentido del olfato. Las neuronas motoras son del tipo pseudounipolar y se encuentran en el sentido del tacto, las articulaciones y los músculos. Las interneuronas son las más numerosas, conectan unas neuronas con otras.

Figura 17: Clasificación neuronal por función



Tomado de: <https://n9.cl/ccmxq>

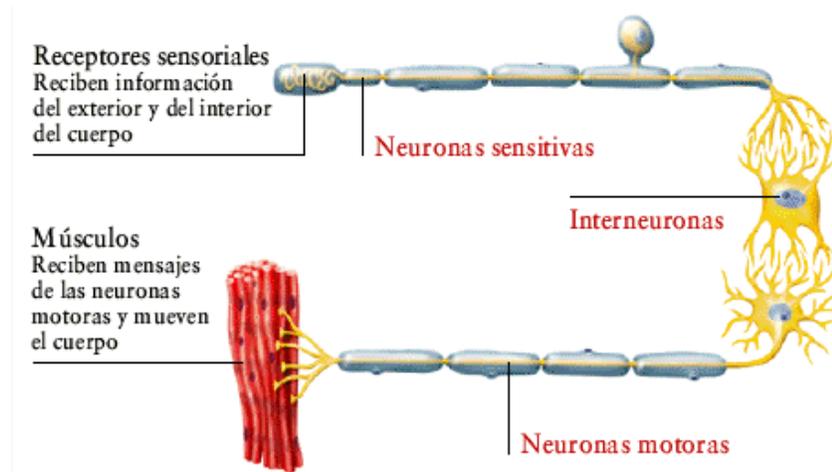
Por la dirección del impulso nervioso se clasifican en aferentes y eferentes²⁶ (Figura 18).

Las neuronas aferentes llevan el estímulo desde los sentidos al sistema nervioso central, y eferentes llevan el estímulo desde el sistema nervioso central a los músculos y glándulas.

Por el tipo de neurotransmisor que lleva en su interior del cual reciben su nombre por ejemplo las Serotoninérgicas, Dopaminérgicas, Oxitocinérgicas..., por mencionar algunas.

²⁶ Aferente se refiere a la información que viaja desde la periferia hacia el sistema nervioso central, todas las neuronas sensoriales son aferentes. En tanto que eferente se refiere a la información que va desde el sistema nervioso central a la periferia (todas las motoras, motoneuronas si inervan a músculo esquelético) (Cruz & Eguibar, 2013)

Figura 18: Clasificación neuronal por dirección del impulso nervioso



Tomado de: <https://n9.cl/8mjoj>

En suma, la organización de las células nerviosas es de una riqueza infinita, tal es así que los circuitos y redes determinan las pautas de comportamiento cultural, social y particular en cada uno de los miembros de nuestra especie.

En palabras de Kandel

“La complejidad de la conducta humana depende menos de la especialización de las neuronas individuales que del hecho de que un gran número de ellas forma circuitos anatómicos precisos. Uno de los principios esenciales de la organización del cerebro es que neuronas con propiedades básicamente similares pueden producir acciones bastante diferentes según la forma en que estén conectadas entre sí y con los receptores sensoriales y los músculos” (Kandel et al., 2001).

III. 3. 2. Sinapsis

La sinapsis es una cualidad intrínseca de las células nerviosas. El término sinapsis proviene del griego *synápsis* definido como acción de tocar punto de contacto. Término acuñado por CH. S. Sherrington²⁷ en 1897 e introducido por el médico británico Michael Foster para nombrar la función de transmitir información entre neuronas. Permite transmitir información al cerebro proveniente del medio externo y del medio interno del organismo a través de los sistemas aferentes y eferentes. Sea en dirección al cerebro, a la médula espinal, en la regulación de secreciones glandulares, así como el movimiento de músculos lisos y estriados (Guyton, 2014).

Según Cajal (1890), la información transmitida por las sinapsis discurre en un solo sentido. Así, la señal asimilada por las dendritas se transmite al cuerpo celular, de allí al montículo del axón, donde se activa el potencial de acción: descarga eléctrica, que estimula los botones sinápticos ubicados al otro extremo de la célula. Las transmisiones sinápticas se dividen en inhibitorias y excitatorias. Las señales inhibitorias cierran el paso de la información generada por neurotransmisores. Las señales excitatorias amplían la señal, generada por neurotransmisores, hacia otras células. En ambos casos este mecanismo de regulación depende del proceso electroquímico inherente a la comunicación celular.

III. 3. 2. 1. Tipología de las sinapsis

²⁷ Charles Scott Sherrington: Premio nobel de medicina en 1932. Continuó los pasos de Cajal en lo que toca al sistema de transmisión de información. Sherrington se percató de que no todas las sinapsis son de naturaleza excitadora, sino que la mayoría exhibe cualidades inhibitorias, de tal manera que una neurona motora puede recibir impulsos excitadores o inhibidores. El adecuado entendimiento de la «inhibición» como proceso activo, y no simplemente como la ausencia de excitación, constituye una de las aportaciones más notables de Sherrington al estudio científico del sistema nervioso (Blanco, 2013).

Existen dos tipos de sinapsis las eléctricas y las químicas. La sinapsis eléctrica actúa sobre el sistema nervioso periférico, estimula o inhibe la acción de los músculos lisos y estriados, es decir de los órganos internos en el primer caso y del movimiento corporal en el segundo (Kandel et al., 2001). En este tipo de sinapsis la información se transmite por medio de canales iónicos donde el fluido eléctrico de iones (Ca^{+} ; K^{+}) o de aniones (Cl^{-}) pasan directamente de una célula a otra (Guyton, 2014, p. 546). La sinapsis química ocurre con mayor frecuencia que la eléctrica, es más casi todas las sinapsis del sistema nervioso central son químicas. Se caracterizan por la transmisión de un neurotransmisor desde la célula presináptica que estimula o inhibe la actividad de la membrana citoplasmática correspondiente a la célula postsináptica. Como veremos más adelante este tipo de conexiones es propio de procesos de aprendizaje (Guyton 2014).

El potencial de cambio, adaptación y renovación constante propio de las transmisiones sinápticas encuentra su cabal expresión en el rendimiento intelectual y el desarrollo de la capacidad cognoscitiva, así como en la flexibilidad adaptativa de nuestra especie. Puesto que la configuración integral del sujeto depende de la interacción y adaptación a estímulos orgánicos e inorgánicos que afectan la estructura bioquímica de las células nerviosas. Sin dejar de lado el hecho que también las relaciones sociales modifican la estructura interna del cerebro. La respuesta al estímulo constante que modifica la estructura celular, las conexiones interneuronales, como la conducta del individuo se denomina plasticidad sináptica.

III. 3. 2. 2. Dispositivos intrínsecos de comunicación sináptica

El mecanismo de comunicación entre neuronas se inicia con un estímulo nervioso o señal transmitida desde una neurona presináptica a otra neurona postsináptica; entre las terminales presinápticas del axón de la primera y las dendritas de la segunda. En la neurona presináptica el estímulo se transforma en potencial de acción de la neurona presináptica modifica el medio intracelular con la emisión de iones de Ca^+ , variación que también afecta el medio extracelular y al mismo tiempo activa los dispositivos de la membrana postsináptica para la formación de canales iónicos (Guyton, 2014). Los canales iónicos formados a nivel de la membrana citoplasmática en las terminales presinápticas y postsinápticas permiten el paso de información entre células expresada en cargas positivas y negativas por una parte y en el flujo unidireccional de neurotransmisores, por la otra. Al mismo tiempo, la célula presináptica libera una serie de neurotransmisores en dirección a la célula postsináptica, concluye el fisiólogo.

En las terminales postsinápticas los neurotransmisores son asimilados por proteínas receptoras que activan el componente de fijación y el mecanismo ionóforo. Este mecanismo presenta dos variantes la formación del canal iónico entre células y/o la activación del segundo mensajero (Ortega-Loubon & Franco, 2010). Los canales iónicos son de corta duración, se identifican dos tipos: canales catiónicos que permiten el paso de iones Ca^+ y K^{2+} y canales aniónicos que permiten el paso de iones Cl^- ; este tipo de uniones corresponde a sinapsis eléctricas propia de funciones motoras y de la memoria a corto plazo (Kandel et al., 2001). El segundo mensajero es una proteína que atraviesa el sistema reticular (núcleo) estimulando el sistema metabólico de la célula. Es más la transmisión del segundo mensajero “puede provocar la formación de nuevas proteínas en el seno de la neurona, (...) se sabe en general que aparecen cambios estructurales en neuronas oportunamente

activadas sobre todo en proceso de memoria a largo plazo” (Guyton, 2014, p. 549). De ello inferimos que la falta de memoria o deficiencias en los procesos de atención y aprendizaje devienen de la falta de componentes químicos en el cerebro. Es el caso del *Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad* (TDAH).

III. 3. 2. 3. La transmisión de información depende de procesos inhibidores y excitadores

Los procesos de excitación e inhibición de señales entre neuronas ocurren a nivel de la membrana citoplasmática de la neurona postsináptica, en las dendritas. Son procesos vinculados con el flujo de aniones y cationes que permiten la asimilación o rechazo de cargas positivas y/o negativas. Por tanto, las funciones cerebrales dependen de la duración del impulso eléctrico, que viaja a través del canal iónico, así como de la cantidad de neurotransmisores absorbidos por la membrana postsináptica.

Por ejemplo, en casos de atención dispersa, diagnosticada como Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se debe a una falla en el mecanismo de inhibición y excitación inherente a la sinapsis. Las personas diagnosticadas con atención dispersa se caracterizan por la falta de constancia a la hora de cumplir proyectos a largo plazo, como terminar una carrera universitaria; por dejar todo a última hora, como estudiar horas antes de una prueba; por finalizar proyectos antes de iniciar la actividad, así como por la dispersión y falta de precisión a la hora de elegir el tema de tesis. Estos son algunos de los efectos producidos por alteraciones a nivel de las sinapsis que se pueden controlar con el uso de medicamentos y la voluntad del paciente empeñado en reconocer, observar y cambiar de actitud frente a su comportamiento.

En condiciones normales entre la terminal presináptica y la terminal postsináptica se forma el canal iónico, por donde se transmiten señales eléctricas y neurotransmisores desde la célula presináptica hacia la célula postsináptica (de una célula a la otra) en la correspondiente unidad de tiempo. En pacientes con TDAH la diferencia está en que los neurotransmisores emitidos por la terminal presináptica no son absorbidos por la terminal postsináptica debido al cierre del canal iónico por una parte y a la activación de la bomba de recolección (limpieza) de neurotransmisores por la otra. En estas condiciones la señal no llega, o llega con interrupciones. En estas circunstancias el medicamento actúa retardando la acción de la bomba de recolección de neurotransmisores y abriendo la posibilidad a que la terminal postsináptica recoja la mayor cantidad de neurotransmisores y la señal se escuche fuerte y clara (Sanguesa, 2010).

III. 3. 3. Plasticidad neuronal

Conocer es transformar. El conocimiento deviene de la excitación de células nerviosas producto de la estimulación externa o interna del organismo. Dependiendo de la calidad y cantidad del estímulo las transmisiones sinápticas se transforman dan lugar a nuevas conexiones o desaparecen o bien retornan a su estado precedente. La estimulación permanente de ciertos circuitos neuronales modifica las interconexiones sinápticas, generan cambios anatómicos y funcionales tanto en el cerebro, como en el organismo. Conocer es adaptarse a los requerimientos del medio ambiente, es solucionar problemas es cambiar siempre y constantemente. En palabras de Ramón y Cajal “Todo ser humano si se lo propone puede ser escultor de su propio cerebro”. Esta sentencia grafica la plasticidad neuronal como el proceso fisiológico que subyace en todo tipo de experiencia: aprendizaje, influencia del medio ambiente, modificaciones del estado interno del organismo o lesiones.

La “plasticidad neuronal” expresa literalmente el principio de cambio y renovación constante. Etimológicamente el termino plasticidad proviene del adjetivo “plástico” y del sufijo abstracto “idad” que significa cualidad de Plástico proviene del latín “Plasticus” y este proviene del griego “plastikos” y plastikos proviene de “plastos” que significa formado moldado. En la antigua Grecia relacionado con las artes pasticas que sugieren habilidad para modelar; así mismo en la Leyes de Platón el término plastos tiene el sentido de dúctil (Etimología Plástico, n.d.). A finales de siglo XX el concepto de plasticidad se usó en biología para hablar de capacidad de adaptación de un organismo a cambios en su medio. Kandel (2007) define la plasticidad neuronal como “La habilidad de las sinapsis, las neuronas o las regiones cerebrales para cambiar sus propiedades en respuesta al uso o a diferentes perfiles de estimulación” (Kandel, 2007). Este concepto encarna una de las cualidades más destacadas del ser humano, la posibilidad de cambio.

III. 3. 3. 1. Plasticidad neuronal en la obra de William James

El concepto de plasticidad neuronal hace referencia a las múltiples posibilidades de organizar la mente, la conducta y los pensamientos. Ya en el siglo pasado el psicólogo americano William James en su obra Principios de psicología, capítulo titulado “El Hábito”, establece que la conducta humana resulta de la experiencia y el aprendizaje social y personal; en su interacción con el medio ambiente, con la sociedad y consigo mismo. Entiende “hábito” como la replicación de pautas de conducta generadas por el aprendizaje en contraposición al mundo orgánico donde la repetición natural del comportamiento se denomina instinto.

Porque en última instancia se deben a la estructura del compuesto, y sea por fuerza externa o por tensiones internas pueden, de una hora a otra, cambiar esa estructura y hacerla algo diferente de lo que fue. Es decir, pueden hacerlo si el cuerpo es lo suficientemente plástico como para mantener su integridad, y no descomponerse cuando su estructura cede (James, 1890).

III. 3. 3. 2. Plasticidad neuronal en la obra de Santiago Ramón y Cajal

A finales del siglo XIX Ramón y Cajal define plasticidad neuronal como “la propiedad por virtud de la cual ocurren cambios funcionales sostenidos en sistemas neuronales luego de la administración de estímulos ambientales apropiados o la combinación de diferentes estímulos” (Benfenati, F, 2007), citado en (S. Mora, 2013). Experiencia y aprendizaje, son estímulos externos por antonomasia que consciente o inconscientemente modifican el comportamiento del individuo. En la medida en que cierta conducta se repite periódicamente y de manera sistemática, se modifican circuitos y redes neuronales, generan cambios funcionales sostenidos, que influyen en la conducta del individuo. Así, la práctica sostenida de un ejercicio físico o mental modifican los circuitos neuronales, amplían las redes de comunicación sináptica, es más rediseñan la estructura de las células nerviosas. Así lo expreso Ramón y Cajal en 1894 en un célebre discurso pronunciado en la Royal Society de Londres:

Es muy probable que el ejercicio mental despierte en las regiones del cerebro. Más demanda mayor desarrollo del aparato protoplasmático y sistema colateral nervioso. De esta manera, las asociaciones ya creadas entre ciertos grupos de células se fortalecerían significativamente mediante la multiplicación ramitas terminales de los

apéndices protoplasmáticos y colaterales nervioso; pero, además, conexiones intercelulares completamente nuevas podría establecerse mediante la formación de colaterales y expansiones protoplasmáticas ("La estructura fina de los centros nerviosos", Proc. R. Soc., London Ser. B 55 (1894): 444-468, versión facilitada por la Biblioteca del Instituto Leloir de Buenos Aires.) citado en (Kandel, 2007, p. 188).

Es decir, que el aprendizaje (o la experiencia²⁸) periódico y sostenido es la actividad que modifica y fortalece la estructura interna de la célula, así como del circuito sináptico vinculado al conjunto de la experiencia. Esta transformación ocurre gracias a la generación de proteínas específicas que modifican la estructura celular y consolidan las conexiones sinápticas. De hecho, las células implicadas con una práctica específica desarrollan mayor número de espinas dendríticas incrementando el número de conexiones sinápticas vinculadas al tipo de aprendizaje o experiencia en particular.

III. 3. 3. Plasticidad neuronal en la obra de Jaerzy Kornowski

En 1948 Jaerzy Kornowski, neurofisiólogo polaco y discípulo de Pavlov planteó que en la comunicación interneuronal existen dos tipos de cambios (Kandel, 2007). El primero denominado excitabilidad, referido al potencial de acción, señala que el momento en “que se produce después de que en una vía neuronal se genere un potencial de acción o varios”, en respuesta a este estímulo “el umbral del potencial se eleva por un instante para que se generen otros tantos potenciales de acción vinculados al circuito sináptico” (Kandel, 2007).

El segundo elemento fue denominado cambio plástico refiere a “transformaciones

²⁸ Aprendizaje y experiencia: Pueden ser sinónimos toda vez que una experiencia es un aprendizaje y un aprendizaje siempre es una experiencia. Pero puedes tener experiencia y no aprender nada. Una experiencia súbita. Entonces el aprendizaje a diferencia de la experiencia súbita necesita de una estimulación periódica y constante por un determinado periodo de tiempo,

funcionales permanentes [...] en determinados sistemas de neuronas por obra de estímulos adecuados o de su combinación”, continua él neurocientífico. Estos cambios en las transmisiones sinápticas resultan de aplicar protocolos de aprendizaje implícito²⁹, a saber: habituación, sensibilización y condicionamiento clásico.

La habituación es la disminución de la respuesta ante un estímulo constante. El individuo se habitúa al estímulo como es el caso de quien trabaja en una fábrica donde en principio el ruido de las máquinas es molesto, pero después de un tiempo el trabajador se habitúa al ruido y pese al ruido puede concentrarse en su trabajo. Aquí el aprendizaje modifica la conducta del sujeto de manera paulatina y sin dolor, el sujeto se acostumbra al ruido.

La sensibilización es la respuesta exagerada a la reacción de estímulos nocivos (Kandel 2004), por ejemplo, si un animal por accidente recibe una descarga eléctrica y de inmediato se acerca el dueño a socorrerlo, bastara una caricia para que se produzca una respuesta de rechazo. Es decir, un estímulo fuerte genera una respuesta de rechazo, además si a este estímulo fuerte le sigue un estímulo débil la respuesta ante este último será también de rechazo. Aquí el aprendizaje se produce por la intensidad del primer estímulo, que genera un recuerdo nocivo en el animal.

El condicionamiento clásico consiste en la transformación y asociación de estímulos neutros en estímulos condicionados. Es el caso del experimento de Pavlov, quien hacía sonar una campana cada vez que alimentaba a su perro. La repetición constante de esta práctica produjo primero la transformación de un estímulo neutro en condicionado, en

²⁹ El aprendizaje implícito: consiste en la adquisición de conocimientos o destrezas sin que exista una intención manifiesta. El supuesto básico de este aprendizaje, es que la persona que aprende no es, a menudo consciente de sus propios progresos, ni tampoco es capaz de expresar lo que ha aprendido (PSIQUIPEDIA, s.f.).

segundo lugar, la asociación de ambos estímulos generó un aprendizaje condicionado, pues cada vez que Pavlov tocaba la campana (aunque no haya alimento de por medio) el perro salivaba. El condicionamiento clásico consiste en la transformación de un estímulo neutro condicionado por medio de la creación de una respuesta también condicionada. Aquí el aprendizaje a largo plazo se expresa en la relación entre el estímulo condicionado y el reflejo de salivación.

III. 3. 3. 4. Plasticidad neuronal en la obra de Erick Kandel

Erick Kandel premio Nobel de Fisiología o Medicina 2000. Prolífico investigador especialista en Neurociencia y Neurofisiología. Dedicó su trabajo al estudio de la memoria como correlato inmediato de la plasticidad sináptica. Enfoca su trabajo a responder la interrogante ¿dónde y cómo se almacenan los recuerdos?

Basado en datos de la psicología conductista sobre el aprendizaje afirma que la estimulación sensorial modifica las transmisiones sinápticas, las vuelve más estables y produce cambios a largo plazo. Afirmaciones que confirman la tesis de Cajal (1894) el aprendizaje modifica las conexiones sinápticas. Kandel reformula esta tesis y afirma: diferentes tipos de aprendizaje generan diferentes perfiles de actividad neural y cada perfil modifica las transmisiones sinápticas de manera particular (Kandel, 2007). En otras palabras, diferentes tipos de aprendizaje responden a diferentes tipos de actividad neural o lo que es lo mismo, a cada tipo de aprendizaje le corresponden transmisiones sinápticas particulares y específicas.

III. 3. 3. 5. Plasticidad y educación

Cada vez que aprendemos algo, desde atarnos los cordones de los zapatos, interpretar una pieza musical en piano o resolver un problema matemático se generan cambios en el cerebro. Dinámica inherente a la estructura neuronal expresada en la transmisión de información entre redes y circuitos neuronales. Es la expresión de cambio y renovación constante del cerebro, denominada plasticidad cerebral (neuronal o sináptica).

“La plasticidad es el concepto fundamental que explica la organización del cerebro” (Bueno i Torrens, 2019, p. 279). Es la interacción constante entre cerebro y medio ambiente, de donde resultan el cambio y la adaptación a nuevas condiciones de existencia. La plasticidad, en el día a día, actúa como respuesta o como propuesta. El primer caso consiste en la respuesta ante estímulos sociales o medioambientales; en tanto que en el segundo denota interacción con el medio físico o social, sea para modificar el medio ambiente o establecer acuerdos entre semejantes. Esta noción de plasticidad trasciende del ámbito biológico al social, cultural y educativo, pues los cambios ocurridos en el cerebro se expresan en la conducta “... la plasticidad conductual [...] es una manifestación de la plasticidad neuronal”. Interacción biológica y cultural denota el principio de coevolución entre cerebro y cultura, pues toda vez que el cerebro crea cultura la cultura, la educación y la interacción con otros cerebros estimulan el desarrollo del cerebro. Sin dejar de lado el juego entre límites y posibilidades enmarcados por la genética y la cultura, por los estímulos medioambientales generados por la educación, el aprendizaje y la experiencia.

Plasticidad y educación son cualidades inherentes al ser humano, ambas amplían los horizontes existenciales del sujeto, ambas cualidades interactúan constantemente y se retroalimenta así mismas. Es un hecho que el nacimiento de un niño cambia la vida de sus padres, ellos se constituyen en educadores; en esta relación natural subyacen procesos de

plasticidad y aprendizaje constantes. Así, al regular el ciclo de sueño y vigilia, al alimentarlo, al compartir emociones, al cuidarlo, inculcan en el infante una serie de patrones de comportamiento que quedarán registrados en las redes neuronales del infante para toda su existencia. Al mismo tiempo, el contexto creado en torno al niño reeduca a los padres quienes cambian sus hábitos en función a los hábitos que va adquiriendo el infante, como la hora de dormir, el tipo de alimentación, las actividades de fin de semana, etc. Esta es la cabal expresión de plasticidad cerebral y educación, donde los cerebros de padres e hijos cambian en función al aprendizaje, a la experiencia, a la interacción entre ambos miembros de la ecuación. Relación que tiene como protagonista al cerebro del infante y en torno a él figuras familiares, culturales, educadores, artistas entre otros irán influyendo en la dinámica neuronal cuya máxima expresión es la plasticidad cerebral.

Aprendemos desde el nacimiento hasta la muerte, sin embargo, todo aprendizaje es susceptible de evaluación, por tanto, de modificación, de cambio. Así en la noción de educación y aprendizaje subyace siempre y constantemente el principio de plasticidad cerebral, gracias al cual se abre la posibilidad de construir o reafirmar el conocimiento adquirido, de cambiar estructuras de pensamiento, de rectificar errores, de conocerse a uno mismo a través de la autoobservación y autoevaluación. Con la educación el cerebro cambia constantemente desde los primeros años de vida, pasando por las instituciones educativas, la universidad, hasta la vejez se crean, renuevan o pierden conexiones sinápticas entre neuronas y redes neuronales. Concebir la educación como plasticidad implica transmitir el conocimiento del cerebro desde la escuela, implica formar a los futuros padres como educadores, como guías para el óptimo desarrollo del cerebro. Pues, “desde el nacimiento y hasta los tres años los niños aprenden las cosas más importantes de su vida, las que

condicionarán más su carácter y temperamento cuando sean adultos” (Bueno i Torrens, 2019, p. 41).

III. 3. 4. Plasticidad y memoria en el caracol *Aplysia californica*

El comportamiento del individuo expresa la historia de su aprendizaje y con él, se pone en evidencia las transformaciones internas del cerebro expresadas en la plasticidad neuronal cuyo punto de inflexión son las sinapsis. Kandel se dedicó al estudio intrínseco de las conexiones sinápticas convencido de que “... los mecanismos celulares del aprendizaje y de la memoria no descansan en propiedades especiales de la neurona, sino en las conexiones que ella establece con otras células de su propio circuito neuronal” (Kandel, 2007, p. 170). Emplea el método reduccionista³⁰ que consiste en “... minimizar el número de variables implicadas para obtener un mejor control del proceso” (Muzzio, 2001, p. 101). En ese sentido busca un organismo sencillo que permita identificar y manipular células neuronales en un circuito específico, y al mismo tiempo tener la posibilidad de aislar y cultivar dicho circuito.

La elección del método reduccionista se apoya en referentes científicos como la etología³¹ y la biología molecular. La etología demuestra que ciertas formas elementales de aprendizaje se replican en vertebrados e invertebrados. La biología molecular afirma “... la mitad de los genes que se expresan en el genoma humano están presentes en animales invertebrados mucho más simples como el gusano *C. elegans*, la mosca *Drosophila* y el caracol *Aplysia*”

³⁰ Un sistema reduccionista es sumamente informativo porque es probable que los mecanismos de almacenamiento de la memoria estén conservados filogenéticamente. De este modo el análisis molecular del aprendizaje, con independencia de lo simple que sea el animal o la tarea estudiada, es probable que revele mecanismos generales (Muzzio, 2001).

³¹ Etología: Estudio del comportamiento (humano y animal) estudia la conducta y el carácter

(Muzzio, 2001, p. 289). La biología molecular estudia los fundamentos biológicos del aprendizaje en organismos más sencillos.

Investigaciones sobre comportamiento animal y estructura celular del caracol *Aplysia californica* le inducen al estudio sistemático y detallado de la memoria. *Aplysia* es un Caracol marino de gran tamaño mide como 75 cm. de largo, pesa poco más de dos kilos y emite una tinta de color púrpura cuando siente peligro. Cuenta con tan solo 20 000 neuronas lo que representa una ventaja frente los 86 000 millones de neuronas del *Homo sapiens* (Kandel, 2007).

Basado en los estudios conductistas de Jaerzy Kornowski discípulo de Pavlov. Knadel indaga ¿cómo se modifican las sinapsis en el aprendizaje? Para ello modifica los protocolos conductistas del aprendizaje implícito, desarrollados por Pavlov, en protocolos bilógicos, a través de análogos del aprendizaje. El procedimiento consiste en estimular un circuito neuronal mediante descargas eléctricas simulando los tres tipos de aprendizaje: habituación sensibilización y condicionamiento clásico.

En los ensayos de habituación se aplicaron diez descargas eléctricas de baja intensidad simulando estímulos de aprendizaje sensible, se observó que el potencial sináptico del circuito neuronal decrece. En los ensayos de sensibilización las descargas fueron más intensas simulando estímulos de aprendizaje más vivos (violentos), en este caso se observó un marcado incremento del potencial sináptico³². Así mismo, el científico identificó

³² Potencial sináptico: cambio gradual de potencial en la membrana de una célula postsináptica generado por una señal, química por lo general, proveniente de una neurona presináptica. Un potencial sináptico puede ser excitatorio o inhibitorio. Si tiene intensidad suficiente, el potencial sináptico excitatorio genera un potencial de acción en la célula postsináptica. Así, el potencial sináptico es un paso intermedio que vincula el potencial de acción de la célula presináptica con el potencial de acción de la postsináptica.

cambios anatómicos en las neuronas sensibilizadas expresadas en el desarrollo de nuevas terminales presinápticas, así como en la eficacia de repuesta del circuito neuronal. “Este hecho sugería que la plasticidad sináptica es una característica intrínseca de la sinapsis química, de su arquitectura molecular. (...) indicaba que el flujo de información en los diversos circuitos neurales del cerebro podía modificarse mediante el aprendizaje” (Kandel, 2007, p. 204). Kandel, descartó trabajar con el condicionamiento clásico debido a que las respuestas son las mismas cuando se aplica un estímulo débil en paralelo a un estímulo fuerte.

Con el fin de aplicar estos datos en un sistema reduccionista que permita explicar ¿Cómo cambian las sinapsis con el aprendizaje? elabora un repertorio etológico pormenorizado de *Aplysia*, se enfoca en un comportamiento que puede modificarse con el aprendizaje.

Identifica el circuito neuronal de ese comportamiento. Localiza dentro de ese circuito las interconexiones neuronales críticas para el aprendizaje. Para esclarecer su incógnita realiza un análisis celular y molecular de las neuronas, así como de las sinapsis implicadas en el proceso de aprendizaje (Muzzio, 2001).

Identifica nueve ganglios donde confluyen varias terminaciones nerviosas y regulan el comportamiento del caracol. Para su estudio elige el ganglio abdominal compuesto por 2 000 células y controla movimientos del ritmo cardiaco, la respiración, la postura de huevos, la liberación de tinta, la retracción de la branquia y el sifón (Kandel, 2007). De entre estos comportamientos elige la retracción de la branquia como objeto de estudio. La branquia es el órgano externo de respiración del caracol, ante la estimulación táctil en principio se retrae, empero luego de varios ensayos del mismo tipo el reflejo se debilita.

El circuito correspondiente al ganglio abdominal de *Aplysia* consta de 24 células sensoriales y 6 células motoras (Muzzio, 2001). Se estimulan las transmisiones sinápticas realizadas entre terminales presinápticas de neuronas sensibles y las dendritas de neuronas motoras. Los resultados muestran que con cuarenta estímulos de sensibilización al día el caracol desarrolla una memoria a corto plazo, aprende solo por un día, en tanto que al aplicar diez estímulos de sensibilización por día durante cuatro días *Aplysia* desarrolla una memoria a largo plazo, aprende por una semana. Esto demuestra que la memoria a corto plazo es inestable en contraposición a la memoria a largo plazo más estable. Al mismo tiempo infiere que “en *Aplysia* la memoria de largo plazo exige un entrenamiento reiterado con periodos intercalados de descanso como ocurre en los seres humanos” (Kandel, 2007, p. 228).

Los experimentos de aprendizaje por habituación y sensibilización realizados en el ganglio abdominal del caracol demuestran que el aprendizaje simple perdura con la experiencia. Así en los ensayos de habituación las sinapsis se atenúan en tanto que durante la sensibilización las sinapsis se intensifican. Es más, durante la sensibilización, equivalente a la memoria a largo plazo, los cambios de la intensidad sináptica no solo son más duraderos, sino que gracias a la síntesis de proteínas se modifica la estructura anatómica de las neuronas. Los ensayos con *Aplysia* demostraron que “... el número de sinapsis en el cerebro no es constante: ¡cambia con el aprendizaje! Además, la memoria de largo plazo persiste mientras perduran los cambios anatómicos” (Kandel, 2007, p. 254).

Más aún, Bailey y Chen (en Kandel 2007) descubrieron que una neurona sensorial tiene 1 300 terminales presinápticas dispuestas a establecer contacto con 25 células diferentes, en la sensibilización a largo plazo dicho número llega a 2 700 terminales presinápticas

(Kandel, 2007). Es decir que en la memoria a largo plazo las terminales presinápticas, ubicadas en el extremo apical del axón, se incrementan y abren la posibilidad de generar mayor número de conexiones sinápticas. Al mismo tiempo estableció que los cambios celulares observados en *Aplysia* relacionados con la memoria a corto y largo plazo son equivalentes a los cambios que ocurren en las células de mamíferos grandes.

III. 3. 5. La estructura molecular de las neuronas cambia con el aprendizaje

François Jacob y Jacques Monod (1961) descubrieron que “... es posible regular los genes, es decir, que se los puede activar y desactivar como se enciende y se apaga una llave eléctrica” (Kandel, 2007, p. 301). Basado en este hecho Kandel, amplía su investigación, explica lo que ocurre al interior de la célula nerviosa, y expone cómo funciona este mecanismo al interior de la propia sinapsis. Recordemos: en cada célula del cuerpo humano contiene todos los genes³³ necesarios para replicar la información completa de todo el organismo. La diferencia específica, entre ellas, radica en que cada célula solo activa los genes precisos de acuerdo al tipo y función que cumple. Así el resto de la información genética permanece, en el núcleo celular, en los cromosomas, en estado latente, desactivado o reprimido (Kandel, 2007). Al mismo tiempo, debemos tener en cuenta que, los genes se activan o desactivan en función al rendimiento óptimo de la célula, sea en etapas de crecimiento, sea en procesos energéticos o en procesos de aprendizaje. En consecuencia,

³³ Gen: secuencia específica de ADN que está ubicada en un determinado lugar del cromosoma y contiene instrucciones para sintetizar una proteína en particular (Kandel E. R., 2007, pág. 500).

Los genes son unidades de almacenamiento de información genética que le dicen al cuerpo como generara proteínas para realizar modificaciones estructurales requeridas por el organismo. En cada célula del cuerpo humano hay como 20 000 tipos diferentes de genes cada uno con información específica que determina el tipo y función celular.

los genes se activan según requerimientos internos del cuerpo o por influencia externa, en una palabra, por el aprendizaje.

En palabras de Kandel, si la expresión de genes³⁴ corresponde a estímulos externos y todo aprendizaje es un estímulo. Entonces, en el aprendizaje subyacen procesos de expresión génica que marcan el paso de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo. En el caso de neuronas estimuladas por el aprendizaje sensible la expresión de genes modifica la estructura anatómica de la célula sensible incrementando el número de terminales presinápticas.

La memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo se inician con estímulos ambientales que producen variaciones tanto en la composición intracelular, como en la propia transmisión sináptica. El análisis molecular de la sinapsis muestra la participación de dos compuestos intracelulares encargados de modificar la expresión génica de la neurona sensible; el AMP CÍCLICO³⁵ y la proteína QUINASA A³⁶ ambos participan de la liberación de serotonina, neurotransmisor esencial en procesos básicos de aprendizaje, como la habituación y la sensibilización. La memoria a corto plazo (ensayos de habituación) produce cambios en la tenacidad³⁷, e intensidad de las transmisiones sinápticas, así como la retracción de terminales presinápticas. En este caso el AMP CÍCLICO activa la proteína

³⁴ Expresión de genes: producción de proteínas por obra de la información genética específica codificada en el ADN de un organismo (Kandel, 2007, p. 500)

³⁵ AMP cíclico (adenosina 3', 5'-monofosfato cíclico): molécula que actúa como segundo mensajero en la célula causando cambios en la estructura y las funciones de las proteínas. El AMP cíclico activa una enzima denominada proteína quinasa dependiente del AMP cíclico, que obra sobre muchas proteínas y modifica su función; entre estas proteínas se encuentran los canales de iones y las proteínas que regulan la transcripción del ADN a ARN (Kandel, 2007, p. 495)

³⁶ Proteína quinasa A: blanco del monofosfato de adenosina cíclico (AMP CÍCLICO) y enzima que interviene en la fosforilación de proteínas. a menudo actúa conjuntamente con la proteína quinasa A para iniciar el proceso de la memoria de largo plazo (Kandel, 2007, p. 502).

³⁷ La tenacidad –eficacia a largo plazo de las conexiones sinápticas– está regulada por la experiencia.

QUINASA A produciendo la liberación de serotonina, mas no la producción de proteína reguladora de expresión génica CREB.

La memoria a largo plazo (ensayos de sensibilización) replica el mecanismo de la memoria a corto plazo, pero en este caso la proteína QUINASA A se desplaza hasta el núcleo celular donde activa proteínas reguladoras de expresión génica. El resultado de este proceso muestra un incremento del número de terminales presinápticas. De hecho, en la memoria a largo plazo se establecen nuevas conexiones sinápticas a tiempo que se refuerzan la tenacidad e intensidad de las mismas.

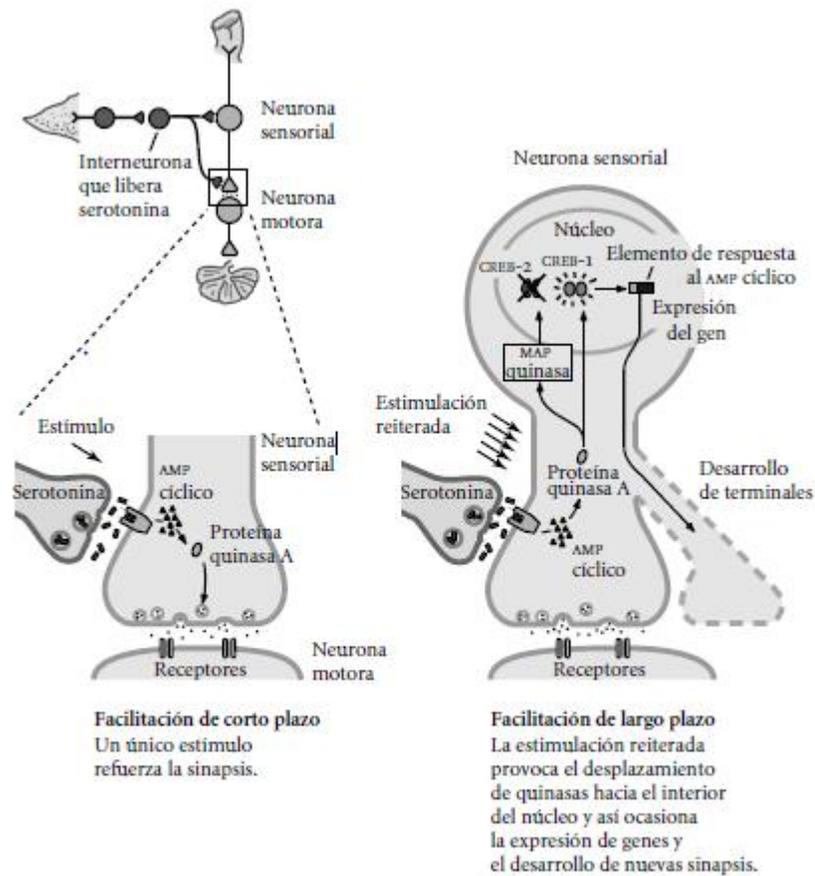
III. 3. 5. 1. Transformaciones génicas durante la sinapsis

Prosiguiendo con las pruebas basadas en análogos del aprendizaje en células neuronales de *Aplysia*. Se identificó, aisló y trasladó a una caja de cultivo un circuito neuronal compuesto por una única neurona sensitiva (presináptica) en sinapsis con una única neurona motora (postsináptica) proveniente del ganglio abdominal del caracol. Las pruebas mostraron en primer lugar el trayecto de la proteína QUINASA A desde la sinapsis hacia el núcleo celular de la neurona sensible. En segundo lugar, la función de QUINASA A durante la sinapsis y el papel de esta proteína en la activación de la proteína CREB destinada a la expresión génica.

Una vez dispuesto el circuito neuronal en la caja de cultivo, se estimuló la región sináptica con serotonina, como análogo de aprendizaje, así una aplicación de serotonina corresponde a un estímulo de sensibilización. Con una aplicación de serotonina en la sinapsis se despliega la memoria a corto plazo, y no se presenta actividad de la proteína QUINASA A. En tanto que cinco aplicaciones de serotonina con intervalos periódicos de tiempo indican a

la célula un interés duradero, muestran cambios en la estructura anatómica en las terminales presinápticas de la neurona sensible. Estos cambios se deben al desplazamiento de la QUINASA A hacia el núcleo de la neurona sensible donde se activan los receptores de la proteína CREB encargada de realizar cambios génicos expresados en el desarrollo de nuevas terminales presinápticas. De hecho, las transformaciones a nivel molecular afectan la estructura de la célula sensible, incrementan el número de terminales presinápticas, amplían el espectro de posibilidades para establecer nuevas conexiones sinápticas con neuronas vecinas. La figura 19 representa lo que ocurre con las terminales presinápticas de las neuronas sensoriales.

Figura 19: Mecanismos moleculares de la facilitación de corto y de largo plazo



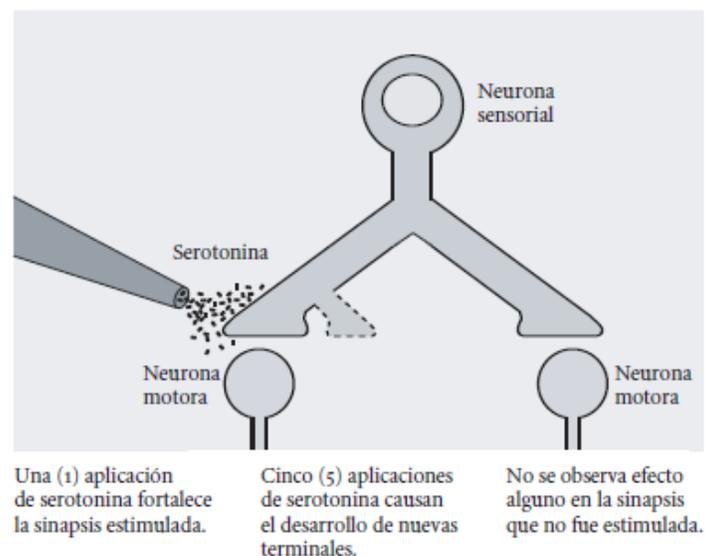
Mecanismos moleculares de la facilitación de corto y de largo plazo.

Tomado de: (Kandel, 2007)

El siguiente paso consistió en saber que ocurre con la QUINASA A después de activar la proteína CREB encargada de realizar la expresión de genes. Para esto, en un segundo experimento, se construyó un circuito neuronal compuesto de tres células. Una neurona sensorial con un axón bifurcado (Terminal 1 de neurona sensible: T1 N s.) (Terminal 2 de neurona sensible: T2 N s.) que establece conexiones sinápticas con dos neuronas motoras (N m.1 y N m.2); el conjunto forma un circuito neuronal compuesto por dos sinapsis.

Sinapsis 1 (T1 N s. + N m.1) y sinapsis 2 (T2 N s. + N m.2). Recordemos, la dirección del impulso nervioso viaja en un solo sentido, esto es: desde las dendritas al cuerpo celular, de allí al núcleo, hasta llegar al montículo del axón que genera el potencial de acción y habilita los botones sinápticos, ubicados en el extremo del axón. La proteína CREB incrementa la cantidad de terminales postsinápticas (botones sinápticos del axón) Figura 20.

Figura 20: Modificación sináptica



Configuración del estudio sobre el papel de la serotonina en la modificación sináptica. Una neurona sensorial (Ns en la foto superior) con un axón bifurcado establece sinapsis con dos neuronas motoras (Nm). Se aplica serotonina a una sola de las sinapsis. Sólo esa sinapsis experimenta cambios de corto y de largo plazo. (Cortesía de Kelsey Martin.)

Tomado de: (Kandel, 2007)

Al estimular con serotonina la sinapsis 1 compuesta por la neurona sensible (Ns.) y la neurona motora (Nm.1) la proteína QUINASA A se desplaza desde la sinapsis hasta el núcleo celular, estimula la proteína CREB encargada de la expresión génica. Destaca el hecho que la expresión de genes se limita a la sinapsis estimulada. Solamente se

incrementan las terminales postsinápticas correspondientes a la sinapsis 1 (Ns.- Nm1) en tanto que las terminales sinápticas entre la neurona sensible y la neurona motora 2 Nm.2 no sufren alteración alguna. Es decir que el desplazamiento de la proteína QUINASA A solo afecto a la sinapsis estimulada. Este hecho demuestra la presencia de una selección y especialización al interior del núcleo celular de la neurona sensible que sólo envía información a la sinapsis estimulada y a la otra no. Al mismo tiempo demostró que las conexiones sinápticas son reforzadas por medio de la síntesis de proteínas generadas en las mismas conexiones sinápticas.

Es una muestra de la especialización celular durante el aprendizaje y la independencia de las transformaciones génicas. Puesto que si la QUIMASA A se desplaza hacia el núcleo celular y una vez allí activa la proteína reguladora de genes (CREB) se podría esperar que la expresión génica ocurra en ambas conexiones sinápticas. Sin embargo, la expresión génica ocurre solamente en la sinapsis vinculada con el circuito correspondiente al aprendizaje.

Este hecho evidencia una de las múltiples expresiones de la plasticidad neuronal. Una misma neurona puede establecer conexiones sinápticas de corto y largo plazo con otras tantas neuronas interconectadas con diferentes circuitos sinápticos. Hecho que amplía el rango de acción de la neurona e incrementa las posibilidades de interconexión neuronal.

De esta manera, la memoria a largo plazo, cabal expresión de la plasticidad neuronal, resulta de la práctica alterna, sostenida y constante de una actividad o tarea, destinada a modificar aspectos conductuales como a la adquisición de conocimiento abstracto. En el mismo orden de cosas, destacamos el papel de las emociones durante el aprendizaje y la

memoria. En ambos casos se generan grandes dosis de serotonina y producen recuerdos vívidos en el individuo, (cabe recordar el papel del núcleo amigdalino como depositario de la memoria filogenética y ontogenética). Aquí radica la importancia de las emociones, de generar placer durante el aprendizaje, es el caso del gusto por la disciplina elegida.

Aprender con placer y emoción a la vez que facilitan el aprendizaje conllevan al éxito antes que al fracaso. Solo se aprende aquello que se ama (F. Mora, 2013).

III. 3. 5. 2. La memoria a largo plazo depende de la expresión de genes

Hasta aquí vimos los procesos metabólicos que ocurren al interior de la célula nerviosa, pero ¿qué ocurre la propia sinapsis? ¿Cuál es el mecanismo para que las nuevas conexiones sinápticas producto de la expresión de genes se mantengan en el largo plazo? Los experimentos de Kandel muestran que para la consolidación de la memoria a largo plazo ocurren dos procesos. Primero la proteína QUINASA A que se desplaza hasta el núcleo celular, activa la proteína CREB y se produce la expresión de genes. El segundo proceso que mantiene las nuevas conexiones sinápticas exige la síntesis local de proteínas. Así en la memoria a largo plazo las transmisiones sinápticas son reforzadas con la síntesis de proteínas en la propia sinapsis.

La síntesis de proteínas en las sinapsis se produce gracias a un mecanismo gatillado desde el núcleo celular y enviado hacia las sinapsis en forma de una nueva proteína los Priones³⁸.

Las proteínas del tipo Prion tienen características muy peculiares toda vez que sus alelos

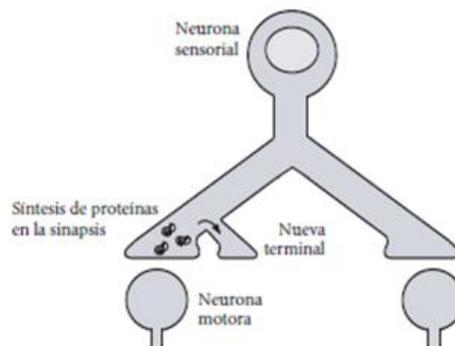
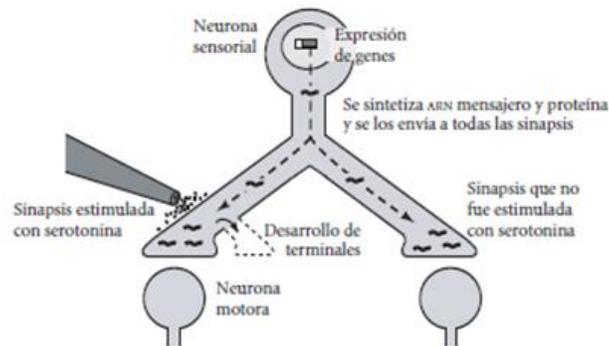
³⁸ Prión (agente infeccioso proteico): clase reducida de proteínas infecciosas que pueden adoptar dos formas funcionales distintas: la recesiva, que permanece inactiva o tiene un papel fisiológico ordinario, y la dominante, que se autoperpetúa y es tóxica para las células nerviosas. En su forma dominante, los priones pueden causar enfermedades degenerativas del sistema nervioso como el mal de la vaca loca (encefalitis espongiforme bovina) y la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob en los seres humanos (Kandel, 2007).

recesivos³⁹ y dominantes⁴⁰ cambian de acuerdo al tipo de función celular. En su expresión recesiva la función del prion queda enmascarada no se manifiesta. En su expresión dominante el alelo se perpetúa, en este caso el prion es causa de una serie de patologías cerebrales, los priones son letales para las células cerebrales, son causantes de enfermedades como la de las vacas locas. Sin embargo, durante las sinapsis vinculadas con la memoria a largo plazo el alelo recesivo es absorbido o transformado por el alelo dominante y de ahí en adelante ambos perpetúan la estabilidad de las transmisiones sinápticas. “Evidentemente, una molécula que se autoperpetúa puede mantenerse indefinidamente en la sinapsis regulando la síntesis local de proteínas necesaria para mantener las nuevas terminales sinápticas” (Kandel, 2007, p. 320). (Figura 21).

³⁹ Recesivo se refiere a la relación entre dos versiones de un gen. Los individuos reciben una versión de un gen, llamada alelo, de cada padre. Si los alelos son diferentes, el alelo dominante se expresa, mientras que el efecto del otro alelo, denominado recesivo, queda enmascarado (Human Genome, n.d.).

⁴⁰ Dominante se refiere a la relación entre dos versiones de un gen. Cada individuo recibe dos versiones de cada gen, conocidas como alelos, una de cada padre. Si los alelos de un gen son diferentes, el alelo que se expresa es el gen dominante. El efecto del otro alelo, denominado recesivo, queda enmascarado (Human Genome, n.d.).

Figura 21: Mecanismos de la memoria a largo plazo



Son dos los mecanismos que intervienen en los cambios de largo plazo. Se envían nuevas proteínas a todas las sinapsis (parte superior de la figura), pero sólo las sinapsis estimuladas con serotonina las utilizan para iniciar el desarrollo de nuevas terminales en el axón. Se necesitan proteínas sintetizadas localmente (parte inferior de la figura) para mantener el crecimiento iniciado por la expresión de genes.

Nota Tomado de (Kandel, 2007)

Kandel sintetiza su trabajo entre genes y sinapsis con la elaboración de tres principios que hacen a la memoria a largo plazo. El primer principio: “para que la memoria a largo plazo se ponga en acción es necesario que se active cierto tipo de genes. El segundo principio: hay limitaciones biológicas respecto de la índole de las experiencias que se almacenan en la memoria” (Kandel, 2007, p.322). Limitante rebasada cuando el estímulo de serotonina de la memoria a corto plazo es superado, sea por la práctica, la experiencia o las emociones,

hasta alcanzar el umbral que necesario para el desplazamiento de proteínas encargadas de la expresión génica. Este hecho es sumamente significativo, indica que los genes responden a transformaciones del medio ambiente como es el caso del aprendizaje. El tercer principio: el desarrollo y mantenimiento de nuevas terminales sinápticas hace que la memoria persista (Kandel, 2007, p.322). Íntimamente relacionado con el cambio del mapa cortical, es decir que el cerebro tiene siempre la posibilidad de establecer nuevas conexiones sinápticas hecho que denota el potencial de flexibilidad de las conexiones interneuronales.

III. 4. Cerebro Emocional y Capacidad Cognoscitiva

“La medida de la inteligencia es la habilidad de cambiar cuando es necesario”

A. Einstein

El desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* depende de su relación con el medio ambiente, la cultura, consigo mismo y con sus emociones. La relación entre cerebro y condiciones de existencia, es particular y auténtica para cada uno de los individuos de nuestra especie. Pues, ante un mismo estímulo el cerebro humano es capaz de responder racional y/o emocionalmente. Es más el neurocientífico Francisco Mora, afirma enfáticamente “no hay razón sin emoción (...) los elementos básicos del pensamiento, las abstracciones o ideas, ya las manejan las áreas de asociación de la corteza cerebral no de un modo aséptico, sino con un significado y colorido emocional” (Mora, 2013, p. 66).

III. 4. 1. Configuración del cerebro emocional

Una mirada al pasado, al tiempo en que se configura el cerebro emocional frente al tiempo de existencia del cerebro racional muestra la preeminencia de las emociones sobre la razón. El registro fósil indica que el linaje del género *Homo* se desprende de una especie de mono africano *Australopithecus africanus*, denominado Lucy, se remonta hace 3 300 millones de años atrás. Paso mucho tiempo hasta que hace 2 100 millones de años, apareció el *Homo habilis*, primer espécimen correspondiente al género *Homo*. Finalmente, hace 300 000 años surgió el *Homo sapiens* de quien recién hace unos 150 000 años se desprende el *Homo sapiens sapiens*. Nuestra especie.

Según Goleman (2000), recién hace 3 772 años que la razón intenta controlar las emociones a través de la imposición de leyes que rigen el comportamiento humano. El primer intento

racional de controlar instintos y emociones a través un sistema de leyes racionalmente escrito nos remonta a la ley del Tali3n inscrita en el c3digo Hammurabi⁴¹ que data del 1 752 a. de C.

Los diez mandamientos del Antiguo Testamento o los edictos del emperador Ashoka— deben considerarse como intentos de refrenar, someter y domesticar la vida emocional puesto que, como ya explicaba Freud en *El malestar de la cultura*, la sociedad se ha visto obligada a imponer normas externas destinadas a contener la desbordante marea de los excesos emocionales que brotan del interior del individuo (Goleman, 1995, p. 23).

III. 4. 1. 1. Las emociones estimulan a la acci3n

Etimol3gicamente la palabra emoci3n viene del lat3n *emotio* que se deriva del verbo *emovere*. Este verbo se forma sobre *movere* con el prefijo *e* (de, desde) y significa retirar, desalojar de un sitio hacer mover. Por esta raz3n una emoci3n se caracteriza por alterar el estado habitual del individuo (Etimolog3as, 2021). El diccionario de psicolog3a define emoci3n como: “una reacci3n afectiva intensa de aparici3n aguda y de breve duraci3n, determinada por un est3mulo ambiental. Su aparici3n provoca una modificaci3n en el nivel som3tico, vegetativo y ps3quico” (Galimberti, 2002), en toda emoci3n hay una tendencia impl3cita a actuar.

⁴¹ La civilizaci3n mesopot3mica se desarroll3 entre los r3os Tigris y Eufrates desde el neol3tico, y el primer pueblo del que tenemos noticia hist3rica es el sumerio, los inventores de la escritura cuneiforme. Hammurabi (1792-1752 a de C.) fue el sexto rey de la I dinast3a de Babilonia, regi3n que se convirti3 durante su reinado en la potencia dominante y unificadora de Mesopotamia. En torno a 1752 a de C., cerca del final de su vida, proclam3 un edicto o c3digo en el que se regulaban tarifas y precios y se fijaban unas normas de derecho penal y matrimonial, a trav3s de una colecci3n de 282 sentencias o decretos que nos retratan a la sociedad babil3nica de la 3poca. Este C3digo de Hammurabi, que constituye la primera gran recopilaci3n de leyes escritas de la historia de la humanidad.

Francisco Mora (2010), afirma que las emociones son inherentes al mundo animal y cultural del hombre, son reacciones fisiológicas que se activan ante situaciones de peligro o placer. El neurocientífico define las emociones como “Reacción conductual y subjetiva producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos” (Delgado y Mora, 1998) en (Mora, 2001, p. 58). La información externa es generada por el entorno, el medio ambiente y/o las relaciones sociales. Ante la impronta de un estímulo intenso, sea de susto, rabia, sorpresa o alegría; los órganos del sistema límbico toman el mando del cerebro, se incrementa el ritmo cardíaco, se concentra el flujo sanguíneo en las extremidades, disminuye las funciones digestivas, se incrementa la sudoración y se altera el ritmo respiratorio. Los estímulos internos generan pensamientos, suposiciones y memorias que evocan al aspecto cognoscitivo y reflexivo del neocortex.

Las emociones son mecanismos evolutivos destinados a conservar y preservar la vida. Enquistados en el cerebro de todos los vertebrados, estos dispositivos de supervivencia permanecen casi intactos desde su génesis evolutiva hasta nuestros días (LeDoux, 1999). Las emociones articulan los órganos subcorticales del cerebro emocional con el neocortex, generan respuestas conscientes o inconscientes. Son conscientes cuando pasan del dominio animal al neocortex donde se convierten en sentimientos. Son inconscientes cuando permanecen en el cerebro emocional y generan cambios en la conducta. En ambos casos las emociones se manifiestan en el cuerpo sea a través de los músculos viscerales o esqueléticos (Mora, 2013).

En el orden de los mamíferos, animales gregarios en su mayoría. Cuidar, conservar la vida del individuo y del grupo es esencial para sobrevivir. La pervivencia de las especies

depende de un sistema de comunicación rápido y efectivo que alerte sobre el peligro de un ataque inminente de predadores, así como de la oportunidad de cazar y conseguir alimento. En ambos casos se instaura un sistema de comunicación emocional que determina el comportamiento de predadores y presas. Ciertamente en base a las emociones básicas de supervivencia como el temor, la ira, el asco, la tristeza, la felicidad y la sorpresa, se instaura el primer sistema de comunicación entre animales primero, entre hombre y animales después, finalmente entre hombres. Sobre este sustrato de emoción, supervivencia nuestra especie despliega un sistema de comunicación basado en gestos y expresiones corporales. Ambos indicadores de estados de ánimo, dan pautas para establecer comunicación al tiempo que establecen y fortalecen lazos de unión entre la familia el grupo u otros grupos.

III. 4. 1. 2. Órganos de la emoción

En la dinámica del cerebro la participación e interconexión entre los tres cerebros es la norma antes que la excepción. En el cerebro emocional participan órganos del sistema límbico como la amígdala y el tálamo en íntima relación con el córtex prefrontal cuya formación corresponde al cerebro racional. Los órganos que forman parte del cerebro emocional son: la amígdala, la corteza cingulada, el hipotálamo y el cortex preforntal.

III. 4. 1. 2. 1. Tálamo

El tálamo es una estructura profunda de forma ovalada situada sobre el tallo cerebral, está formado por más de 50 núcleos celulares⁴², es el repetidor fundamental del flujo de

⁴² Núcleos celulares: Son cúmulos de diferentes tipos de células neuronales como ser: neuronas sensoriales, motoras, interneuronas sean grandes o pequeñas. La inter conexión neuronal al interior de los cúmulos forma sistemas funcionales encargados de recibir información proveniente de los sentidos, por una parte. Y por la otra de procesar y transmitir esa información a diferentes áreas y zonas del cerebro (Kandel, Eric R., Schwartz, James H., Jessell, 2004).

información sensitiva a la neocorteza. Su función principal es el análisis y la integración de información sensorial, excepto el sentido del olfato, para dirigirla hacia los centros de asociación y distribución de información del neocórtex (Perea-Bartolomé & Ladera-Fernández, 2004). Aquello que llega de los ojos lo manda a los sistemas visuales, lo que llega de los oídos lo transfiere a los sistemas auditivos y así con todos los sentidos excepto el olfato. El tálamo es imprescindible para discriminar, clasificar y distribuir la información (Castellanos, 2021). Es un centro de comunicación bidireccional, ya que toda información que llega y sale del cerebro pasa por el tálamo.

El tálamo también actúa en procesos superiores como la atención, la emoción, el lenguaje y la memoria. En cuanto a la atención está vinculado con la regulación del arousal mecanismo que oscila entre estados de sueño y vigilia. En el caso de las emociones desde el tálamo se distribuye la información proveniente de los sentidos hacia el cíngulo, el hipotálamo, la amígdala y el córtex prefrontal. Está vinculado con la regulación de los aspectos motores del lenguaje articulado y el lenguaje corporal. En cuanto a la memoria se encarga de la codificación y consolidación de nueva información. “De esta forma, el tálamo no sólo es un simple relevo de información entre los centros aferentes y la corteza, sino que es el encargado del procesamiento de la información, e influye por tanto sobre las funciones corticales” (Perea-Bartolomé & Ladera-Fernández, 2004).

III. 4. 1. 2. 2. La amígdala

Los núcleos amigdalinos, la amígdala. Son dos núcleos neuronales situados a la altura de los lóbulos temporales, una a cada lado del tálamo. Formada por núcleos celulares, se encarga de almacenar, procesar y transmitir información emocional. “La amígdala se ocupa

específicamente de emociones como el temor. Coordina respuestas autónomas y endócrinas con estados emotivos y constituye el sustento de la memoria emotiva” (Kandel, 2007, p, 495).

La amígdala es un órgano destinado a la conservación del individuo y la especie. La información que guarda está destinada a proteger la vida ante amenazas del medio exterior o interior del individuo. El problema es que este órgano no reconoce situaciones de peligro real o imaginario, tampoco nota la diferencia entre pasado remoto y presente. Por esta razón, ante una situación de peligro evidente o aparente, la amígdala activa los mismos mecanismos de defensa (atacar, huir o colapsar), empleados por nuestros antepasados más remotos. La amígdala evoca la memoria del pasado arcaico a través de sensaciones, ante situaciones de peligro real o imaginario sentimos la misma sensación de angustia y desesperación que sintieron los primeros homínidos al estar frente a la erupción de un volcán o sortear la muerte durante una jornada de cacería.

Los núcleos amigdalinos están formados por células neuronales cuyos códigos de información genética corresponde al pasado filogenético de nuestra especie en particular y del género *Homo* en general. Contiene registros genéticos inscritos en código emocional, cuyo mecanismo de acción inhibición se activa con emociones destinados a conservar y preservar la vida como el temor, asociado al ataque de predadores, a la muerte súbita por accidentes o enfermedades. Lo propio ocurría ante la presencia de desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas o inundaciones fenómenos aparentemente frecuentes en aquellas épocas. Por esta razón, aún hoy en día la amígdala despierta ante sensaciones vinculadas al temor. En palabras de Goleman “con demasiada frecuencia nos enfrentamos a

dilemas postmodernos con un repertorio emocional adaptado a las exigencias del pleistoceno” (Goleman, 1995, p. 24).

En el orden ontogenético, la amígdala guarda información emocional desde antes del nacimiento hasta entrada la edad madura. De hecho, después de una única exposición a una amenaza, la amígdala conserva el recuerdo durante toda la vida del organismo (Kandel, 2007, p. 400). Hoy por hoy, ante un peligro real o aparente los circuitos de información de la amígdala, situada cerca del tallo cerebral, envían señales y toman el control del cuerpo a través del sistema respiratorio, nervioso y circulatorio. La amígdala emite señales de alerta, que alteran los procesos mentales, y el organismo entero se prepara para atacar huir o finalmente el cerebro colapsa y queda paralizado.

III. 4. 1. 2. 3. La Corteza cingulada

La corteza cingulada es una estructura que rodea al cuerpo calloso, se encuentra entre el cuerpo calloso y el lóbulo parietal, entre el sistema límbico y el neocortex. Esta posición permite la interacción entre protocerebro y neocortex, entre emoción y razón. Debido a su posición anatómica y funciones fisiológicas, participa activamente en procesos de autorregulación emocional.

La corteza cingulada o cíngulo es una estructura arqueada cercana al cuerpo calloso, forma parte de los circuitos de la emoción y la voluntad. Esta estructura conecta órganos del sistema límbico como la amígdala, el hipocampo, el hipotálamo y el tálamo con la corteza prefrontal y el lóbulo parietal. Lleva información primaria, sin procesar, desde el protocerebro hacia el neocortex, así mismo recibe y distribuye información desde el neocortex hacia el sistema límbico. Este órgano transmite información emocional evocada

desde el inconsciente, durante el sueño o mediante el recuerdo, sin la participación de la experiencia externa. Por esta razón el cíngulo tiene la capacidad de hacer consciente lo inconsciente, así como de influir conscientemente en el inconsciente (Castellanos, 2021).

La corteza cingulada participa en el desarrollo de las funciones ejecutivas tales como el aprendizaje, la atención, la solución de problemas y la planificación. En situaciones de conflicto focaliza la atención en un solo punto y canaliza los procesos de razonamiento orientados a la solución de problemas concretos o abstractos, emocionales o racionales. Forma parte de los circuitos de planificación de actividades futuras o inmediatas poniendo en relación las emociones y la toma de decisiones (F. Mora, 2001).

III. 4. 1. 2. 4. Hipotálamo

El hipotálamo se encuentra debajo del tálamo, cerca del tronco encefálico, forma parte del sistema neuro-endócrino destinado a regular el equilibrio homeostático⁴³ del organismo. Este órgano establece un puente entre el sistema nervioso y el sistema neuroendocrino. En el primer caso regula las funciones del sistema nervioso autónomo, a través del sistema nervioso simpático (contracción) y el para simpático (relajación). En el segundo caso regula las funciones endócrinas mediante la secreción de hormonas en la sangre. “El hipotálamo, es el área cerebral que junto con otras áreas del cerebro límbico procesa y efectúa la salida de información hacia el sistema neuroendocrino y neurovegetativo” (Mora, 2014, p. 74).

⁴³ Homeostasis: Estado de equilibrio entre todos los sistemas del cuerpo que se necesitan para sobrevivir y funcionar correctamente. En la homeostasis, las concentraciones de ácido, la presión arterial, el azúcar en la sangre, los electrolitos, la energía, las hormonas, el oxígeno, las proteínas y la temperatura se ajustan constantemente para responder a los cambios en el interior y el exterior del cuerpo. De esa manera, todos los sistemas se mantienen en un nivel normal. También se llama equilibrio homeostático y homeostasia.

Al integrar ambos sistemas, Según Kandel (2004), el hipotálamo cumple con cinco necesidades fisiológicas básicas. Controla la presión arterial y la composición electrolítica; controla el metabolismo energético; regula la toma de alimentos y la digestión; regula la reproducción; controla las reacciones ante el estrés (p. 975). Las funciones de este órgano son transversales a toda actividad humana cobra relevancia en casos de aprendizaje y memoria, toda vez que alguien estresado o con desequilibrio fisiológico enfrenta serios problemas a la hora de aprender. Íntimamente conectada con la amígdala frente a una emoción intensa emite hormonas como el cortisol y la adrenalina encargadas de regular funciones como la presión sanguínea, la tensión muscular, así como la redistribución de energía. Por ejemplo, ante una situación que pone en riesgo la vida como un asalto, una discusión enardecida o un accidente automovilístico el hipotálamo mediante la secreción y producción de hormonas envía mensajes al sistema digestivo para suspender cualquier proceso digestivo, al sistema circulatorio para incrementar el flujo de sangre, al sistema respiratorio para incrementar el flujo de oxígeno; con todo busca concentrar toda la energía en un solo punto, reducir la amenaza.

III. 4. 1. 2. 5. El córtex prefrontal

El interés sobre esta parte del cerebro se inicia a mediados del siglo XIX cuando Phineas Gage de 25 años, capataz en la construcción de vías para el ferrocarril en Nueva Inglaterra sufrió un aparatoso accidente. Un error en la manipulación de explosivos destinados a perforar rocas ocasionó que una barra metálica de seis kilogramos de peso, tres centímetros de diámetro y ciento diez centímetros de largo le perforó el cráneo. La barra ingresó por el pómulo izquierdo, atravesó la zona frontal del cerebro y salió disparada destrozándole la

parte superior del cráneo. Gage, no murió. Luego de la explosión fue trasladado en carreta hasta el poblado más cercano y allí espero a que llegara el médico.

El relato de John Harlow médico que atendió a Gage durante y después del accidente indica se destruyó

"el equilibrio entre sus facultades intelectuales y sus inclinaciones animales". (...) Ahora era "impredicible, irreverente, dado a las expresiones más groseras (lo que antes no había sido su costumbre), manifestaba poca o ninguna deferencia hacia su prójimo; incapaz de contenerse o de aceptar un consejo si se oponía a sus deseos inmediatos, mostraba, junto a una porfiada obstinación, una conducta caprichosa y vacilante; fantaseaba con un futuro improbable, armando castillos en el aire que abandonaba apenas esbozados. Niño en sus manifestaciones y capacidades intelectuales, tenía las pasiones animales de un adulto fuerte" (Damasio, 1996, p. 27).

Después del accidente Gage fue incapaz de mantener un trabajo estable, de organizar su vida social, bebía en exceso, pasado un tiempo se convirtió en vagabundo. Falleció doce años después. El estudio de este caso puso en evidencia la existencia de una zona del cerebro encargada de procesar aquellas cualidades que nos hace humanos. De hecho, lo relevante de este caso es que pasado el accidente Gage aunque perdió el ojo izquierdo, sus facultades motoras, lingüísticas y auditivas quedaron intactas, empero le sobrevino un radical cambio de conducta (Damasio, 1996).

El córtex prefrontal se ubica detrás de la frente, en la parte posterior del lóbulo frontal. Es una estructura compleja, aunque su formación pertenece al neocortex está fuertemente

conectado al sistema límbico. Está formada por tres regiones: la corteza prefrontal lateral, la corteza prefrontal medial y la corteza orbitofrontal medial; de entre ellas la corteza prefrontal medial y la corteza orbitofrontal están conectadas con el sistema límbico (Kandel, 2004). Forma parte del área de asociación prefrontal caracterizada por ser una de las zonas más interconectadas del cerebro. Es cuna de aquellas cualidades que nos hacen humanos como la empatía, la solidaridad, el respeto, la gratitud y el perdón, por mencionar algunas (F. Mora, 2013).

La corteza prefrontal controla las funciones ejecutivas de la conducta, regula la capacidad de juicio moral, mantiene y organiza los hechos para la acción futura. En esta zona se propicia el cambio, la flexibilidad adaptativa del sujeto, toda vez que allí se realizan procesos de planificación y modificación de la conducta. Así como la transición de la memoria a corto plazo a la memoria de largo plazo, empleada en procesos de planificación. La corteza prefrontal, regula el comportamiento impulsivo, irracional e impreciso estimulado desde los núcleos amigdalinos en forma de emociones, y los transforma en sentimientos (Kandel, 2007a). Emociones imprecisas de miedo, inseguridad y temor se reducen a través del estímulo de sensaciones de seguridad y bienestar generadas en el córtex prefrontal.

III. 4. 2. El circuito de las emociones

El circuito de las emociones está formado por una conexión en paralelo que conectan al tálamo y amígdala por una parte y tálamo y corteza prefrontal por la otra. Una vez que los órganos de los sentidos son estimulados la información viaja por las neuronas hacia el

Tálamo⁴⁴ (F. Mora, 2001). De allí la información sigue la vía hacia el cerebro emocional y/o hacia el neocórtex.

Ambos circuitos neuronales están conectados en paralelo; por tal razón el flujo de información hacia ambas estructuras cerebrales, es simultáneo. La diferencia entre ambos circuitos es la velocidad con que se transmite la información de un punto a otro. En el primer caso, la vía gruesa, que conecta el tálamo con el lóbulo prefrontal el flujo de información es de 500 ms (milisegundo). En el segundo caso, la vía delgada, que conecta el tálamo con la amígdala el flujo de información es de 125 ms. (Figura 22). Este hecho marca la diferencia en la forma de procesar la información en cada una de las vías. De hecho, la conducta, marca la diferencia entre ambas vías.

La vía que va del tálamo a la corteza prefrontal es más densa. Una cantidad considerable de conexiones sinápticas se dirigen hacia la corteza prefrontal. Donde la información emocional se decodifica, analiza y clasifica. Al mismo tiempo los registros mnémicos almacenados en el hipocampo enriquecen y contextualizan la información. En consecuencia, se produce una respuesta razonada, pensada y equilibrada. La vía que va del tálamo hacia la amígdala, centro de las emociones, es más delgada emite respuestas rápidas, irracionales y poco eficaces.

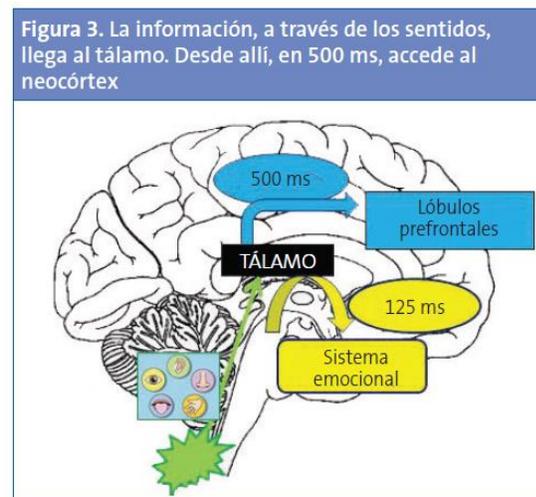
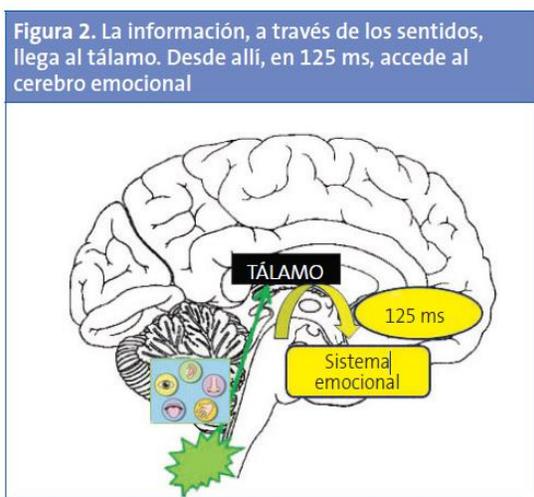
LeDoux (1999), neurocientífico estadounidense, descubrió la vía directa de información que va del tálamo a la amígdala. “Esta vía más pequeña y más corta –una especie de callejón nervioso– permite a la amígdala recibir entradas directas de los sentidos y comenzar una respuesta antes de que queden plenamente registrados en la neocorteza”.

⁴⁴ Recordemos: El tálamo es el primer núcleo celular que absorbe información proveniente de los sentidos, y la distribuye a las diferentes áreas de asociación del cerebro.

(Goleman, 1995, p. 37). En otras palabras, la vía amigdalina recibe la información antes que el neocórtex, es más, emite respuestas basada en memorias emocionales sin la participación consciente y cognitiva del neocórtex.

Al mismo tiempo desde este circuito se activa el sistema de alarmas estimulando el hipotálamo quien a través del sistema neuroendocrino sobrestimulan la actividad del sistema respiratorio y cardiaco, el flujo sanguíneo se concentra en las extremidades, se dilatan las pupilas se suprimen las funciones digestivas. El cuerpo se prepara para atacar, defenderse, huir o colapsar.

Figura 22: Circuito de información emocional



Extraído de (Merino Villeneuve, 2016).

III. 4. 2. 1. Respuesta irracional ante un estímulo emocional

LeDoux la define las repuestas de la amígdala como “emociones precognitivas”, reacciones basadas en impulsos neuronales fragmentarios, en bits de información sensorial que no han terminado de organizarse para configurar un objeto reconocible (Goleman, 1995, p. 20). La

amígdala recupera información, almacenada a nivel molecular, de la memoria inconsciente y la transforma en una sensación de peligro que puede o no estar asociada con una imagen mental. De esta manera se produce una respuesta rápida, instantánea, a gran velocidad; aunque poco eficaz. Esta respuesta descarta la razón y la reflexión, hoy por hoy, se presenta en pensamientos recurrentes afincados en experiencias del pasado, en la ansiedad generada por la incertidumbre del futuro.

La amígdala opera mediante una lógica asociativa, no concibe la diferencia entre pasado, presente y futuro. En la amígdala existen registros emocionales, inscritos a nivel molecular, en código emocional, de aquella época en que el ser humano debió pelear o huir del ataque de predadores para salvar la vida o sortear los embates de desastres naturales. El problema es que la amígdala no distingue entre peligro real o ficticio, amenaza creadas por fantasías mentales o por circunstancias reales provenientes del exterior. Así, el recuerdo del pasado se aplica al presente o se transmite al futuro, en forma de temor en el primer caso y en forma de ansiedad o angustia en el segundo. Aquí prima el aprendizaje metafórico, simbólico y emocional donde, solo una parte de la realidad se considera como la totalidad. Donde lo irracional es equivalente a lo racional y en la mayoría de los casos la fantasía se impone la razón.

La respuesta de la amígdala es irracional, se caracteriza por echar mano de la memoria filogenética y ontogenética, aquella enquistada en el inconsciente. Ante una amenaza real o aparente la amígdala activa dispositivos fisicoquímicos, inherentes a la estructura molecular de sus células. Son respuestas estereotipadas transmitidas de especie en especie a través del género *Homo*, de generación en generación en la especie *Homo sapiens*. Son mecanismos de respuesta que permiten anticipar el futuro, son las campanas de alerta ante la inminente

amenaza de perder la vida. Por esta razón la respuesta de la amígdala es siempre la misma, atacar, huir o colapsar. Este órgano está asociado perpetuamente al temor.

Aquel mecanismo, indudablemente útil en su momento y activo en nuestros días, hoy por hoy no diferencia entre un peligro real o aparente; enciende las alarmas, emite señales de peligro, bloquea el paso de información al neocórtex y la amígdala toma el mando del cerebro. Se altera el ritmo cardíaco, se agita la respiración, se aguza el sentido de la vista, el cerebro emite órdenes destinadas a regular la energía y enfocarla a aplacar la inminente amenaza, la mente rumia estrategias de defensa o ataque. Cuerpo, cerebro y mente están en alerta. El único problema es que ahora no corremos el riesgo de perder la vida, hoy en día convivimos con otro tipo de amenazas más sutiles pero la amígdala no tiene conciencia de ello. En el orden ontogenético, recuerdos del olvido, activan los dispositivos del miedo y alteran la conducta del individuo. Más aún, la actividad de la amígdala, afecta los recuerdos del futuro y se hacen presentes en forma de ansiedad, angustias y preocupaciones. Eventos emocionales que también se almacenan en la amígdala y despiertan los mismos síntomas y efectos propios de emociones negativas.

III. 4. 2. 2. Respuesta racional ante un estímulo emocional

El córtex prefrontal, forma parte del cerebro emocional, está en íntima relación con la amígdala. Recordemos, que una vez procesada la información por los órganos de los sentidos esta llega al tálamo, desde donde el impulso nervioso viaja través de una conexión en paralelo hacia la amígdala y al córtex prefrontal. Un haz corto y delgado conduce la información hacia la amígdala, en tanto que uno denso y largo hacia el córtex. Es más, dependiendo del tipo de información la amígdala es capaz de anular el paso de información

hacia el córtex y este a su vez tiene la capacidad de regular el funcionamiento de la amígdala. Ambos órganos del sistema emocional se encargan de procesar respuestas de tipo emocional, cuya diferencia específica marca las antípodas del comportamiento humano.

Los mecanismos condicionados impuestos por la amígdala como el miedo, el enojo o la tristeza producen una serie de reacciones en la conducta. El miedo bloquea la mente, induce a buscar compañía, titubear o retirarse; el enojo induce a la discusión sin sentido, al disgusto, a la agresividad; la tristeza induce a sentir vergüenza, rumiar o retirarse. Se trata de respuestas condicionadas por asociaciones mentales entre estímulos y mecanismos de refuerzo que reproducen emociones ancladas en fijaciones del pasado. Sin embargo, así como la amígdala toma el mando del cerebro, el córtex prefrontal es capaz de regular su funcionamiento desconectando la relación entre el estímulo y mecanismo de refuerzo. Una de las funciones esenciales del córtex prefrontal es la regulación de mecanismos disparados por la amígdala.

Esta regulación se produce cuando la respuesta originada entre estímulo y mecanismo de refuerzo se desplaza de la amígdala al córtex prefrontal. Cuando la respuesta se emite desde el córtex prefrontal las emociones se atenúan, se regulan y es posible modular la conducta. Así las emociones ya no sobrepasan la voluntad del individuo, ni determinan su conducta, ahora es posible observar, reflexionar y actuar de acuerdo al contexto. Esto se debe a que la respuesta emitida desde el córtex prefrontal disminuye la sensación de miedo y estimula sensaciones de seguridad y bienestar (LeDoux, 1999). Aunque la relación entre emoción y mecanismos de refuerzo no desaparecen definitivamente.

III. 4. 3. Emociones y educación

Las emociones son reacciones automáticas producidas por estímulos tenues o intensos, son alarmas que incitan a la acción. Sea en situaciones de peligro o tranquilidad las emociones alteran la actividad habitual del organismo y preparan el cuerpo para la acción. Desde un punto de vista evolutivo en las emociones subyace un programa de acción automática, presente en todos los vertebrados. Acción que, en el caso humano, se complementa con la cognición y el aprendizaje (Damasio, 2010) en (Bueno i Torrens, 2019).

Según Paul Ekman, psicólogo estadounidense, las emociones básicas son la alegría, el miedo, la ira, la tristeza, el asco y la sorpresa todas destinadas a conservar y preservar la vida. La relación entre emoción y supervivencia es esencial para el aprendizaje. Nuestro cerebro crea redes y circuitos sinápticos sólidos y permanentes cuando la experiencia del aprendizaje denota una relación de supervivencia.

El miedo es la emoción más fuerte, eficaz y útil para la supervivencia, y también la más estudiada. Durante la evolución del género *Homo*, iniciado hace más de tres millones de años atrás, el miedo ayudó a sortear el peligro. Frente a situaciones extremas como erupciones volcánicas, inundaciones, el ataque de predadores o de grupos hostiles. En efecto, en aquellas circunstancias el miedo mostró su eficacia como maestro de supervivencia, es más aquellos registros permanecen en la amígdala.

Si bien hoy en día las circunstancias de peligro cambiaron radicalmente, la función de la amígdala sigue siendo la misma, proteger al individuo del peligro, sea físico o social, sea real o aparente. Ahora enfrentamos el peligro de la falta de trabajo, de perder el teléfono móvil, de reprobamos exámenes, de quedarnos in internet, de pelear con nuestra pareja o amigos, etc. Sin embargo, la función de la amígdala sigue siendo la misma, tomar el mando

del cerebro, bloquear el flujo de información entre el tálamo, primera estación de registro de información sensorial, y la corteza prefrontal. Emitir órdenes al hipotálamo para activar los recursos necesarios del cuerpo y el cerebro para atacar, huir o colapsar.

Una vez que se encienden las alarmas del miedo, el cerebro evoca imágenes del pasado incrementando la sensación de peligro y genera un protocolo fisiológico para neutralizar la amenaza. Aún horas después, de haberse suscitado la emoción, la sensación de miedo e inseguridad permanece en el cerebro y el cuerpo. Generando inestabilidad emocional que puede convertirse en sentimiento o en estado de ánimo.

Este proceso generado en los límites del cerebro emocional, se equilibra con la participación del cerebro racional, con la reflexión. Ciertamente la interacción entre cerebro emocional y cerebro racional es una constante para regular el equilibrio entre razón y emoción. Equilibrio estimulado por emociones positivas como la alegría, el placer y la sorpresa que, aunque no con la misma intensidad que el miedo, inducen al aprendizaje. Emociones que generan reacciones automáticas en el cuerpo, susceptibles de transformarse en sentimientos y estados de ánimo que se prolongan en el tiempo. Emociones caracterizadas por la segregación de dopamina y serotonina, neurotransmisores que facilitan la interconexión sináptica entre redes y circuitos neuronales; establecen relaciones entre capas y zonas del cerebro, disponen al cerebro para el aprendizaje, abren paso a la plasticidad cerebral. Tanto en la educación formal como en la informal generar ambiente emocional positivo favorece la formación y/o consolidación de nuevas redes y circuitos neuronales encargados de procesar la nueva información. En contraposición la presencia de emociones negativas dificulta el aprendizaje.

La relación entre emociones y aprendizaje o experiencia, entre emoción y reflexión es el camino a seguir por la educación. Más aún si ellas, las emociones, son consideradas útiles para la vida, para emplearlas en un futuro próximo como instrumentos de supervivencia. Pues, a decir con Francisco Mora: “no hay razón sin emoción”, (Mora, 2013). En esta máxima subyace el conocimiento cientos de miles de años de evolución, si bien es un hecho que la razón se yergue sobre la razón, la razón aflora con el abono de la emoción. Es decir que las emociones propiciaron y guiaron la evolución de nuestra especie desde época pretéritas hasta nuestros días. Es más aún hoy en pleno apogeo de la razón, mirara hacia nosotros mismos, hacia el pasado evolutivo de nuestra especie, retornar a las raíces del conocimiento es la opción a seguir para preservar y conservar la vida del individuo en particular y de la especie en general.

La interacción entre cerebro emocional y racional permite el flujo de información entre emoción y razón, en esta relación las emociones se transforman en sentimientos.

Sentimientos que dan paso a estados de ánimo de larga o corta duración, influyen en la conducta, en las relaciones sociales, en la educación y el aprendizaje. En suma, las emociones positivas estimulan el flujo de información entre cerebro y medio ambiente, entre aprendizaje y plasticidad sináptica, entre cerebro emocional y cerebro racional, allí donde se consolida gran parte del conocimiento. Tanto en la educación formal como en la informal generar ambiente emocional positivo favorece la formación y/o consolidación de nuevas redes y circuitos neuronales encargados de procesar la nueva información. En contraposición la presencia de emociones negativas dificulta el aprendizaje.

Educar en emociones implica conocerse a uno mismo, saber en qué circunstancias se pierde el control emocional, saber cómo gestionar las emociones, saber cómo aplicar y como

relacionar las emociones con el aprendizaje. Observar nuestras emociones abre la posibilidad de comprender al otro identificar estados de ánimo y canalizar el proceso de enseñanza - aprendizaje generando un ambiente emocionalmente activo. Al observar las propias emociones allana el camino para comprender y de gestionar las emociones de los demás.

Educación de las emociones implica que padres, profesores y autoridades educativas debemos conocer principios básicos de anatomía y fisiología del cerebro. Los padres deben aplicar y aplicarse en el cuidado de sus propias emociones, con el fin de generar un ambiente amigable donde el lenguaje emocional, primer sistema de comunicación entre padre e hijo, fluya en torno a emociones positivas. Los profesores, para comunicarse efectivamente con los alumnos, idealmente deberán tener en cuenta cómo funciona el cerebro, cómo se relacionan con sus emociones y cómo despertar la curiosidad en el aula. Las autoridades educativas deben plantearse la necesidad de implementar en el currículo escolar la enseñanza del cerebro como eje transversal en los niveles primaria y secundaria. Así como sabemos cómo funciona el aparato digestivo, que alimentos causan daño y que alimentos son buenos para la salud debemos saber cómo funciona el cerebro, como cuidarlo, como mantenerlo en estado saludable. Hablar del cerebro, de las emociones y los estados de ánimo equivale a poner el cerebro sobre el tapete, a estar presentes con el cerebro, a cuidarlo y a establecer una relación conocimiento con uno mismo.

III. 4. 4. La construcción del conocimiento depende de la interacción entre emoción, curiosidad y atención

La principal función del cerebro es cuidar y preservar la vida. Ardua tarea teniendo en cuenta la situación de indefensión con la que venimos al mundo y el desarrollo heterocrónico de capas y zonas del cerebro. Los órganos del sistema límbico maduran entre los cuatro y siete años (según la zona de estudio), el córtex prefrontal termina de madurar entre los 25 y 27 años (F. Mora, 2013). La maduración sináptica está íntimamente asociada a la maduración de habilidades psicomotoras y cognitivas estimuladas con el aprendizaje y la experiencia estimuladas con la interacción entre medio ambiente y capacidad cognoscitiva del sujeto. Así, la maduración sináptica comprende todo el arco vital del individuo, desde antes del nacimiento, pasando por la primera infancia, la infancia, la adolescencia, la edad madura hasta llegar a la muerte. En otras palabras, aprendizaje y maduración cerebral son procesos paralelos e interconectados entre sí, toda vez que el aprendizaje influye en la maduración sináptica, y esta determina la capacidad cognoscitiva del sujeto.

Es por todos conocido que el ser humano a diferentes edades desarrolla diferente tipo de habilidades. El periodo en el que se inicia naturalmente un nuevo aprendizaje, se denomina ventana plástica. Cada ventana representa una oportunidad para el cerebro de aprender y desarrollar habilidades específicas como la asociación de campos visuales, el desarrollo del lenguaje o las matemáticas. Ciertamente nacemos con la posibilidad de hablar antes que con la facultad de habar. La ventana del lenguaje se cierra entre los siete y ocho años, si un niño no aprendió a hablar hasta esa edad, no hablará más, o lo hará con gran dificultad (F. Mora, 2013). Esta ventana trae consigo la apertura de otras subventanas como la sintaxis, el paso de lo concreto a lo abstracto, la representación simbólica de la realidad y con todo un incremento de la facultad cognoscitiva del sujeto.

Por esta razón los niños bilingües aprenden una segunda lengua con mayor facilidad antes de los ocho años, no solo eso, sino que cada sistema lingüístico corresponde a diferentes áreas de asociación del lenguaje. Quien aprendió a hablar una lengua, que no sea la suya, después de esta etapa tendrá claras falencias en la pronunciación. La lectura-escritura ocurre naturalmente entre los siete y ocho años, esto tiene que ver con la maduración sináptica de áreas correspondientes a la transformación del fonema en morfema (F. Mora, 2013). El niño guiado en el lenguaje, se aproxima, conoce el mundo a través de la curiosidad, de la emoción, del descubrimiento de sí mismo, en sí mismo, de nuevas y renovadas formas de interactuar con el mundo que le rodea. Ciertamente emoción y curiosidad son estímulos naturales del aprendizaje, con la curiosidad entre los 6 y 7 años ingresa en el mundo de los ¿cómo?, los ¿por qué?, los ¿cuándo? ...

III. 4. 4. 1. Las emociones como sustrato del conocimiento

A lo largo del arco vital, la emoción enciende la pasión por el conocimiento. En toda pregunta subyace la pasión que guía a la razón. La emoción, generada en el inconsciente, enciende mecanismos y circuitos neuronales integrados a áreas de asociación del neocortex, circuitos encargados de analizar y procesar información abstracta o concreta orientada al aprendizaje o la solución de problemas. Sea en la vida cotidiana, en el trabajo, estudio o investigación; superar desafíos de la existencia como encontrar la respuesta adecuada a problemas nos llena de satisfacción. Aquella emoción que llevo a Arquímedes correr desnudo por las calles gritando Eureka al encontrar la solución al problema de saber si la corona del rey era o no, de oro puro. Las emociones están antes, durante y después de todo proceso de conocimiento; al inicio en forma de pregunta; mientras buscamos la respuesta en forma de confianza; finalmente en forma de satisfacción.

La emoción anclada en el inconsciente, está sujeta a mecanismos irracionales, a impulsos electroquímicos que activan núcleos del cerebro emocional primero y racional después. El impulso emocional es vital para crear imágenes mentales, para la construcción del pensamiento simbólico y racional, para la toma de decisiones, así como para la instauración de normas morales y éticas que permiten la vida en sociedad. La imaginación, entendida como anticipación, es una proyección de la mente generada por estímulos internos que activa la parte racional del cerebro sea para la comprensión o solución de problemas. Se trata de la génesis del pensamiento simbólico que permite hablar en ausencia del material sensible, la abstracción. Las emociones subyacen en la toma de decisiones, son transversales a toda actividad humana, presentes en la vida cotidiana a la hora de elegir un par de zapatos, tomar un vaso de agua, elegir una carrera universitaria, así como decidir con quién formar una familia son actividades supeditadas por el cerebro emocional.

En el orden filogenético la regulación de emociones juega un papel esencial desde épocas pretéritas hasta nuestros días, son el aglutinante social por excelencia. Con las emociones se construyen y refuerzan lazos familiares, sociales y culturales fundamentales para la configuración de normas y principios éticos que permiten la vida en sociedad. En torno a las emociones, se construye un universo simbólico, mitos y leyendas que protegen al hombre y su cultura. Relatos cosmogónicos y mitológicos que explican la realidad y el mundo se transmiten de generación en generación abriendo el camino del aprendizaje y la memoria. Facultades asociadas a cualidades humanas como la empatía cualidad humana destinada a reforzar lazos sociales a partir de la comprensión del otro, a saberse comprometido con el bienestar de sí mismo y de la sociedad en su conjunto.

Siguiendo a Mora (2001) todo conocimiento sensible llega primero al órgano de los sentidos (sea retina para la vista, órgano de Corti para la audición, lóbulo olfativo para el olfato y así para los órganos correspondientes). De allí la información se descompone y distribuye en áreas de asociación que informan sobre las propiedades del objeto como ser: forma, color, movimiento, orientación del estímulo, contexto. La recomposición del objeto se realiza por medio de un “disparo sincrónico” que sintetiza la información la envía al tálamo y de allí a los circuitos en paralelo de la amígdala y el córtex prefrontal. Ambos órganos del sistema límbico imprimen en el objeto el sello emocional de bueno o malo, de agradable o desagradable, de rencor o benevolencia. A partir de ese momento la información sobre el objeto en sí mismo adquiere significación y sentido para el sujeto y se dirige a los centros cognitivos vinculados con el aprendizaje y la memoria. “El mundo que vemos no es el que está ahí delante ... es el que construye nuestro cerebro (es una interpretación) con los códigos heredados de los millones de años de evolución” (Mora, 2013, p. 143).

La historia de cada cerebro, es particular y auténtica, para cada individuo. En cada cerebro subyace una huella emocional cuyo contenido filogenético y ontogenético se activa e imprime su sello emocional a todo objeto, animal o cosa concebido como objeto de conocimiento. Por ejemplo, en una clase de equitación participan el profesor, mi hijita de siete años, otros niños, los ayudantes y mi persona; todos tenemos una imagen distinta de un mismo caballo llamado “Kabul”. Allí, el caballo que yo veo no es el mismo para todos, debido a que yo imprimo sobre aquel animal una serie de afecciones emocionales relacionadas con mi infancia, con la finca de mi abuelo en los yungas, con la vida del campo, con películas, canciones e imágenes sobre corceles. El mismo caballo es diferente

para cada observador porque en cada uno imprime sobre el equino un tinte emocional propio particular y auténtico que otorga significación y sentido único para cada observador.

Sin emoción no hay procesos mentales conscientes, no hay toma de decisiones acertadas, no hay aprendizaje, no hay memoria (F. Mora, 2013). Emociones y aprendizaje acompañan la historia de la humanidad en general, como la historia del individuo en particular desde el nacimiento hasta la muerte; las emociones organizan y fortalecen conexiones sinápticas inherentes a circuitos neuronales del aprendizaje y la memoria. En palabras del neurocientífico: ... “aprende bien y vivirás por largo tiempo, aprende mal y morirás pronto”. Ciertamente, quien aprende a desenvolverse en la vida de manera eficiente, quien tiene conocimiento teórico y práctico sobre una parcela de la realidad, así como el desarrollo de habilidades sociales suficientes y necesarias incrementa sus posibilidades de existencia. Por el contrario, una educación deficiente, asociada a prácticas culturales reñidas con la ética y la moral reduce las posibilidades de una sana existencia.

“Cognición-emoción es, un binomio indisoluble que nos lleva a concebir de cierto que no hay razón sin emoción. Binomio cardinal para entender la esencia de lo que es enseñar y aprender” (Mora, 2013, p. 42). Aparentemente, afirmar que las ciencias positivas, la matemática, la lógica o la filosofía se fundamente en procesos emocionales, es una contradicción. Sin embargo, lo cierto es que el conocimiento científico es acicateado por la emoción, por la curiosidad, por el afán de conocer lo nuevo, por descubrir lo desconocido. Al igual que al explorador le impulsa el misterio de saber que hay más allá del horizonte, al científico le inquieta saber que hubo antes del problema. Así, cognición – emoción, curiosidad – emoción; guían el camino del conocimiento.

III. 4. 4. 2. La curiosidad dirige la atención

“Solo se puede aprender aquello que se ama” (Mora, 2013, p. 67) enfatiza el neurocientífico. Más allá de connotaciones afectivas, el amor es una emoción positiva, más aún el amor al conocimiento esgrimido por la filosofía guía la búsqueda del saber por el saber; del saber en sí mismo. Si bien, la emoción incita a la acción, la curiosidad estimula y enciende la emoción; entre ambas sostienen el foco de atención. Así, la emoción modifica la conducta del sujeto, quién estimulado por la curiosidad se lanza a la exploración de lo desconocido, se empeña en la búsqueda de lo nuevo, del conocimiento.

La curiosidad es una cualidad connatural a todo mamífero, de intensidad variable según la especie, la hora del día o las condiciones del entorno. En principio la curiosidad despertada por interés sea por alimentación, la reproducción o el placer. Íntimamente asociada a la creatividad, la curiosidad impulsó el desarrollo evolutivo biológico y cultural de nuestra especie. Desde épocas pretéritas a la fecha la curiosidad junto a la emoción y la atención son constitutivas de los diferentes sistemas de conocimiento como el arte, la religión, la ciencia y la tecnología. Desde el arte rupestre hasta las concepciones artísticas del siglo XXI, desde el dominio del fuego hasta la construcción de inteligencia artificial, desde las primeras trepanaciones craneanas hasta la neurociencia. La curiosidad guía la cadena de interrogantes que darán a luz el nuevo conocimiento, según ilumine la vida del individuo, de la cultura o de la humanidad.

El diccionario de psicología de Umberto Galimberti (2002), define la curiosidad como “Deseo de conocer que se manifiesta en una actitud exploratoria del ambiente circundante y del propio mundo interior” (Galimberti, 2002). El deseo es una necesidad anclada en el

inconsciente, es la búsqueda de satisfacción que impulsa al individuo a salir en busca de aquello que le falta. Ciertamente la curiosidad encarna la satisfacción, la recompensa obtenida tras solucionar problemas subjetivos u objetivos. Incógnitas inherentes al fuero interno del sujeto en el primer caso, así como los que están fuera del sujeto en el segundo caso. Galimberti (2002) precisa, recurriendo a K. Lorenz, la curiosidad como la disposición a nuevas experiencias, típica de los animales no especializados, como el hombre, que se adapta a una amplia variedad de condiciones ambientales. La curiosidad está en la base del comportamiento infantil, en el juego, en las preguntas. Y con ellas, en tanto en cuanto se planteen las interrogantes precisas, el individuo está en posibilidad de explorar nuevos territorios.

Daniel Berlyne psicólogo

“concibe la curiosidad como una energía, un estado motivacional persistente que lleva al comportamiento exploratorio (Berlyne, 1960 y 1978), y que se encuentra presente con mayor intensidad en unos individuos que en otros” (...) los estímulos que inducen la curiosidad tienen ciertas propiedades, tales como novedad, complejidad, incongruencia y sorpresa (Infografía Neurocinemas de La Corteza Cingulada, 2016, p. 117).

Motivación y energía, componentes intrínsecos de la emoción preceden y acompañan la actividad neuronal durante la exploración. Durante la exploración los estímulos internos y/o externos acicateados por la emoción determinan el nivel de satisfacción del individuo. Las emociones son el estímulo interno por antonomasia. La emoción influye en la intensidad de los mecanismos cerebrales encargados del aprendizaje, a través de la inquietud, de la falta,

del deseo. Estímulos externos naturales o artificiales como una tormenta eléctrica, aprender a cazar o el aprendizaje abstracto generan curiosidad como la novedad, la complejidad, la incongruencia y/o sorpresa. Aunque estas cualidades del impulso también pueden provenir del interior del sujeto, de la reflexión sobre sí mismo, de sus sentimientos, emociones y/o razonamientos.

Para Francisco Mora “La curiosidad es el mecanismo cerebral capaz de detectar lo diferente en la monotonía diaria” (Mora, 2013, p. 74). Esto diferente, esta novedad enciende la emoción y de allí la curiosidad enfocada en un punto activa el mecanismo de la atención. Continúa el neurocientífico “Se presta atención a todo aquello que sobresale. Por eso hay que encender una emoción en el alumno” (Mora, 2013, p. 73). Por ello, incita a los maestros tanto en kínder como en universidades exponer elementos novedosos, curiosidades, anécdotas antes de comenzar la clase para entablar una relación de confianza y por sobre todo para llamar la atención de los estudiantes. Nuevamente emoción, curiosidad y atención son inherentes a todo proceso de conocimiento.

III. 4. 4. 3. La curiosidad como método de conocimiento

Para el niño curiosear, es conocer, es el primer vehículo de conocimiento con el que se integra al mundo. Ya desde los primeros meses de vida sigue la voz de sus padres, aunque aún no se comunica verbalmente el niño cuenta con un sistema de comunicación basado en la curiosidad, el deseo y la emoción. Este método de conocimiento se intensifica entre los seis y los ocho años con las preguntas, con la búsqueda innata de saber cómo funciona el mundo que le rodea, con la inquietud de encontrar el por qué, de las cosas. Con la comunicación aprende sus primeras palabras; con ellas señala, identifica y conoce el

mundo. Con el lenguaje surgen las interrogantes, con el movimiento del cuerpo explora el mundo que le rodea, con los sentidos conoce, observa, saborea, huele, toca, escucha. Tanto el niño, como el científico conocen el mundo a partir de la curiosidad; de la interrogación constante sobre los qué (s), los por qué, los cómo, los para qué...

La percepción de la realidad se imprime en la conciencia con el concurso de la emoción, la curiosidad y la atención. Estos procesos mentales enraízan en la conciencia por medio de la experiencia, más aún, si la experiencia está guiada por el juego, por la emoción, por la interacción con la naturaleza. Así, el aprendizaje impregnado de emoción, de significado, de sentido amplía la capacidad de abstracción; entendida como la capacidad de representación, de construcción de los universales que permiten hablar en ausencia del material sensible. Por tal razón la interacción entre aula y naturaleza en los primeros años de escolaridad es una necesidad estratégica, fomenta el conocimiento empírico, y refuerza los mecanismos de transformación del conocimiento concreto en abstracto. De hecho, conocer la realidad en compañía de emociones ocurridas en el momento presente, en el acto de conocer, modifica la conducta del individuo, despierta en él, el interés por lo desconocido y con ello a la exploración y descubrimiento de la realidad.

A decir con Mora (2013) la curiosidad consiste en salir de la monotonía, del aburrimiento, de la rutina; consiste en detectar siempre y constantemente la novedad, la variación, aun cuando solo yo la vea. El sistema neuronal de la curiosidad es análogo a otros sistemas vitales que estimulan la conducta como son la necesidad de reproducción, la sed y el hambre. En efecto aquellas privaciones estimulan el sistema emocional desde donde surge el deseo, la necesidad imperiosa de satisfacer el deseo, la carencia. En el caso del conocimiento, en la resolución de problemas se activan mecanismos análogos a aquellos

que lleva a los animales a buscar agua, alimento o la pareja correspondiente (Mora, 2013). De esta manera el sistema cognitivo del cerebro activado por las emociones está al mismo nivel que aquel que nos impulsa a conservar la vida.

Según Berlyne, la curiosidad se clasifica en dos grandes grupos, está la curiosidad general y la curiosidad epistémica, en (González, 2013). La curiosidad general o sensorial está presente en todos los mamíferos incluido el hombre, se considera como una forma básica de comportamiento exploratorio, generada por estímulos internos o externos. La curiosidad epistémica o cognoscitiva es propia del ser humano, se orienta a la satisfacción del conocimiento, a la solución de problemas, muy útil a la hora de generar conocimiento.

III. 4. 5. La atención determina la realidad

La atención sigue naturalmente a la curiosidad, a lo nuevo, a aquello que rompe con la monotonía; ambas, curiosidad y atención, devienen con la emoción. “Todo lo que conduce a la adquisición de conocimiento como la curiosidad, la atención, la memoria o la toma de decisiones requiere de esa energía que hemos llamado emoción” (Mora, 2013, p. 71). El sistema límbico cuna de las emociones, activa los mecanismos atencionales anclados en el inconsciente. Huellas, señales, indicios enmarcados en las antípodas del bien y del mal, confieren significación y sentido a la existencia del sujeto. La atención evocada por la curiosidad y sostenida por la emoción, se yergue en medio del antagonismo entre emociones positivas y negativas.

Aunque la atención en sí misma no realiza ningún proceso cognoscitivo de ella depende todo proceso de conocimiento. Sin atención no hay conocimiento, a decir con James (1989) ... “mi experiencia consciente es aquello a lo que yo decido atender”, de esta manera la

atención crea la realidad, mi realidad” (James, 1890, p. 342). Según Michael Posner y Mary Rothbart, la atención proporciona el mecanismo «que subyace a nuestra conciencia del mundo y a la regulación voluntaria de pensamientos y sentimientos» (Goleman, 2013, p. 10). La atención, se despliega desde las estructuras profundas del cerebro emocional, con ella se activan y regulan procesos cerebrales vinculados a estados de sueño y vigilia. Desde el inconsciente, cuna de las emociones, se abren las puertas de la atención y con ella ingresamos al mundo del conocimiento, a la esfera consciente. Así, emoción y atención surgen desde el inconsciente e iluminan el camino de la conciencia.

En el mismo orden de cosas Anne Treisman, en (Goleman, 2013), afirma que el modo en que desplegamos nuestra atención determina lo que vemos, en otras palabras, la atención determina la realidad. Según esta definición la correlación entre emoción y atención determina el foco atencional en función a la memoria emocional apiñada en el inconsciente. La memoria emocional, anclada en el inconsciente, está compuesta por las creencias, por la experiencia de vida, por la cultura, por la familia, por la educación. En esta memoria subyacen elementos constitutivos que hacen a la identidad de sujeto, aquellos que dan significación y sentido a su existencia. El cerebro emocional, el inconsciente, construye una imagen de sujeto, particular y auténtica, que se proyecta y afirma en el exterior por medio de la atención.

Esta imagen, compuesta por sistemas de creencias limitantes unas y liberadoras otras, se alimenta por una serie de circuitos emocionales encargados de filtrar la realidad y configurar los límites de la atención. Límites compuestos por creencias individuales y colectivas configuran una realidad aparte. Solo vemos una parte de la realidad, aquella que condice con nuestro sistema de creencias, aquella proyectada desde el inconsciente, aquella

que surge con las emociones. Las creencias se originan a temprana edad, se nutren con la cultura, la familia y la educación a lo largo de toda la vida; así las imágenes generadas desde el inconsciente adquieren rango de verdades absolutas. De hecho, el filtro de la atención compuesto por este tipo de imágenes marca la diferencia entre culturas, entre sistemas de pensamiento, corrientes educativas e individuos. Sin embargo, gracias a la naturaleza plástica del cerebro, siempre, es posible reconfigurar la estructura interna del sujeto cambiando el foco de atención.

El foco atencional se despliega por el mundo consciente inducido por la información y la energía emocional del inconsciente. La red de circuitos neuronales de la atención, se despliega de abajo hacia arriba, desde el tallo cerebral (ubicado en el cerebro reptiliano), atraviesa el sistema límbico y se enquistaba en el neocórtex. La activación del circuito atencional se asemeja a una explosión de juegos artificiales, encendidos en la base del cráneo por la curiosidad y la emoción, se despliegan hacia arriba e ilumina los centros de procesamiento de información en la corteza prefrontal y el neocórtex (Castellanos, 2021). Esta génesis emocional de los circuitos atencionales determina la eficacia en el día a día, toda vez el sistema emocional incide directamente en la calidad atencional. La realidad surge con la atención. Por ejemplo, meses antes del nacimiento de mi hijita observe, por las calles de esta ciudad, con sorpresa una gran cantidad de mujeres embarazadas, antes inexistentes que desaparecieron poco a poco después de su nacimiento y empezaron a aparecer negocios de ropa y accesorios para un recién nacido.

El cerebro emocional, reservorio de información emocional, trabaja sin tregua ni pausa, aun cuando el sujeto descansa, duerme, viaja o simplemente 'intenta' no hacer nada. Más allá del filtro de identidad construido por las emociones en los arcanos del inconsciente, el

cerebro emocional proporciona información valiosa al consciente a través de los sueños, la creatividad, o la intuición. Por ejemplo, cuando damos vueltas y vueltas, durante días, semanas o meses en busca de solucionar un problema personal, académico o de trabajo, el cerebro consciente se detiene, se bloquea, sufre un colapso análogo al secuestro por amígdala. Sentimos la necesidad de descansar, dormir, caminar, respirar despejar la mente coloquialmente hablando, mientras dormimos, descansamos o meditamos el cerebro emocional envía información al cerebro racional. Información que puede ser clara o encubierta, en forma metafórica o intuitiva; lo cierto es que resulta de gran ayuda a la hora de resolver el problema. El ejemplo más recurrente es la eureka de Arquímedes, seguro que antes y después de él muchos encontraron soluciones a problemas acuciosos después de un descanso, incluido quién escribe este informe.

La atención oscila constantemente entre consiente e inconsciente, fluye entre ambas estructuras cerebrales, una anclada sobre el tallo cerebral y la otra en el lóbulo prefrontal. En el primer caso el mecanismo de la atención se desplaza desde el tallo cerebral hacia el neocortex, a través del Sistema Reticular Activador Ascendente, relacionado con sistemas intuitivos, de alerta y recompensa. En el segundo caso la atención se genera en el lóbulo prefrontal y se desplaza por el neocortex; estimula y regula funciones propias de nuestra especie como la focalización y la planificación, en este caso hablamos de atención ejecutiva. El origen evolutivo de la atención ascendente se remonta a millones de años atrás forma parte de la herencia filogenética de nuestros antepasados más remotos, los reptiles (Goleman, 2013). La maduración del segundo sistema corresponde a unos pocos cientos de miles de años, en coincidencia con el desarrollo del cerebro humano, principalmente en la zona del lóbulo prefrontal y el lóbulo parietal.

La atención ascendente estimula y regula la actividad cerebral durante el sueño y la vigilia. Por su naturaleza inconsciente actúa al margen de la voluntad, responde rápidamente ante sensaciones de peligro, en la exploración de territorios, o al identificar el rostro de un familiar en medio de la multitud. Se trata de un sistema atencional sumamente rápido, inconsciente, automático, aunque involuntario, estimulado por impulsos y emociones. Pese a ello también induce a la conciencia a realizar actividades rutinarias pensamientos ruminantes, automatismos de repetición que según el caso inciden positiva o negativamente en la conducta del individuo. Es decir, desde la atención inconsciente se estimula el consumo de sustancias, pensamientos patológicos como la preocupación o la angustia anclados en el pasado o el futuro, o el caso extremo y más frecuente de “Hacer la misma cosa una y otra vez esperando resultados diferentes” (Einstein).

La atención consciente corresponde a mecanismos atencionales generados desde el córtex prefrontal. Este tipo de atención, es lento con relación a la anterior, debido a la participación de mecanismos conscientes, esfuerzo y voluntad del sujeto. Aquí las emociones se transforman en sentimientos. Si bien curiosidad y emociones encienden y sostienen la atención, los sentimientos permanecen por más tiempo, estimulan y equilibran los estados de ánimo. Los sentimientos regulan impulsos emocionales, también inducen a los automatismos de repetición, promueven la flexibilidad adaptativa, el aprendizaje, así como el desarrollo de nuevas habilidades concretas y/o abstractas.

III. 5. Atención y Distracción

“Una mente errante es una mente infeliz”

Killingsworth y Gilbert

III. 5. 1. El estudio de la atención

La atención es un bien preciado, es aquella cualidad humana misteriosa y descuidada. Intensa al iniciar el día y débil al terminar la jornada, forma parte del sistema de redes neuronales que estimulan la conciencia. Es un recurso indispensable para todo tipo de conocimiento, consciente o inconsciente, concreto o abstracto, expresado en emociones, pensamientos, sensaciones o acciones. El sistema atencional se activa desde el cerebro reptiliano (tallo cerebral), atraviesa el cerebro emocional (sistema límbico), donde se tiñe de emociones y finalmente se ancla en el neocórtex, cuna de la reflexión. La atención también modula el carácter, marca la diferencia entre conductas erráticas y asertivas.

La atención es transversal a toda actividad humana, aunque en sí misma no procesa información alguna, empero, activa las funciones del aparato cognoscitivo del sujeto inherentes a todo proceso de aprendizaje.

“En los últimos años la atención ha pasado de ser considerada un mecanismo de procesamiento de la información, a ser considerada un mecanismo central de control de los sistemas de procesamiento” ... “la atención es un sistema de redes neuronales separado de los sistemas de procesamiento de datos” (Posner & Dehaene, 1994; Tudela, 1992) en (Castillo Moreno & Paternina Marín, 2006, p. 309).

Así la atención junto a la emoción y la intención construyen la realidad propia particular y auténtica para cada individuo. Enfocar la atención en una parte de la realidad es igual a construir un filtro que deja pasar lo relevante y bloquea lo irrelevante. Para las ciencias cognitivas "... la atención denota la habilidad para concentrar la experiencia perceptiva en una porción de la estimulación ambiental disponible, y así, obtener una visión clara de la realidad empírica" (Ríos-Lago et al., 2014).

III. 5. 2. Modelos de atención basados en el sentido del oído

Durante la segunda mitad del siglo pasado surgieron modelos teóricos y prácticos que explican la atención como filtro, se trata de modelos basados en el sentido del oído. Collin Cherry (1953), pionero en el estudio y desarrollo de estos modelos atencionales implementó los conceptos de cocktail party y escucha dicótica, abriendo un nuevo paradigma para el estudio de la atención. El efecto "cocktail party" consiste en captar el mensaje de un interlocutor en medio de una habitación donde ocurren otras conversaciones; para comprender el mensaje el sujeto debe ignorar el ruido de fondo y concentrarse en la voz del interlocutor haciendo a un lado los estímulos relevantes (Carboni & Barg, 2015). La "escucha dicótica" consiste en atender simultáneamente a dos estímulos distintos a la vez; en la práctica, asistidos por un par de auriculares se emiten mensajes simultáneos y distintos, uno al oído derecho y otro al oído izquierdo. Se instruye al sujeto de experimentación, atender al mensaje del oído derecho y desatender el mensaje del oído izquierdo. Durante la prueba se pide al sujeto repetir el mensaje recibido en el oído atento, y después del oído desatento; la respuesta es favorable al oído atento, en tanto que el mensaje recibido por el oído desatento no fue asimilado; o simplemente identifica el tipo de voz femenina o masculina.

Al finalizar la década de los años 1950 el estudio de la atención se enfoca desde dos perspectivas, la primera concibe la atención como filtro y la segunda concibe a atención como una capacidad limitada. En 1958 surgen los modelos de selección: temprana, tardía y múltiple desarrollados por Donald Eric Broadbent. Quien afirma que la información filtrada se procesa en la memoria a corto plazo antes de que llegue a los mecanismos de procesamiento semántico (Castillo Moreno & Paternina Marín, 2006). Este modelo funciona según el principio de todo o nada, solo se procesa la información que pasa a través del filtro en tanto que el resto de la información se pierde definitivamente. Solo se atiende un estímulo a la vez.

En 1960 surge el paradigma de capacidad limitada basado en un sistema de inhibición – acción. Este modelo explica que la atención da paso solamente a estímulos que conciden con el interés y motivación del sujeto. Así, se eliminan distractores que afectan el estado atencional del individuo en determinada circunstancia; a tiempo que evitan la sobrecarga del sistema (Santalla & Cañoto, 2017). Según el modelo de Selección Tardía propuesto por Triesman (1960) todos los estímulos pasan; pero, solo algunos son atendidos inmediatamente, y el resto se atiende paulatinamente (Londoño-Ocampo & León, 2009). La atenuación depende del interés y preferencias subjetivas en determinado estímulo. El modelo de Selección Múltiple (Deutsch 1963) indica que todos los estímulos son analizados y procesados hasta llegar a un nivel semántico. Solo después de esta operación los estímulos pasan por el filtro que determina la relevancia o irrelevancia de los estímulos (Castillo Moreno & Paternina Marín, 2006). Este modelo se aplica a procesos de atención dividida, o alterna.

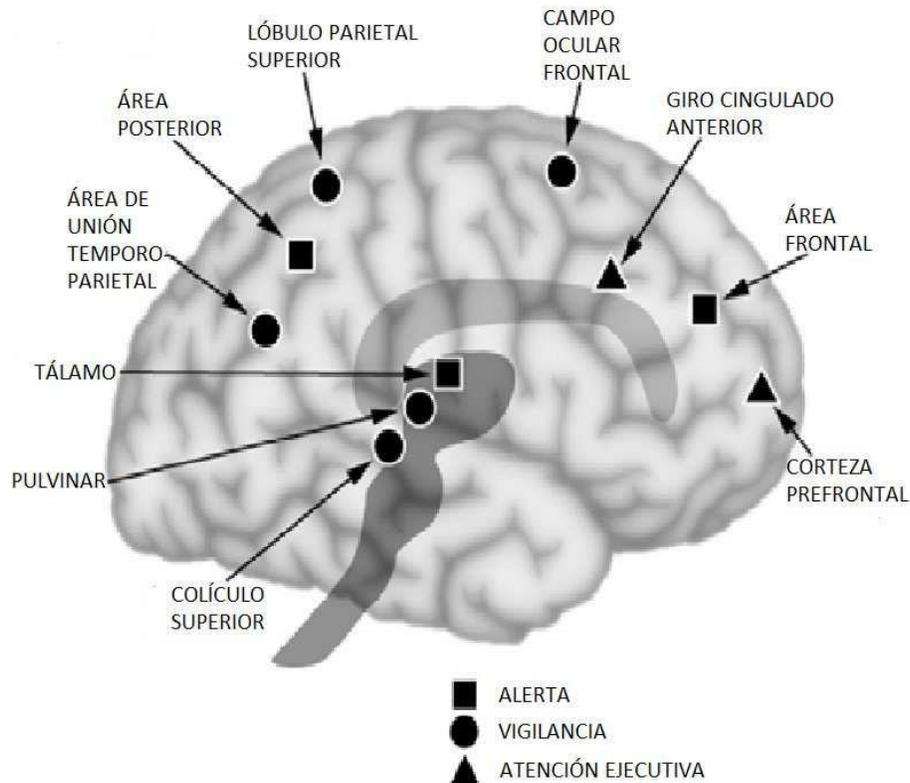
III. 5. 3. Modelo de redes propuesto por Posner

En los años 90 Michael Posner presenta un modelo de atención compuesto por un sistema de redes atencionales cuyo mecanismo consiste en activar e inhibir el impulso nervioso (Figura: 23).

Estas redes serían la red atencional anterior, relacionada especialmente con la detección/selección de objetivos, la red atencional posterior, implicada en la orientación atencional a objetos, posiciones espaciales y/o contenidos de memoria y la red atencional de vigilancia, responsable de nuestra disponibilidad para el procesamiento de la información (Colmenero Jiménez et al., 2001).

Este modelo, se basa en la relación entre la percepción espacial y la elección de campo visual, relaciona eventos neurofisiológicos y anatómicos con procesos cognitivos. La atención visual se concentra en una región específica del campo visual, discrimina lo relevante de lo irrelevante (Santalla & Cañoto, 2017).

Figura 23: Redes atencionales Posner



Nota: Tomado de <https://n9.cl/0muon>

III. 5. 3. 1. Red posterior o de orientación

La red posterior, ubicada en la parte posterior del encéfalo, “está formada en parte [por] la corteza parietal; en el neocórtex; por el núcleo pulvinar y núcleos reticulares ubicadas en el tálamo y regiones de los colículos superiores del cerebro medio” (Colmenero Jiménez et al., 2001, p. 47). Allí, todo estímulo transformado en impulso nervioso, activa la red posterior o de orientación visoespacial y conecta el objeto de atención con representaciones mentales almacenadas en la memoria. Posner explica el cambio de estímulo objetivo durante el día como un sistema de operaciones de desenganche, movimiento y enganche.

La operación de desenganche consiste en soltar el estímulo objetivo, esto es el lugar donde se encontraba la atención en un principio. La operación de movimiento alinea el estímulo objetivo a través de movimientos sacádicos⁴⁵ del globo ocular. La operación de enganche fija el nuevo objetivo en el foco de atención y facilita el procesamiento del estímulo (Castillo Moreno & Paternina Marín, 2006).

Por ejemplo, al viajar rumbo al lago Titicaca, una serie de estímulos llaman nuestra atención: la carretera, las construcciones, el tipo de vegetación, las montañas, los animales, etc. Empero, al momento en que aparece el espejo de agua quedamos absortos en esa imagen; fijamos la vista en el horizonte y por un momento, disfrutamos del paisaje. De pronto observamos movimiento sobre la superficie del agua, se trata de un grupo de aves que revolotea alrededor de una embarcación. Una vez que aguzamos la vista percibimos un sinfín de detalles como colores, formas, personas, redes y algas que forman parte del paisaje. En cada uno de los objetos que llaman la atención se producen las operaciones de desenganche, movimiento y enganche.

III. 5. 3. 2. Red de alerta

La red de alerta se encuentra entre el cerebro medio y el neocórtex, forma parte del Sistema Activador Reticular Ascendente SARA. Sistema formado por proyecciones talamocorticales originadas en el tálamo, atraviesan el cerebro medio y se instalan en la

⁴⁵ Sacádico: Desplazamiento angular de “fijación”, “rápido”, “balístico” (una vez iniciado no puede detenerse ni modificarse en pleno proceso), y “preciso”, con misión exclusiva de “búsqueda” de objetos en el espacio visual. En el humano es la forma más importante de “respuesta de orientación”. La mirada se encauza hacia dicho punto con el fin de mantenerlo en fijación bifeveal (Relativo a la fijación bi-ocular con las dos fóveas)

corteza cerebral. Una vez allí, un sistema de redes neuronales se encarga de sostener la atención en un punto y discriminar lo relevante de lo irrelevante.

Los estados de alerta son voluntarios o involuntarios. Son voluntarios en procesos de concentración, al sostener la atención en un solo punto, durante la lectura, por ejemplo. El estado de alerta produce cambios fisiológicos en el organismo como la ralentización del ritmo cardíaco y la actividad eléctrica en el cerebro, así como el incremento de flujo sanguíneo en el lóbulo frontal y parietal derechos (Castillo Moreno & Paternina Marín, 2006). Los estados de alerta involuntarios dependen del nivel de arousal, así como del tipo de estímulo objetivo.

III. 5. 3. 3. Red anterior o ejecutiva

La red anterior también conocida como sistema ejecutivo o memoria de trabajo absorbe el impulso de la red posterior (Funes & Lupiáñez, 2003). Esta red procesa y enfoca la atención en un solo punto, articula la información con las funciones ejecutivas, la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva (Rueda et al., 2016). Así mismo, la red ejecutiva vincula la acción pasada con instrucciones del presente, y proyecta la información hacia el futuro, planifica acciones a corto y largo plazo.

La red anterior regula la actividad de todo el sistema atencional, concentra y distribuye la energía en función a respuestas de corto, mediano o largo plazo. De ella dependen todos los procesos cognitivos que van desde la atención sostenida, la concentración, la solución de problemas, la creatividad, la motivación, ... por mencionar algunas. Es la atención para la acción “recluta y controla aquellas áreas cerebrales destinadas a ejecutar las tareas cognitivas complejas” (Estévez-González et al., 1997).

La complejidad del proceso atencional impide ligar la atención a una única estructura anatómica o explorarla con una única prueba o test. La alerta, la orientación, la focalización, la exploración, la concentración o la vigilancia y la inhibición de respuestas automáticas son sólo -algunos de los muchos aspectos que conviene analizar en este proceso, cuya disfunción causa ‘destructibilidad’, impersistencia, perseveración, confusión o negligencia (Estévez-González et al., 1997, p. 1996)

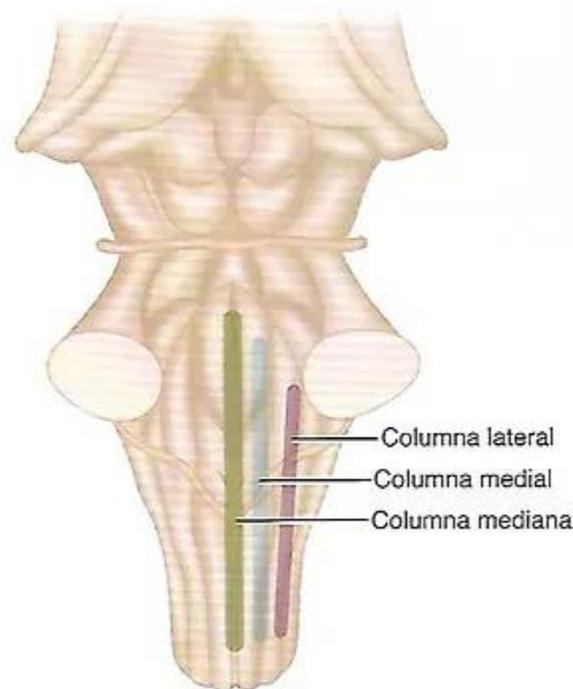
III. 5. 4. Redes neuronales de la atención

La atención se origina en el tallo cerebral, en el sistema activador reticular ascendente. La formación reticular es una estructura polisináptica en forma de red, con límites anatómicos poco definidos; se localiza en la porción paramedial del tronco encefálico [cerebro reptiliano] y se extiende desde los primeros tres segmentos cervicales hacia los núcleos del tálamo (Felten & Shetty, 2003).

El sistema reticular (figura 24) es una estructura filogenéticamente antigua, inherente al cerebro reptiliano, está formada por una red de núcleos neuronales dispuestos longitudinalmente desde la base del tallo cerebral hasta el tálamo. Los núcleos neuronales denominados columna lateral, columna media y columna mediana o rafe; se distinguen por el tamaño, el tipo de neuronas y la producción de neurotransmisores. En cada columna se establece un sistema de comunicación polisináptico entre núcleos sean de la propia columna, entre columnas, así como con diferentes vías de comunicación que se extienden hacia el cerebro medio y el neocortex.

El sistema reticular activador ascendente está formado por los núcleos de la columna media y mediana o rafe del sistema reticular. Las conexiones polisinápticas del sistema activador reticular ascendente estimulan la actividad cerebral a través de la producción y transmisión de dopamina, serotonina, noradrenalina, acetilcolina, GABA (ácido gamma-aminobutírico); neurotransmisores todos asociados con el paso del estado de sueño al estado de vigilia.

Figura 24: Formación reticular



Nota: Tomado de: <https://n9.cl/vtb11>

Desde su formación en el sistema reticular estos neurotransmisores forman circuitos conocidos como vías noradrenérgicas, serotoninérgicas, dopaminérgicas, gabaérgicas que atraviesan el cerebro desde el tallo cerebral, pasando por el sistema límbico hasta llegar al neocórtex. Vías que estimulan el paso del estado de alerta en relación con los procesos de atención (Felten & Shetty, 2003).

El paso del estado de sueño a vigilia se realiza a través de la energía generada por un sistema de bucles neuronales activados progresivamente desde el sistema reticular, pasando por el cerebro emocional hasta llegar al neocórtex (León-Domínguez & León-Carrión, 2019). Este sistema de “bucles neuronales” (Figura 25) se retroalimenta a sí mismo genera su propio estado funcional y estimula progresivamente la actividad cerebral, desde el sueño, pasando por el estado de alerta hasta el desarrollo de funciones cognitivas superiores. El primero de estos bucles neuronales se genera en núcleos del sistema activador reticular ascendente que involucran los núcleos no específicos del tálamo. EL segundo bucle está formado por los núcleos no específicos del tálamo y el sistema talamocortical. El tercer bucle está formado por redes cortico corticales de tarea negativa o red por defecto, encargadas de sostener el sistema de atención en estado latente; cuando el cerebro está despierto, pero exento de realizar actividad cognoscitiva alguna. El cuarto bucle denominado red de tarea positiva se encarga de funciones cognitivas complejas propias de la atención ejecutiva como la planificación, el pensamiento abstracto, la creatividad, la solución de problemas entre otras.

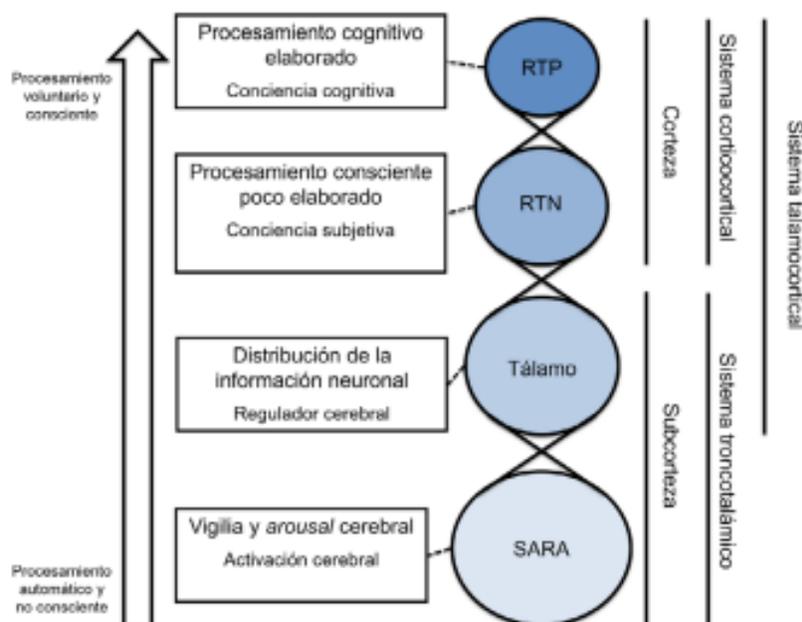
III. 5. 4. 1. El tálamo: receptor y distribuidor de información

El primer bucle de energía activado en el sistema reticular se extiende por los núcleos del sistema reticular ascendente hasta llegar al tálamo, ubicado en la parte apical del tallo cerebral. Desde el tálamo se despliega el sistema talamocortical formado por un sistema de redes eferentes y aferentes. El sistema eferente se encarga de activar sistemas de alerta, funciones cognitivas y motoras ancladas en diferentes zonas y capas del cerebro. El sistema de redes aferentes envía información al tálamo; estímulos provenientes de los sentidos, así como de diferentes áreas de asociación del cerebro. “El tálamo es la puerta hacia la

neocorteza. La mayor parte de la información que accede a la neocorteza llega a través de fibras talamocorticales. A su vez, la neocorteza manda una vía de retroalimentación masiva hacia el tálamo a través de fibras corticotálamicas” (Castro Alamancos, 2003, p. 643).

El tálamo está formado por tres tipos de núcleos: núcleos de relevo conectados con regiones sensoriales y motoras de la corteza, núcleos asociativos envían proyecciones neuronales desde el tálamo a la corteza y los núcleos no específicos que forman parte del sistema activador reticular ascendente (León-Domínguez & León-Carrión, 2019). Desde los núcleos no específicos del tálamo se estimulan los núcleos cerebrales ubicados en capas emocionales y racionales del cerebro. Estos núcleos se activan al despertar y regulan la excitabilidad de amplias regiones del neocortex. Los núcleos no específicos más relevantes son: el núcleo reticular talámico, el núcleo intratálamico y el núcleo de la línea media del tálamo.

Figura 25: Modelo neurofuncional de la conciencia



Nota: Tomado de (León-Domínguez & León-Carrión, 2019)

El núcleo reticular talámico regula funciones sensoriales y motoras estimula e inhibe mecanismos propios de la atención selectiva y ajusta el foco atencional. Al mismo tiempo participa en procesos límbicos y motores vinculados a procesos emocionales y racionales (León-Domínguez & León-Carrión, 2019). Así, ante un estímulo emocional o racional activa funciones correspondientes como las expresiones faciales en presencia o ausencia de emociones.

El núcleo intralaminar del tálamo activa centros atencionales de la corteza prefrontal, regula la actividad cortical, así como funciones límbicas y motoras asociadas a conductas emocionales propositivas a través del control de las expresiones faciales. Estos núcleos participan en la coordinación de procesos atencionales y funciones motoras durante eventos inesperados (León-Domínguez & León-Carrión, 2019). Se encargan de la relación entre mente y cuerpo.

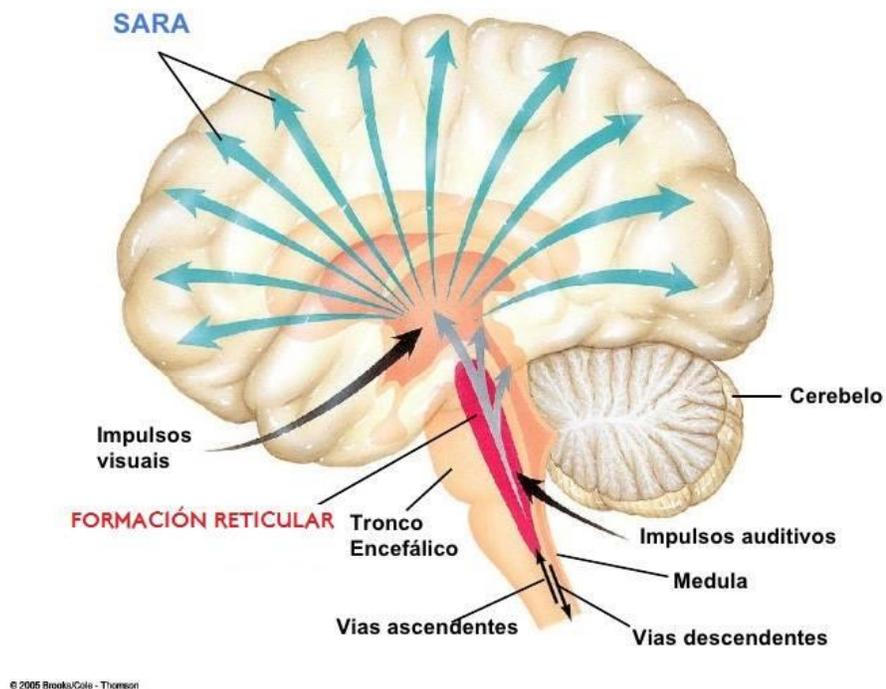
El núcleo de la línea media del tálamo tiene conexiones con el sistema límbico, la corteza prefrontal y el hipocampo. Está en íntima relación con procesos de aprendizaje, memoria y flexibilidad cognitiva (León-Domínguez & León-Carrión, 2019). Al mismo tiempo incide en los niveles de alerta y regula la conducta emocional del individuo. Así la relación entre lóbulo prefrontal y estructuras límbicas estimulan la atención, facilitan los procesos de aprendizaje, consolidan la memoria y estimulan la flexibilidad cognitiva.

Cada uno de los núcleos no específicos del tálamo genera un bucle neuronal que activa y regula zonas y funciones cerebrales específicas. Al mismo tiempo cada bucle neuronal se integra en una gran red de conexiones sinápticas que forma parte del sistema activador reticular ascendente (Figura 26). Sistema que activa y transmite energía al cerebro, estimula

el estado de alerta en sus diferentes grados, a tiempo que facilita las condiciones fisiológicas para el desarrollo de funciones cerebrales complejas como el lenguaje, el pensamiento y la cognición (León-Domínguez & León-Carrión, 2019).

Este sistema de redes y bucles neuronales gestado desde el sistema reticular ascendente activa el cerebro, enciende la atención y determina la realidad. A decir con James (1989) ... “mi experiencia consciente es aquello a lo que yo decido atender” (James, 1890, p. 342). La atención, al igual que la conciencia, se genera desde niveles profundos del cerebro, en el ‘sistema reticular’, ubicado en el tallo cerebral, específicamente en el sistema reticular activador ascendente.

Figura 26: Estimulación cerebral desde el sistema reticular activador ascendente



Nota: Tomado de <https://n9.c1/8emj2>

III. 5. 5. Red neuronal por defecto (RND)

En el año de 2001 Marcus Raichle⁴⁶ neurólogo estadounidense y su equipo de investigadores descubrieron que varias “regiones del cerebro aumentaban su actividad en estado de reposo; y decrecían al realizar tareas dirigidas externamente” (Renzo, 2011, p. 141). La idea de que el cerebro funciona las 24 horas del día no es nueva, desde que Hans Berger descubrió el electroencefalograma en 1929, a la fecha se han creado técnicas no invasivas como la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP) desarrollada en los años setenta y la Resonancia Magnética funcional (RMf) descubierta en 1992. Un encefalograma muestra la actividad eléctrica del cerebro expresada en forma de ondas, en tanto que las técnicas de TEP y RMf estudian la actividad cerebral a través de imágenes que muestran la actividad en diferentes zonas del cerebro. Estas imágenes miden esencialmente el metabolismo en glucosa, el flujo sanguíneo y el consumo de oxígeno en el cerebro (Raichle, 2010). A través de ellas los científicos tienen una clara idea, en tiempo real, de la actividad cerebral.

III. 5. 5. 1. El estudio de la actividad cerebral y la red neuronal por defecto

Según Raichle (2010), en principio los experimentos realizados con tomografía por emisión de positrones TEP y resonancia magnética funcional (RMf) se orientaron a identificar y establecer relaciones entre actividad y zona cerebral. Procedimiento bastante útil a la hora de conocer la diversidad funcional del cerebro sometido a estímulos controlados, como observar y comparar las zonas activas durante la lectura en voz alta y la lectura mental. Este

⁴⁶ Marcus E. Raichle: Profesor de radiología, neurología, neurobiología e ingeniería biomédica en la Universidad de Washington en St. Louis. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias, el Instituto de Medicina y la Academia Estadounidense de Artes y Ciencias y miembro de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia

tipo de estudio hacía suponer que el funcionamiento cerebral depende de estímulos externos o internos. Así, ante la ausencia de estímulos, se pensaba que ciertas áreas del cerebro permanecían inactivas, ‘apagadas’ y se activaban o encendían ante la presencia del estímulo correspondiente. Empero, Raichle, motivado por observaciones esporádicas e invariables que denotan actividad cerebral en un sujeto exento de tareas atencionales o cognitivas, se pregunta: ¿Qué ocurre cuando el cerebro no hace nada?, cuando está en reposo, aletargado, dormitando, soñando o bajo el efecto de la anestesia (Raichle, 2010).

Debido al complejo análisis de las técnicas mencionadas y la tendencia a investigar la actividad cerebral en función a procesos atencionales y cognitivos generados por estímulos externos; los investigadores pasaban por alto un hecho frecuente y permanente. Las imágenes de un cerebro en reposo, tranquilo y sereno emite señales de baja frecuencia en ciclos de diez segundos aproximadamente. Motivo por el cual los datos generados por el sistema interpretaban estas señales, de baja frecuencia, como ruido de fondo, como interferencia y en consecuencia, se desechaban los datos. Sin embargo los investigadores observaron que un área comprendida por la corteza prefrontal medial (área vinculada con procesos de atención), la corteza cingulada (área que marca la transición entre estados mentales, racionales y emocionales), la corteza parietal medial (donde se activan zonas del lenguaje, pero solo aquellas relacionadas con la escucha) y el precúneo (depositario de la memoria autobiográfica y autoreferencial) bajan su actividad metabólica cuando el sujeto está frente a procesos atencionales (Castellanos, 2021).

Así, la observación casual de imágenes primero, el estudio y análisis computarizado después, puso en evidencia la actividad permanente del cerebro asociada a un alto consumo metabólico.

La investigación ulterior reveló que el desarrollo de una tarea concreta implica un incremento del consumo energético del cerebro que supone menos del 5 por ciento de la actividad basal subyacente. Una parte importante de la actividad global (entre el 60 y el 80 por ciento de toda la energía que utiliza el cerebro) se despliega en circuitos sin relación alguna con acontecimientos externos. (Raichle, 2010, p. 23).

Aún, cuando el cerebro esté en estado de reposo, sin estímulos externos, soñando despierto, anestesiado o simplemente divagando, existe intensa actividad cerebral. De esta manera se descubrió la existencia de una red neuronal que subyace a toda actividad cerebral denominada por Raichle y su equipo Red Neuronal por Defecto. El elevado índice de consumo energético de la RND se debe a que esta red se involucra en diversas áreas del funcionamiento cerebral, entre ellas la atención necesaria para los procesos cognitivos (Raichle, 2010).

La RND (Red Neuronal por Defecto) se considera una red de reposo o de tarea negativa caracterizada por un alto metabolismo durante estados de vigilia con una baja demanda cognitiva. Esta red se desactiva en favor de otras redes corticocorticales [como la atención] cuando aumenta la carga cognitiva debido a la necesidad de un procesamiento más elaborado de la información (León-Domínguez & León-Carrión, 2019, p. 161). Ausente en los primeros años de vida, la red de tarea negativa inicia su actividad entre los 7 a 9 años de edad. De ahí en más la RND se desarrolla y estructura progresivamente, e incrementa su actividad en la edad adulta, con énfasis en la vejez. En el día a día, la dinámica del cerebro depende de la interacción constante entre: red por defecto y red ejecutiva; ambas oscilan entre estados de pausa y actividad cognitiva, entre distracción y atención. Equilibrio

ineludible para la salud mental, pues la RND tiende a generar pensamientos recurrentes sobre el pasado y el futuro, pensamientos transformados en emociones negativas como la preocupación por el pasado y la angustia por el futuro, afectan la calidad de vida.

III. 5. 5. 2. Funciones de la red neuronal por defecto

La RND forma parte del sistema de bucles neuronales que se retroalimentan a sí mismos, generan y regulan la energía suficiente para activar progresivamente el cerebro. El primer bucle neuronal corresponde al Sistema Reticular Ascendente, el segundo formado por el sistema talamocortical activa zonas del cerebro emocional y racional. El tercer y cuarto bucles neuronales corresponden a zonas corticocorticales y forman parte de la Red Neuronal por Defecto y la red ejecutiva o sistema de atención ejecutiva.

El bucle correspondiente a la Red Neuronal por Defecto, a tiempo de mantener el estado basal del cerebro, organiza y sostiene la conexión entre sistemas y subsistemas como el lenguaje, la memoria y la atención. Desde la RND se genera y distribuye la energía necesaria para articular, regular y coordinar la actividad de diferentes sistemas corticales. De esta manera evita la interferencia entre sistemas y establece el equilibrio de funciones cerebrales dependientes de la atención, en especial los procesos cognitivos. En cada caso la RND disminuye su consumo metabólico en favor de otros procesos corticales. El descubrimiento de la RND despertó el interés por cartografiar las múltiples funciones cerebrales y explicarlas desde diferentes perspectivas científicas como la neurociencia, la psicología, la filosofía, la biología y la educación, entre otras.

La RND asiste la evolución de nuestra especie con el desarrollo de habilidades adaptativas vinculadas a la atención, la cognición y el pensamiento. Entre ellas destacan la función de

centinela, de simulación y la emisión de juicios autorreferenciales. En el primer caso la RND sostiene las redes atencionales en estado latente, mantiene la atención dispuesta para actuar ante un estímulo inesperado (Guerrero, 2019). La simulación íntimamente relacionada con la planificación, la memoria y la imaginación emplea eventos del pasado para proyectarlos al futuro con el fin de prevenir acontecimientos perniciosos o beneficiosos para el individuo y el grupo, como catástrofes naturales o la presencia de depredadores. Sin embargo, el uso desmedido de la simulación afecta la salud emocional del cerebro humano.

Ciertamente la RND genera, coordina y distribuye la energía necesaria para el normal funcionamiento de diferentes sistemas corticales como la atención, la memoria y el lenguaje, entre otros. Empero, la RND tiene un sesgo negativo; genera pensamientos recurrentes traducidos en conductas como la distracción, la multitarea, el piloto automático, la rumiación y la ensoñación. Este comportamiento crea una realidad aparte que absorbe y determina la conducta del individuo.

La distracción es uno de los males de nuestro tiempo. Vivimos asediados por estímulos sensoriales, emocionales y cognitivos que impiden dirigir y sostener la atención en un solo punto, requisito *sine qua non* para la concentración. La atención es una capacidad limitada, solo podemos atender una cosa a la vez, la atención dividida o multitarea es una ficción.

Cuando era estudiante de biología hubo un tiempo en que mi rendimiento académico estaba por los suelos, no encontraba ningún sentido estudiar materias como álgebra, cálculo, física, entre otras; en consecuencia, al momento de estudiar dichas materias mi mente divagaba en busca de argumentos que justificaran mi posición, formulaba ensoñaciones sobre futuros viajes, recordaba canciones y melodías musicales; finalmente el día del examen me

preguntaba por qué no había estudiado, porque tenía que llevar tales materias... entonces pasaba de la ensoñación a la rumiación, durante el periodo que duraba el examen y de allí la frustración. Frustración y rumiación se extendían hasta varios días después de la prueba. Realizar dos o más actividades a la vez genera sensaciones encontradas de alegría y frustración; alegría por la ilusión de haber realizado ambas tareas y frustración al confrontar las expectativas con el resultado final de sus actividades.

La rumiación, es la especulación recurrente sobre emociones y pensamientos que giran en torno a un hecho o una idea, enquistados en la psique del sujeto quien busca solucionar problemas reales o imaginarios. La rumiación se genera desde la red autorreferencial inherente a la RND que por lo general tiene un tinte nocivo expresado en la conducta del sujeto. Quien entreteje un discurso con pensamientos, emociones, sensaciones e incluso relaciones intrapersonales e interpersonales refuerzan la idea la idea que activó la red autorreferencial del cerebro. De esta manera se genera un tejido ilusorio de sensaciones, pensamientos y hechos que incrementan el nivel de estrés, el sedentarismo, la autodestrucción y la depresión. Ciertamente, fomentar una conducta basada en pensamientos rumiantes crea un sesgo subjetivo (Brewer, 2018) que configura la realidad en torno a intereses particulares del sujeto, crea una realidad aparte, anula la atención al presente y con ella la capacidad de conocer y comprender la realidad en la que estamos, en la que vivimos.

La ensoñación guiada por la función de simulación de la RND crea imágenes idílicas o patéticas, se crean mundos imaginarios sobre el pasado o el futuro cuyo protagonista principal es el propio individuo. Durante la ensoñación se activan zonas del lenguaje, ubicadas en el lóbulo parietal, pero solamente se estimulan las áreas vinculadas a la

escucha, en tanto que las del habla permanecen en reposo (Castellanos, 2021). Gracias a la red autorreferencial enquistada en la RND nos dice constantemente lo que debemos o no debemos hacer, vivimos en un diálogo constante con nosotros mismos, diálogo que se centra en la escucha pasiva de recuerdos y pensamientos que en muchos casos frenan las aspiraciones del sujeto. Desde la red autorreferencial se generan resoluciones que por una parte construyen un muro de ideas entre una realidad ideal, subjetiva y puramente mental frente a la realidad concreta, aquella que ocurre en el presente. Por otra parte, las respuestas emanadas desde la voz interior se basan en el miedo a lo desconocido y ponen freno no solamente a las construcciones idílicas, sino también a proyectos orientados a impulsar el desarrollo material y/o personal del individuo. También aquí la atención se desplaza desde lo realmente importante, desde el presente al pasado o al futuro, en consecuencia, sobreviene la distracción, con ella la frustración y con ambas el malestar emocional.

Desde un punto de vista temporal la RND desplaza el presente, que es donde ocurre la atención y el conocimiento, para enfocarse en hechos del pasado o proyecciones hacia el futuro. El énfasis en el pasado conlleva a reforzar conductas recurrentes que afectan el estado emocional del individuo. De igual manera al desplazarse hacia el futuro la RND estimula la divagación mental, crea mundos ilusorios que, llegado el momento, son destruidos por la voz interior. Al desplazar el presente y con él la atención, también se abandona la posibilidad de conocer y saber cómo y de qué se compone la parte mundo que me tocó vivir, pues las más de las veces la vida discurre sin que nos demos cuenta de lo que en realidad está ocurriendo en el presente. Al realizar dos actividades simultáneas se pierde la calidad en la ejecución de una o ambas, emplear constantemente el piloto automático supone que no somos conscientes de nuestros actos, al practicar la rumiación nos

enfrentamos a problemas emocionales y con la ensoñación las más de las veces decanta en frustración. Actividades todas que afectan la calidad de vida de quien las realiza.

Los psicólogos Matthew Killingsworth y Daniel Gilbert publicaron en 2010 el resultado de una investigación titulada “Una mente errante es una mente infeliz” (Killingsworth & Gilbert, 2010). En principio exponen que el ser humano pasa más tiempo, pensando en lo que ocurrió en el pasado, en eventos que suceden o no sucederán jamás; en lugar de concentrarse en lo que está ocurriendo en el presente. La investigación analizó, la experiencia emocional, en tiempo real de 5 000 personas distribuidas en 83 países, cuyo rango de edad oscila entre los 18 a 88 años. La recolección de datos se realizó a través de una aplicación para iPhone desde donde se preguntaba a los participantes en horas correspondientes al estado de vigilia y de manera aleatoria: ¿Cómo te sientes ahora mismo?, ¿Qué estás haciendo en este momento?, ¿Estás pensando en algo aparte de lo que estás haciendo actualmente? Las respuestas registradas en una base de datos y analizadas mediante procedimientos matemáticos y estadísticos dieron como resultado que la mente humana divaga el 47% del día. Es decir, cerca, muy cerca, de la mitad de actividades que realizamos durante el día, las realizamos sin pensar en ellas en el momento presente. Hecho que incide directamente en el estado emocional en que nos encontramos. En suma, los psicólogos de Harvard concluyen que: La mente humana es errante, una mente errante es una mente infeliz. No vemos las cosas como son sino como somos.

Capítulo IV: Resultados, conclusiones y recomendaciones

IV. 1. Resultados

IV. 1. 1. Evolución del sistema nervioso

El origen y desarrollo del sistema nervioso está íntimamente conectado al origen de la vida en el planeta. En los primeros organismos unicelulares y pluricelulares subyace el primer indicio del sistema nervioso compuesto por una terminal sensible y otra motora. Artificio que permite el movimiento en función a restablecer el equilibrio interno del organismo

Desde un punto de vista filogenético, el origen del sistema nervioso se encuentra en el Phylum cordata (hace 630 Ma.) Son animales con notocorda, cordón nervioso, diez a doce pares de nervios craneales, hendiduras branquiales y esqueleto. Dentro este grupo de animales destaca el Subphylum vertebrata (hace 450 Ma). Son animales con notocorda, cordón nervioso, desarrollo de la región cefálica, (donde concentran gran parte de sus órganos sensoriales y el cerebro), diez a doce pares de nervios craneales, hendiduras branquiales y esqueleto.

Desde una perspectiva ontogenética durante la etapa embrionaria, del individuo, se recapitulan las etapas de formación filogenética. Durante las primeras 8 a 9 semanas de vida intrauterina se forman el proencéfalo, mesencéfalo y rombencéfalo. Capas correspondientes a etapas fundamentales del desarrollo evolutivo de los vertebrados.

La evolución del sistema nervioso es el pilar esencial para el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. Capacidad gestada con las diferentes etapas del neurodesarrollo o maduración cerebral que comprende desde el periodo embrionario hasta la edad madura 25-27 años de edad.

IV. 1. 2. Estructura y evolución del cerebro humano

La teoría evolutiva del cerebro triuno afirma que nuestro cerebro está formado por tres cerebros: el reptiliano, el mamífero y el neocórtex. El primero corresponde a la capa de los instintos, el segundo a las emociones y el tercero a la razón. Cada uno de ellos cumple funciones específicas y diferenciales orientadas a preservar la existencia y desarrollar la capacidad cognoscitiva de nuestra especie.

El desarrollo de un cerebro eficiente, capaz de aprender, memorizar y transmitir conocimiento, inicia hace más de dos millones de años con las primeras especies de género *Homo*. El incremento de la capacidad craneana desde los 646 c3, registrada para el *Homo habilis*, primer representante del género *Homo*, hasta los 1500 c3 establecida para nuestra especie expresa el desarrollo progresivo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. Se debe resaltar que, “las regiones que se ocupan de la cognición y el lenguaje se han agrandado enormemente durante la evolución” (Sherwood, 2018). Cambios explicados también por la variabilidad genética entre especies del mismo género, entre generaciones e individuos.

El desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* resulta de la interacción entre su cerebro y la cultura. Interacción expresada en la experiencia, en el aprendizaje y la transmisión de conocimiento. Como: la práctica de caza persistente, la domesticación del fuego, el paso de lo crudo a lo cocido, expresan la correlación entre cultura y cerebro, entre aprendizaje, solución de problemas y rendimiento cognitivo. “No fue nuestro gran cerebro, nuestra inteligencia ni el lenguaje lo que nos dio la cultura, sino más bien esta última la que

impulsó un cerebro voluminoso, una inteligencia sin igual y el lenguaje (...) la cultura transforma el proceso evolutivo” (Laland 2018).

IV. 1. 3. Dinámica neuronal y aprendizaje

La neurona es el elemento estructural, funcional y fundamental del cerebro, de ella depende la transmisión de información sensorial, emocional y/o racional. La estructura de la neurona es invariable. Sin embargo, la organización de circuitos y redes neuronales, es dinámica, flexible y variable. Característica que determina la diferencia entre individuos y estimula el desarrollo de la capacidad cognoscitiva de nuestra especie.

La sinapsis es la cualidad intrínseca de las neuronas consistente en transmitir información, a través de un código electroquímico que estimula o inhibe funciones neuronales. Las señales eléctricas regulan funciones motoras, las señales químicas regulan funciones del aprendizaje abstracto. Ambas señales forman redes y circuitos de conexión interneuronal.

El aprendizaje modifica las neuronas y las sinapsis. La memoria a largo plazo depende de cambios moleculares al interior de las neuronas y las sinapsis. En el primer caso, cambios, producidos por la “expresión de genes” que inducen al crecimiento de dendritas y con ellas se amplía la posibilidad de establecer comunicación con un mayor número de neuronas, entre redes y circuitos neuronales. En el segundo caso por el flujo de neurotransmisores como la dopamina y la serotonina estimulados por procesos emocionales generados durante el proceso de aprendizaje.

La plasticidad sináptica es la cualidad inherente de las neuronas para modificar su estructura interna en respuesta a estímulos medioambientales, culturales y cognoscitivos.

Toda vez que el sujeto aprende, consolida o corrige lo aprendido se modifican redes y

circuitos sinápticos. Cambios destinados a renovar, modificar e implementar nuevas redes y circuitos de información. La medida con que afrontamos el cambio es un indicador de plasticidad, también conocido como flexibilidad adaptativa.

IV. 1. 4. Cerebro emocional y desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*

Las emociones son estímulos que producen reacciones neurovegetativas y conductuales destinadas a preservar el desarrollo evolutivo de nuestra especie. Las emociones regularon el desarrollo del género *Homo* a través del cuidado del grupo, la familia y la descendencia; propiciando alimentación, abrigo y seguridad. Entorno a las emociones se configuró el primer sistema de comunicación entre animales, posteriormente entre hombre y animales, y finalmente entre hombres.

El circuito de las emociones está formado por el cerebro emocional y el neocórtex. Circuito formado por un sistema de conexión en paralelo entre: tálamo y amígdala; tálamo y córtex prefrontal. La vía entre el tálamo y la amígdala produce una respuesta emocional rápida, irreflexiva e inestable; en tanto que la vía entre el tálamo y el córtex prefrontal, produce una respuesta emocional lenta, reflexiva y segura.

Las emociones están antes, durante y después de todo proceso cognoscitivo. Al inicio en forma de curiosidad, en el transcurso en forma de confianza e incertidumbre y finalmente en forma de satisfacción.

La curiosidad cuestiona la realidad, es el primer “método” de conocimiento que acompaña el desarrollo de nuestra especie. Expresada en forma de pregunta, es el primer “método” de conocimiento que acompaña el desarrollo de nuestra especie. Desde el descubrimiento del

fuego hasta el horno a micro ondas, desde las trepanaciones craneanas hasta las técnicas no invasivas que estudian el cerebro en tiempo real, son guiadas por la curiosidad. La Curiosidad enciende la atención, cualidad inherente a todo proceso de conocimiento. Fomentar la curiosidad estimula el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.

IV. 1. 5. Redes neuronales de la atención

La atención es inherente al sistema de redes neuronales que estimulan la conciencia. No procesa información alguna, empero activa las funciones cerebrales inherentes a todo proceso de conocimiento.

El cerebro en su totalidad genera y distribuye energía a través de un sistema de bucles neuronales retroalimentados sobre sí mismos que activan la atención y con ella la conciencia. Energía desplegada progresivamente a través de un sistema de transmisión de neurotransmisores que estimulan las funciones cerebrales desde el tallo cerebral hasta el neocórtex.

El primer bucle está formado por el tallo cerebral y los núcleos no específicos del tálamo, el segundo formado por los núcleos no específicos del tálamo y órganos del cerebro emocional, el tercer y cuarto bucles ubicados en el neocórtex, forman parte de la red neuronal por defecto y la red de tarea positiva respectivamente.

La red neuronal por defecto RND genera 'actividad espontánea'. Actividad que no ha sido evocada por el cerebro, sino que aparece repentinamente en forma de ensoñaciones, rumiaciones y distracciones. Actividad inconsciente en la que el cerebro evoca enfocadas a

la aflicción por el pasado y la incertidumbre por el futuro. Aunque, en el mejor de los casos, también aclaran pensamientos y solucionan problemas.

La Red Neuronal por Defecto esta activa constantemente y compite con la atención. La RND consume el 80% de la energía total del cerebro; en contraposición, los procesos cognitivos superiores solo consumen el 5% de la energía total del cerebro. La mayor parte del tiempo actuamos en piloto automático, son contadas las horas en que estamos plenamente conscientes de nuestros actos, en el momento presente. La atención inhibe la actividad de la RND.

IV. 2. Conclusiones

Explorar el origen de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* permitió reconocer la interacción entre medio interno y medio externo del organismo como un principio evolutivo. Identificar órganos y funciones que corresponden al desarrollo filogenético de nuestra especie. Establecer que en el cerebro humano perviven estructuras que nos remontan a la época de los dinosaurios y los grandes mamíferos. Explicar la relación constante entre emoción y razón como parte constitutiva de la naturaleza humana, relación esencial para el proceso de enseñanza aprendizaje.

IV. 2. 1. Evolución del sistema nervioso

§.1 La evolución del sistema nervioso es parte del proceso biológico de la vida animal en el planeta iniciado con los primeros organismos unicelulares y pluricelulares. En estos organismos se encuentra el prototipo de las células nerviosas. Estas están compuestas por

una terminal sensible y otra motora. Responden activamente ante estímulos externos que afectan el equilibrio interno de la célula, como la presencia o ausencia de luz, la acidez o alcalinidad del medio. Estos organismos restablecen su equilibrio interno pasando de un medio nocivo a otro inocuo. Este es el primer rudimento de “aprendizaje biológico” expresado en el “movimiento” como respuesta a estímulos que alteran el equilibrio interno del organismo. Se produce un cambio conductual en cuya repetición mecánica y constante subyace la esencia del aprendizaje.

§ La evolución se basa en el “aprendizaje biológico” y la adaptación constante del medio interno al medio externo. Los organismos aprenden y se adaptan al medio modificando sus estructuras internas a nuevas condiciones de existencia. Adaptación que según el caso se traduce un aparato digestivo capaz de sintetizar células vegetales, en el desarrollo de fuertes mandíbulas, dientes y garras que le permiten desgarrar su alimento, en el desarrollo de habilidades colaborativas para cazar en grupo, en el desarrollo de un cerebro eficiente que permita conservar y preservar la vida. Desde esta perspectiva la adaptación al medio es una forma de “aprendizaje biológico”.

§ La evolución guiada por el aprendizaje, el instinto de conservación, la adaptación a su entorno determina el éxito o fracaso de una especie. En el caso humano la optimización del sistema nervioso permite su adaptación constante a nuevas y diferentes condiciones de existencia como: vivir en todos los pisos ecológicos del planeta, solucionar problemas de alimentación, de procreación, de seguridad y un largo etcétera. En el cerebro del *Homo sapiens* subyacen estructuras anatómicas y fisiológicas empleadas con éxito en la evolución de los vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

IV. 2. 2. Estructura y evolución del cerebro humano

§ La teoría evolutiva del cerebro triuno afirma que el cerebro humano está formado por tres cerebros. Esta teoría explica que, como resultado de la evolución, el cerebro humano está formado por tres capas o cerebros. La primera (de adentro hacia afuera) corresponde al cerebro reptiliano, la segunda al cerebro mamífero y la tercera de formación reciente corresponde a la época del hombre. Cada capa refleja aspectos específicos del comportamiento animal y humano como los instintos, las emociones y la razón. En cada una de ellas perviven atributos particulares y diferenciales en cuanto a la concepción del tiempo y del espacio. Sin embargo, están en interacción constante, de su interrelación e interacción constante desarrollo de las capacidades cognoscitivas.

§ Los instintos son una forma de aprendizaje evolutivo, natural y biológico destinada a conservar y preservar la vida. Están presentes desde el nacimiento hasta la muerte.

Íntimamente relacionados con sensaciones del placer y displacer estimulan la supervivencia del individuo desde el desarrollo de la capacidad de succión del recién nacido, el desarrollo de los sentidos, y estimulan la producción de emociones.

§ Posponer la respuesta a los instintos (excepto al de supervivencia) es la base para el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del individuo. Los instintos acicatean el sistema nervioso en busca de una respuesta inmediata. Naturalmente, el único instinto que se satisface inmediatamente es el instinto de conservación, en tanto que otros como: alimentación, hidratación, protección o reproducción se satisfacen en el corto, mediano o largo plazo. Durante el tiempo en que el sistema nervioso busca restablecer el equilibrio del organismo, para apaciguar el hambre, la sed, la procreación o la seguridad se desarrollan

estrategias de aprendizaje como posponer la recompensa, planificar, colaborar y recordar. Actividades todas que fortalecen el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*.

§ *Los instintos se transforman en emociones.* Con las emociones surge una nueva forma de cuidar y preservar la vida basada en el cuidado de las crías, en el juego y la colaboración entre miembros del grupo y la especie. La primera relación emocional entre una madre y su cachorro es el apego, entendido como un patrón de acción automático que establece un vínculo entre el recién nacido y la madre, o su cuidador.

§ *En el cuidado de las crías y en el juego, característica propia de los mamíferos, subyace el origen de las emociones y del proceso de enseñanza – aprendizaje.* Expresiones afectuosas y vocalizaciones de la madre, el sentimiento de seguridad inducidos por el padre, estimulan circuitos sinápticos al interior del cerebro mamífero que consolidan el aprendizaje biológico. Así mismo, la exploración, el juego corporal durante las primeras semanas de desarrollo permite conocer los límites del entorno y del propio cuerpo. Jugar con objetos estimula la resolución de problemas. El juego entre compañeros internaliza el comportamiento de la especie. Mediante el juego se estimula el desarrollo de redes sinápticas y prepara al individuo para la solución de problemas.

§ *En el neocórtex, tercera capa del cerebro triuno, se consolidan aquellas facultades que marcan la diferencia entre el hombre y el resto de los animales.* Esta capa inicia su desarrollo hace más de dos millones de años atrás con la aparición del *Homo habilis* primer representante del género *Homo*. Desde aquel entonces hasta nuestros días “... Las regiones que se ocupan de la cognición y el lenguaje se han agrandado enormemente durante la

evolución” (Sherwood, 2018). Regiones ubicadas en el lóbulo frontal y los lóbulos temporales, que anatómicamente definen la estructura esférica del cráneo y fisiológicamente se ocupan de las funciones ejecutivas como la atención, la planificación, el razonamiento, la toma de decisiones, la memoria de trabajo, la planificación y el lenguaje.

§ El neocórtex está interrelacionado íntimamente con los cerebros reptiliano y mamífero.

Ambos están interconectados con el neocórtex a través de una serie de redes y circuitos neuronales. Como el circuito de la atención y el circuito de la emoción. El primero atraviesa todo el encéfalo hasta enquistarse en el neocórtex, el segundo conecta los órganos del cerebro emocional con el lóbulo prefrontal.

§ La evolución de la capacidad cognoscitiva del Homo sapiens es concomitante al desarrollo del cerebro y la cultura. La domesticación del fuego supuso un cambio de dieta, el paso de lo crudo a lo cocido; construir refugios; identificar señales durante la noche o aquellas que anuncian el cambio de estación, se enquistaron en la memoria y transformaron la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. La conquista del fuego es un tipo de conocimiento adquirido por experiencia y transmitido de generación en generación a través de la cultura y los genes. Ambos estimulan la disposición del organismo, de las células nerviosas al aprendizaje. Así, cada logro significativo de la cultura es asimilado y transformado con mayor eficacia por la siguiente generación. Aunque, hoy por hoy, el desarrollo de las nuevas técnicas de información e interacción con la realidad está mermando significativamente el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens* (Desmurget, 2020) esta es la primera generación en la que los hijos son más tontos que sus padres.

§ *Conocer el cerebro desde una perspectiva evolutiva, biológica y psicológica permite el conocimiento de uno mismo.* Saber cuándo las emociones dominan la razón o cuando la razón encauza la energía emocional; es tan importante para el conocimiento de uno mismo como para el proceso de enseñanza aprendizaje. Hacer una pausa y observar el medio interno, así como el medio externo del individuo, detenerse y avanzar, abre la posibilidad de enseñar y aprender. Pues un cerebro bloqueado emocionalmente u obnubilado por la razón esta anulado intelectualmente. En tanto que un cerebro dinámico, estimulado por emociones positivas en diálogo con la razón, consigo mismo y con los demás está dispuesto al aprendizaje y el conocimiento.

§ *“Aprende bien y vivirás largo aprende mal y morirás pronto”* exhorta Francisco Mora. Conocer y educar los instintos de acuerdo al orden natural y social es esencial para conservar la vida. Naturalmente los instintos cuidan y preservan la vida, las emociones afianzan los lazos consanguíneos y los proyectan hacia otros miembros de la especie. A tiempo que la razón intenta regular instintos y emociones, tiene la capacidad de construir y/o destruir tanto el medio externo, como el medio interno del individuo.

IV. 2. 3. Dinámica neuronal y aprendizaje

§ *La dinámica neuronal expresa el desarrollo filogenético como ontogenético de nuestra especie.* En el primer caso la plasticidad de nuestro cerebro explica la presencia de nuestra especie en todos los pisos ecológicos del planeta, su adaptación a condiciones extremas de existencia. En el segundo caso revela que las cualidades de aprendizaje adquiridas en generaciones pasadas, son caldo de cultivo para incrementar las facultades de aprendizaje en las nuevas generaciones.

§ *El cerebro humano es dinámico y flexible, se renueva constantemente desde el nacimiento hasta la muerte.* Hoy se sabe que aún durante la edad madura se generan nuevas neuronas, nuevas conexiones sinápticas, aunque no con la intensidad ocurrida durante las primeras etapas del desarrollo.

§ *La neurona es la unidad anátomo funcional del cerebro.* El cerebro está formado por 86 000 millones de neuronas rodeadas aproximadamente por 500 000 millones de células gliales que nutren, limpian y sostienen la estructura del encéfalo. Cada neurona está formada por: dendritas, cuerpo celular (donde se encuentra el núcleo), axón y botones del axón. En palabras de Kandel 2007, no importa tanto la estructura de la célula nerviosa sino la comunicación que se establece entre ellas. Las células neuronales no forman un tejido compacto, antes bien, entre una y otra célula existe un espacio interneuronal denominado sinapsis.

§ *La sinapsis es la capacidad intrínseca de las neuronas de comunicar información a través de redes y circuitos neuronales dinámicos y flexibles.* Este sistema de comunicación se basa en un código electro-químico y un mecanismo de inhibición-acción de un solo sentido. El flujo de información se desplaza desde una neurona presináptica hacia otra neurona postsináptica.

§ *Las neuronas “hablan” por los botones del axón y “escuchan” por las dendritas (Castellanos, 2022).* Ante el estímulo correspondiente, el cuerpo de la neurona presináptica se carga eléctricamente, al llegar a su potencial de acción dispara una carga eléctrica que atraviesa el axón, estimula los botones del axón y expulsan los neurotransmisores, la información. Los neurotransmisores suspendidos en el espacio interneuronal (sinapsis) son

asimilados por las dendritas de la neurona postsináptica. Quien al recibir la información prepara los mecanismos de acción o inhibición correspondientes. Así, la neurona que recibe la información (postsináptica) se transforma ahora en presináptica y se repite el flujo de información entre axones y dendritas. Circuito extendido ad infinitum.

§ La plasticidad neuronal es la función principal que explica la naturaleza y el funcionamiento del cerebro. El cerebro cambia en cada etapa significativa del neurodesarrollo iniciado en la octava semana de desarrollo embrionario, el nacimiento, la primera infancia, la adolescencia, la edad madura... cambia cada día, desde el nacimiento hasta la muerte. Cada vez que aprendemos algo se crean nuevas conexiones sinápticas nuevas redes y circuitos neuronales que alojan aquel aprendizaje.

§ El cerebro crece con el aprendizaje. En las neuronas de las redes y circuitos neuronales que forman parte del paso del conocimiento, a corto plazo al conocimiento a largo plazo ocurren cambios fisiológicos y anatómicos. Modificaciones estructurales en el núcleo de la célula nerviosa como las síntesis de proteínas se traducen en el crecimiento de dendritas. Así, al desarrollar un mayor número de dendritas las neuronas tienen mayor posibilidad de establecer conexiones con mayor número de redes y circuitos neuronales. Es una clara expresión del principio de plasticidad y la consolidación del conocimiento.

IV. 2. 4. Cerebro emocional y desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*

*§ 1. Las emociones son dispositivos de supervivencia destinados a conservar la vida y preservar la evolución del *Homo sapiens*.* Las emociones son dispositivos genéticos unas actúan como sistemas de alerta, otras despiertan sensaciones de placer. Existen seis

emociones básicas (Ekman, 2017) la ira, la aversión, la tristeza y el miedo están destinadas a proteger la vida, en tanto que la alegría y la sorpresa están relacionadas con el gozo. La combinación de estas “emociones básicas” genera un abanico de emociones secundarias dependientes del medio ambiente físico y social, así como del medio interno del individuo. En sí mismas las emociones no son buenas ni malas solo son. Son necesarias para sobrevivir.

§ Las emociones son el primer sistema de comunicación desarrollado primero por los animales, y luego transformado por el hombre. Todo proceso de conocimiento se basa en la interpretación de señales, en este caso, señales provenientes del medio ambiente incluido el reino animal. Tanto el hombre como los animales expresan sus emociones de miedo, alegría, o tristeza a través del lenguaje corporal. Empero solo el hombre es capaz de transformar las manifestaciones del lenguaje corporal en lenguaje articulado orientado a transmitir ideas y pensamientos entre sus semejantes.

*§ La razón surge desde los **arcanos** de la emoción. La teoría evolutiva del cerebro triuno afirma que la capa de los instintos está rodeada por la capa de las emociones y ambas están rodeadas por la capa de la razón. En consecuencia, el neocórtex se desarrolla a partir de ambas capas, está conectado con el protocerebro a través de haces nerviosos, así como por un conjunto de redes y circuitos neuronales que influyen en las funciones ejecutivas. Por esta razón las emociones son inmanentes a los procesos racionales, determinan la toma de decisiones desde las más superfluas hasta las más trascendentales. Las emociones están presentes en el día a día desde la elección del menú a la hora del almuerzo hasta la elección de estudiar una carrera universitaria.*

§ *Las emociones propiciaron el desarrollo de la capa racional en el Homo sapiens.* El desarrollo del neocórtex inicia con el *Homo habilis*, primer representante del género *Homo*, hace más de dos millones de años. Empero, el desarrollo del lóbulo frontal, el lenguaje articulado y la cristalización de las funciones ejecutivas aparecen con el *Homo sapiens* hace 300 000 años atrás. Es más, recién hace 3 772 años que la razón intenta controlar las emociones a través de la imposición de leyes que rigen el comportamiento humano (Goleman 2000). Desde esta perspectiva las emociones guiaron y estimularon el desarrollo del cerebro emocional, desde épocas pretéritas hasta nuestros días, desde la aparición del primer espécimen que dio origen al linaje del género *Homo*. Con todo, las emociones propiciaron la aparición de nuestra especie y con ella la construcción de una realidad simbólica expresada en el mito, el lenguaje, la cultura, el arte, la religión, la historia la filosofía y la ciencia.

§ *Las emociones determinan el ser y estar del individuo en el mundo desde antes del nacimiento hasta la muerte.* Estudios de neurodesarrollo pone en evidencia, que, ya en la semana 22 del desarrollo embrionario el feto siente emociones primarias, transmitidas por el flujo sanguíneo de la madre (Ibarrola, 2014). El cerebro humano nace inmaduro. Madura progresivamente con el contacto emocional con los padres o cuidadores. Primeros agentes de educación emocional y auspiciadores de maduración cerebral. Así, durante la primera infancia experimentamos el primer proceso de enseñanza aprendizaje basado en emociones. Etapa altamente significativa para el ulterior desarrollo de las funciones cognoscitivas. Más aún, el óptimo desarrollo de las funciones ejecutivas depende de la relación entre razón y emoción.

§ La interacción entre emoción y razón es fundamental para el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del Homo sapiens. Todo aprendizaje acompañado de una emoción placentera o displacentera se registra en la memoria. Cultivar emociones positivas como la curiosidad, la alegría y la sorpresa estimulan el gusto por el aprendizaje, inquietud que se extiende a lo largo de toda la vida. Por el contrario, la presencia frecuente de emociones negativas, como el miedo, la angustia, la ira, la tristeza bloquean la inclinación por el conocimiento en el corto y en el largo plazo. Ciertamente un ambiente académico se caracteriza por la fricción constante entre factores positivos y negativos que suman o restan al proceso educativo. Por esta razón aprender a gestionar las emociones marca la diferencia entre el éxito o fracaso académico.

§ Las emociones estimulan y protegen el desarrollo de la vida a través del proceso constante de enseñanza aprendizaje. Desde el punto de vista evolutivo las emociones son instrumentos para sobrevivir; si algo es bueno para la vida, se registra, conserva y transmite a través de la memoria filogenética. Como el hecho de atacar, pelear o huir ante la amenaza de ser atacados por depredadores. Este registro evocado en situaciones análogas, despierta los mecanismos moleculares correspondientes y desata la actividad cerebral dedicada a conservar la vida. Proceso a ser tomado en cuenta por la educación pues si algo es bueno para la vida se aprende fácilmente, se conserva y se aplica en un futuro.

§ La gestión emocional y el conocimiento de uno mismo es esencial en la relación entre docente y estudiante. Donde el primero, como guía del proceso de aprendizaje, debe saber interpretar el estado emocional del estudiante, del aula, del contexto. Actividad que exige realizar un proceso de introspección, de conocimiento de sí mismo, para identificar el

estado emocional los alumnos, para contribuir eficazmente a la gestión de emociones en el aula.

§ Emoción, curiosidad y atención estimulan el proceso de enseñanza aprendizaje. A decir con Ignacio Mogrado el docente estimula la curiosidad del estudiante a través de un sistema de interrogantes que motivan la búsqueda de soluciones. Según Francisco Mora, somos seres emocionales primero y racionales después; así la emoción despierta la curiosidad y a ella le sigue naturalmente le sigue la atención. Emoción, curiosidad y atención estimulan el proceso de enseñanza aprendizaje, son la base para el desarrollo de todo proceso de conocimiento. Triada imprescindible, aunque subjetiva, relativa y ausente en muchos casos, durante el proceso de enseñanza aprendizaje. Enseñar a identificar y gestionar emociones, aprovechar el impulso emocional producido en niños, jóvenes y adultos es una asignatura pendiente en nuestro sistema educativo.

§ Las emociones son experiencias subjetivas, producen respuestas fisiológicas y se expresan en la conducta. Las emociones alteran el estado psíquico y fisiológico del individuo. Produce cambios en la producción de neurotransmisores y hormonas como la dopamina y la serotonina, que estimulan la memoria y el flujo del aprendizaje en el primer caso y el cortisol segregado en situaciones de peligro que bloquea el aprendizaje.

Alteraciones moleculares que invariablemente permanecen en el sujeto por un tiempo determinado, estimulan la actividad cerebral, modifican la conducta, transforman el estado de ánimo. Fenómeno conocido como “resaca emocional”. Estado que puede ser inducido, no solamente en el aula o por el docente sino esencialmente por el estudiante a través del conocimiento, cuidado y practica de sí. Práctica expresada en un estilo de vida basado en la alimentación saludable, el ejercicio físico y el descanso adecuado.

IV. 2. 5. Redes neuronales de la atención

§ La atención forma parte de ciclo sueño – vigilia. En condiciones normales sin que medie alteración o emergencia alguna el cerebro despierta, se enciende toma conciencia al pasar del estado de sueño al estado de vigilia. Momento en que la capacidad cognoscitiva, se activa a través de un sistema de cuatro bucles neuronales que generan su propia energía y se retroalimentan a sí mismos. La energía generada desde el tallo cerebral, atraviesa el cerebro emocional y se enquista en zonas de asociación del neocórtex. El recorrido de la atención se asemeja a la explosión de juegos artificiales.

§ Atención y distracción comparten los mismos circuitos neuronales. La energía generada en el cerebro varía de acuerdo a la hora del día, al tipo de actividad, a las condiciones del medio ambiente, al influjo emocional; entre otros factores fisiológicos y subjetivos. La “Red neuronal por defecto” (RND), tercer bucle de energía ubicado entre el cerebro emocional y el cerebro racional sostiene la actividad cerebral aun cuando el sujeto este descansando, en estado de reposo, sin hacer nada o divagando. Al no tener un objeto concreto (ideal o abstracto) esta red evoca pensamientos autorreferenciales, rumiaciones o ensoñaciones. Sin embargo, esta red se desconecta cuando la atención se enfoca en una actividad concreta en el momento presente, estimula la concentración y orienta la energía del cerebro a la ejecución, de una actividad concreta. Así, atención y distracción comparten las mismas redes neuronales, una se sobrepone a la otra, ambas no funcionan al mismo tiempo. Por tanto, no existe la multitarea, lo que ocurre es la alternancia constante entre diferentes tareas.

§ La atención “determina” la realidad, solo existe aquello que consciente o inconscientemente, decido atender. La atención es fundamental para todo proceso de conocimiento, empero no procesa información alguna. Es más, oscila entre lo consciente y lo inconsciente, en el primer caso depende de la voluntad, en el segundo la atención reacciona a un estímulo independientemente de la voluntad del sujeto. Dependiendo de la intensidad y tipo de estímulo el foco de atención se traduce en realidad. Aquella que determina las condiciones de existencia del sujeto.

§ La atención se desplaza constantemente entre lo consciente y lo inconsciente, entre las emociones y la razón. Durante el estado de vigilia la atención se desplaza desde las estructuras del cerebro emocional hacia el neocórtex o desde el neocórtex hacia las estructuras subcorticales; desplazamiento que puede ser voluntario o involuntario. Gestionar el movimiento atencional implica el conocimiento de uno mismo, implica apropiarse del momento presente, implica aprovechar la energía de la emoción, implica cultivar la reflexión.

§ La atención es un bien preciado y un recurso limitado. La atención está en medio de una tensión constante entre el medio interno y el entorno del sujeto. Por una parte, está la necesidad de dirigir y emplear la atención en el momento presente, en cultivar y desarrollar la capacidad cognoscitiva del individuo. Actividad secuestrada por la red neuronal por defecto, así como por estímulos medioambientales, sociales y culturales. Empero el lado más pernicioso está en el desarrollo de las tecnologías de la comunicación, en los mass media, en las redes sociales, en el exceso y distorsión de información. Por esta razón, en un futuro no muy lejano, saber regular la atención será uno de los requisitos para obtener un buen puesto de trabajo

IV. 2. 6. Origen y evolución de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*, reflejada en la educación.

*§ La evolución del reino animal depende de la interacción entre medio interno y medio externo del organismo. Interacción gestada por el sistema nervioso cuyo desarrollo va de la mano con la evolución de la vida animal en el planeta. Al mismo tiempo en todo proceso evolutivo subyace la esencia del aprendizaje. Consistente en la adaptación al medio, en la adquisición de habilidades para la sobrevivencia del individuo y la especie. Esta metamorfosis y transformación de la vida llega al paroxismo con el desarrollo de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*, cuya capacidad de conocer, aprender y enseñar está determinada por su herencia biológica y cultural.*

§ Durante la etapa embrionaria del individuo humano, se replica todo el proceso filogenético de toda nuestra especie. Después del nacimiento cada etapa significativa del neurodesarrollo: niñez, adolescencia y madurez se expresa en la conducta en forma de instintos, emociones y pensamientos. Cuyo correlato biológico se encuentra en el cerebro reptiliano, emocional y en el neocórtex. La fusión e interacción constante de estos tres cerebros permite: conocer, almacenar y transmitir información. Cualidades inherentes a todo proceso de enseñanza aprendizaje.

*§ El conocimiento a largo plazo en el *Homo sapiens* se consolida con la comunicación entre redes y circuitos neuronales. Se consolida con la interacción de diferentes redes y circuitos neuronales sobre el mismo objeto de conocimiento. La construcción del conocimiento se consolida cuando diferentes perspectivas de análisis y síntesis confluyen en la construcción del objeto de conocimiento. Proceso conocido como plasticidad neuronal, sináptica o*

cerebral. La plasticidad es uno de los conceptos esenciales que explican cómo funciona el cerebro, como se construye el conocimiento y su participación ineludible en la educación.

§ La interacción entre razón y emoción es fundamental para todo proceso de conocimiento.

Sensaciones agradables y emociones positivas como la temperatura, la alegría y/o la sorpresa, estimulan el flujo de información interneuronal y facilitan el proceso de *enseñanza aprendizaje*; en tanto que emociones negativas como la ira y el miedo bloquean el flujo de información e impiden el proceso de conocimiento. Aunque las emociones negativas también enseñan son perniciosas para la educación. Con un aprendizaje estimulado emocionalmente perdura en el tiempo, en tanto que un aprendizaje sin emoción se pierde rápidamente.

§ La conciencia se enciende con la atención. Estar conscientes de lo que pasa a nuestro alrededor es estar atentos. De modo que primero la atención enciende la conciencia y luego la conciencia enfoca la atención en lo que nos interesa. La atención es una cualidad inherente a todo proceso de enseñanza aprendizaje. Conocer el flujo de la atención facilita el conocimiento.

IV. 3. Recomendaciones. –

La caracterización realizada sobre el cerebro induce a profundizar en los arcanos de la capacidad cognoscitiva del *Homo sapiens*. Por esta razón recomendamos investigar el tema desde la filosofía, la educación, la psicología, la antropología y la biología entre otras disciplinas. Naturalmente abordar el problema del conocimiento desde diferentes perspectivas amplia la eficacia de los procesos de enseñanza aprendizaje.

La reflexión filosófica sobre el cerebro abre un sinfín de interrogantes como la relación intrínseca entre cuerpo y cerebro. Pues, a la vez que el cerebro controla el cuerpo, el cuerpo influye en la construcción y consolidación de redes y circuitos neuronales. Es más, desde la epistemología se justifican y fortalecen los diferentes métodos de aproximación al estudio del cerebro.

La relación intrínseca entre cerebro y educación es por demás significativa pues conviene saber cómo funciona nuestro órgano de conocimiento, para saber cómo emplearlo. Enfocar el proceso de enseñanza aprendizaje con la lente del encéfalo abre paso a reflexiones pedagógicas y aplicaciones didácticas.

Indagaciones psicológicas relacionadas con la teoría del cerebro explicarán el comportamiento, por demás, complejo del *Homo sapiens*. Tener una imagen cabal y objetiva del cerebro permite cuestionar la interrelación entre cerebro e individuo, entre cerebro y conducta, entre individuo y sociedad. Al mismo tiempo se generan pautas para la gestión de sensaciones, emociones, sentimientos y pensamientos.

Desde el punto de vista antropológico estudiar la relación entre cerebro y cultura nos induce a reflexionar desde otra perspectiva sobre la naturaleza de las representaciones simbólicas como el mito, el arte, el lenguaje, la religión, la filosofía, la historia y la ciencia.

Es necesario poner en debate el uso, el cuidado y el conocimiento del cerebro. A través de la investigación multidisciplinaria, entre ciencias humanas y exactas, a través de la difusión y la discusión de resultados. Ciertamente no se trata de cambiar una teoría por otra sino de complementar la teoría de la educación con la teoría del cerebro.

El desafío para la educación formal consiste en identificar cómo y cuándo estimular el cerebro mediante contenidos específicos acordes con el desarrollo biológico, emocional y cultural del cerebro. Se debe generar un contexto pedagógico propicio para la transmisión de emociones positivas, estimular la renovación constante de conocimiento, la curiosidad, la formulación y solución de problemas. En este sentido, conviene que instituciones educativas implementen contenidos necesarios orientados a conocer cómo funciona el cerebro con énfasis en la relación: razón – emoción, una de las condiciones *sine qua non* para el éxito del conocimiento. Esta condición no solo contribuirá al éxito académico, sino también al autoconocimiento, al cuidado y dominio de sí mismo. Y con ello mejorar el sistema educativo, así como la percepción y el comportamiento de la sociedad.

Las instituciones educativas de post grado, están llamadas a guiar y fomentar la discusión sobre la relación entre cerebro y educación. Se puede, por ejemplo, actuar progresivamente e introducir seminarios, charlas, fomentar la investigación sobre el tema. Actividades que, óptimamente, abren las puertas de ingreso a la posibilidad de introducir una materia específica sobre el funcionamiento del cerebro, y así estimular a sus maestrantes a hablar de él en el pregrado. Pues en todo momento, en todo lugar, en cada circunstancia de aprendizaje, aun cuando dialogamos con nosotros mismos ¿con quién hablamos?, ¿quién nos da la razón?, ¿de dónde surge la autocrítica?, ¿cómo se genera? La omnipresencia del cerebro en nuestras vidas es indispensable, aunque hoy por hoy es el gran ausente tanto en las mallas curriculares de los diferentes grados de escolarización como en las aulas.

REFERENCIAS

- Anguita, F. (2011). Biografía de la Tierra. Historia de un planeta singular. *Santillana Ediciones Generales*, 1162, 147.
- Arias, W. L. (2018). La frenología y sus implicancias: un poco de historia sobre un tema olvidado Phrenology and its implications: Brief history about a forgotten issue. *Revista Chilena de Neuro Psiquiatría*, 56(1), 36–45.
file:///C:/Users/USER/Downloads/0034-7388-rchnp-56-01-0036.pdf
- Azcárate Bang, T. (1973). Evolución del sistema nervioso en Vertebrados. *COL-PA. Publicaciones de Departamento de Paleontología*, 23, 5–9.
- Badii, M., Landeros, J., & Garza, V. (2008). Historia evolutiva de la vida. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 5(24), 6–18.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2734246.pdf>
- Bardisa, J. L., & White, L. A. (1967). La ciencia de la cultura. In *La ciencia de la cultura* (Issue 8). Paidós. <https://doi.org/10.2307/40180681>
- Blanco, C. (2014). *Historia de la Neurociencia: El conocimiento del cerebro y la mente desde una perspectiva interdisciplinar* (X. S. X. Editores (ed.)).
- Bonito, J., Medina, J., Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Martins, L., & Marquez, L. (2011). La naturaleza del tiempo y su complejidad: El caso del tiempo geológico - implicaciones educativas. *DYNA (Colombia)*, 78(169), 247–257.
- Bunge, M. (1997). La Investigación Científica. In Ariel (Ed.), *Suparyanto dan Rosad*

(2015).

- Campos, A. (2020). Contorno y ditorno de la obra cajaliana. *Investigación y Ciencia Cuadernos Mente y Cerebro*, 27. www.investigacionyciencia.es/revistas/cuadernos
- Carboni, A., & Barg, G. (2015). Manual de introducción a la psicología cognitiva. *Comision Sectorial de Enseñanza*, 29.
[https://cognicion.psico.edu.uy/sites/cognicion.psico.edu.uy/files/Capítulo 3.pdf](https://cognicion.psico.edu.uy/sites/cognicion.psico.edu.uy/files/Capítulo%203.pdf)
- Castellanos, N. (2021). *El Espejo del Cerebro*. La Huerta Grande.
- Castellanos, N. (2022). *Neurociencia del cuerpo. Cómo el organismos esculpe el cerebro* (Primera). Kairos.
- Castillo Moreno, A., & Paternina Marín, A. (2006). Redes Atencionales y Sistema Visual Selectivo. *Universitas Psychologica*.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64750209>
- Castro Alamancos, M. A. (2003). Dinamismo talamocortical: ¿Cómo se comunican el tálamo y la neocorteza durante los estados de procesamiento de información? *Revista de Neurología*, 36(07), 643. <https://doi.org/10.33588/rn.3607.2003100>
- Chú Lee, Á., Cuenca, S., & López, M. (2015). Organización anatómica del sistema nervioso. *Anatomía y Fisiología Del Sistema Nervioso*, 1, 368.
- Coll-Andreu, M. (2011). *Plasticidad cerebral y experiencia: fundamentos biológicos de la atención*. 1–20.
- Colmenero Jiménez, J. M., Catena Martínez, A., & Fuentes, L. J. (2001). Atención visual :

una revisión sobre las redes atencionales del cerebro. *Anales de Psicología*, 17(1), 45–67.

<http://revistas.um.es/analesps/article/viewFile/29081/28141%5Cnhttp://digitum.um.es/jspui/handle/10201/7969>

Cookson, M. D., & Stirk, P. M. R. (2019). *The History of Neuroscience in Autobiography* (L. R. Squire (ed.)).

Cuatrecasas, J. (1967). MITOPOYESIS DEL ORIGEN DEL FUEGO: SU SIGNIFICACIÓN ANTROPOLÓGICA. *Revista de Psicología-1967*, 5, 1.

Curtis, Barnes, Schnek, & Massarini. (2007). *Biología Curtis*.

Damasio, A. R. (1996). *El Error de Descartes* (Vol. 15, Issue 2). Andrés Bello.

De Felipe, J. (2005). Cajal y sus dibujos: ciencia y arte. *Arte y Neurología*, 213–230.

Desmurget, M. (2020). *La fábrica de cretinos digitales. Los peligros de las pantallas para nuestros hijos* (1^o edición). Peníns.

Ekman, P. (2017). *El rostro de las emociones. Qué nos revelan las expresiones faciales* (RBA (ed.); Issue 1).

Eliade, M. (1983). *HERREROS Y ALQUIMISTAS* (A. Editorial (ed.); Segunda ed).

Estévez-González, A., García-Sánchez, C., & Junqué, C. (1997). La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol*, 25(148), 1989–1997.

[http://aulavirtual.iberoamericana.edu.co/recursosel/documentos_para-descarga/La atención, una compleja función cerebral.pdf](http://aulavirtual.iberoamericana.edu.co/recursosel/documentos_para-descarga/La_atencion,_una_compleja_funcion_cerebral.pdf)

Etimología Plástico. (n.d.). <http://etimologias.dechile.net/?pla.stico>

Etimologías. (2021). <http://www.dechile.net/>

Felten, D. L., & Shetty, A. N. (2003). *Atlas de Neurociencias*. Elsevier Masson.

www.snchharma.com

Fernández, D. (2012). *Soza Desarrollo del pez cebra*.

<https://pezcebradesarrollo.wordpress.com/sistemas-sensoriales-de-los-peces/>

Flik, U. (2016). Flick, U. (2015). El diseño de la investigación cualitativa. In *Revista*

Investigación Cualitativa (Vol. 1, Issue 1, pp. 107–117).

<https://doi.org/10.23935/2016/01018>

Flores Lázaro, J. C. (2008). Neuropsicología de Lóbulos Frontales, Funciones Ejecutivas y

Conducta Humana. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8, 47–58.

Funes, M. J., & Lupiáñez, J. (2003). La teoría atencional de Posner: Una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas. *Psicothema*, 15(2), 260–266.

Galimberti, U. (2002). Diccionario de Psicología. In *Syria Studies*. Siglo XXI editores.

Goleman, D. (1995). *Inteligencia Emocional aplicada a las Organizaciones*. Kairos.

Goleman, D. (2013). Focus - Concentración. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Gómez de la Rúa, D., & Diez-Martín, F. (2009). La domesticación del fuego durante el

Pleistoceno inferior y medio. Estado de la cuestión. *Veleia*, 26, 189–216.

González, J. V. R. (2013). La curiosidad en el desarrollo cognitivo: análisis teórico.

UnaCiencia, 0(6). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/FHP/article/view/6416>

Guerrero, A. (2019). *Disfunción de la red neuronal por defecto en primeros episodios psicóticos (Tesis de Doctorado)*.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/669673/agp1de1.pdf?sequence=1>

Guerrero Arenas, R., & González Rodríguez, K. (2012). Algunas consideraciones sobre el origen y evolución de los cordados. *Ciencia Ergo Sum*, 19(2), 172–178.

Guyton, A. C. (2014). Fisiología Medica. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (Vol. 7, Issue 2). Elsevier.

Harris, M. (1994). *Nuestra especie*.

Hernández-Chavarría, F. (2014). Creatividad : ¿ derecho o izquierdo ? ; No , el juego de ambos ! *El Artista*, 11, 374–381. <http://www.redalyc.org/pdf/874/87432695021.pdf>

Ibarrola, B. (2014). *Aprendizaje emocionante* (Primera, Issue 1). Ediciones S M.

Infografía Neurociencias de la corteza cingulada. (2016).

<http://www.neuropsike.com/index.php/home-blog/infografia-neurociencias-corteza-cingulada.html>

James, W. (1890). Principios De Psicología. In *Filosofo* (Vol. 1).

<https://psikoanarko.files.wordpress.com/2019/01/W.-James.-Principios-de-Psicologia.pdf>

- Kabadayi, C., & Osvath, M. (2017). Ravens parallel great apes in flexible planning for tool-use and bartering. *Science*, 357(6347), 202–204.
<https://doi.org/10.1126/science.aam8138>
- Kandel, Eric R., Schwartz, James H., Jessell, T. (2004). *Principios de neurociencia* (4ta. ed, Vol. 59). McGrawHill.
- Kandel, E. R. (2007a). *En busca de la memoria* (1º). Katzeditores.com.
<https://doi.org/10.2307/j.ctvm7bdr7>
- Kandel, E. R. (2007b). En busca de la memoria. In *En busca de la memoria* (Primera).
<https://doi.org/10.2307/j.ctvm7bdr7>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. (2001). Principios de neurociencia. In *Syria Studies* (4ta ed., Vol. 7, Issue 1). McGraw-Hill.Interamericana.
https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Kardong, K. V. (2007). Zoología.- Kardong, Kenneth - Vertebrados - anatomía comparada, función y evolución (4ta edición).pdf. In *Zoología.- Kardong, Kenneth - Vertebrados - anatomía comparada, función y evolución (4ta edición)* (p. 796).
- Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind. *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>
- Lagman, J., Sadler, T. W., & Lorenzo, &. (2001). *Embriología médica Con orientacion*

clínica (T. W. Sadler (Ed.); 8ª Edición). Panamericana.

www.medicapanamericana.com

Laland, K. (2018). La evolución de nuestra excepcionalidad. *Investigación y Ciencia Cuadernos Mente y Cerebro*.

LeDoux, J. (1999). *El cerebro emocional*. <https://issuu.com/lisfortuito/docs/269408658-el-cerebro-emocional-jose>

León-Domínguez, U., & León-Carrión, J. (2019). Modelo neurofuncional de la conciencia: bases neurofisiológicas y cognitivas. *Revista de Neurología*, 69(4), 159–166.
<https://doi.org/10.33588/rn.6904.2019072>

Linares, V. R., Piqueras Rodríguez, J. A., Martínez González, A. E., & Guadalupe, L. A. O. (2009). Emoción y cognición: Implicaciones para el tratamiento. *Terapia Psicológica*, 27(2), 227–237. <https://doi.org/10.4067/s0718-48082009000200008>

Londoño-Ocampo, & León. (2009). La atención: un proceso psicológico básico. *Revista de La Facultad de Psicología de La Universidad Cooperativa de Colombia*, 5(8), 92–100.
<https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150730/555786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MacLean, P. (1978). El Encuentro de las Mentes. *Educación y El Cerebro*, 1–23.
http://www.elhumanoinfinito.net/descargas/El_encuentro_de_las_mentes.pdf

Mora, F. (2001). *El reloj de la sabiduría*. Alianza Editorial.

Mora, F. (2013). *Neuroeducación* (1ª). Alianza Editorial. alianzaeditorial@anaya.es

- Mora, F. (2014). ¿Cómo funciona el cerebro. In *Revue Neurologique* (Vol. 30, Issue 9). Difusora Larousse - Alianza Editorial.
- Mora, S. (2013). El cerebro y el aprendizaje. *Revista de Farmacología*, 6(2), 5–10.
- Muñoz, J., Gutiérrez, P., & Serrano, R. (2012). Los hemisferios cerebrales: dos estilos de pensar, dos modos de enseñar y aprender. *Estilos de Aprendizaje: Investigaciones y Experiencias.*, 1997, 1–6. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4664049.pdf>
- Muzzio, I. (2001). *Biología Molecular de la Memoria: un dialogo entre genes y sinapsis*. 100–114.
- Nieto Sampedro, M. (2003). Plasticidad neural. *Mente y Cerebro*, 72–80.
http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36346978/plasticidad_neuronal.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1482690634&Signature=wK0U4Zpyt4UTPMvzOGtrkcKZjgU%3D&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPlasticidad_neuronal.pdf
- Organ, S. (2012). Desarrollo embrionario del sistema nervioso central y órganos de los sentidos: revisión / Embryonic Central Nervous System and Sense Organ Development: Review. *Universitas Odontologica*, 31(66), 125–132.
- Orias, A. (2002). *Escritos escogidos*. Visual.
- Ortega-Loubon, C., & Franco, J. C. (2010). Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Plasticidad neuronal. *Archivos de Medicina*, 6(1). <https://doi.org/10.3823/048>
- Ortiz, T. (2009). *Neurociencia y Educación*. Alianza. www.alianzaeditorial.es

- Palmero Cantero, F. (1996). Aproximación biológica al estudio de la emoción. *Anales de Psicología*, 12(1), 61–86.
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=815050&info=resumen&idioma=SPA>
- Palop, J., Este, M., Mundo, V., & Mundo, V. (1969). *Prehistorica. 1*.
- Papaini, Mauricio R. Salas, C. M. R. N. (1999). Análisis Comparativo del Aprendizaje en Vertebrados. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 46, 148–159.
www.elsevier.es/rlp
- Pellini, C. (2015). LA APARICION DE LA VIDA EN LA TIERRA-LOS PERÍODOS GEOLOGICOS. https://historiaybiografias.com/aparicion_vida/
- Perea-Bartolomé, & Ladera-Fernández, V. (2004). El tálamo: aspectos neurofuncionales M.V. *Revista de Neurología*, 38(7), 687–693.
<https://doi.org/10.33588/rn.3807.2003565>
- Pizarro de Zullinger, B. (2014). Neurociencia y Educación. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 7(2), 107–115. www.neurocentros.es
- Puente, A. (2007). La historia incompleta del descubrimiento de la división cerebral. *Suma Psicológica Bogotá (Col.) Suma Psicológica Suma Psicológica*, 14(2), 225–232.
<http://www.uncw.edu/psy/faculty-puente.html>
- Raichle, M. (2010). La red Neuronal por Defecto. *Investigacion y Ciencia*.
- Rangel, R. (2006). Teorias del sistema nervioso Rangel. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 13 n1, 17.

- Renzo, L. (2011). *Alteraciones de la conectividad funcional de la Default-Mode network en la depresión mayor: una breve mirada a la actividad intrínseca del cerebro*. 7, 3.
[http://neurocognitiva.org/wp-content/uploads/2012/01/Lanfranco-R.-2011-
Alteraciones-en-DMN-y-Depresión.pdf](http://neurocognitiva.org/wp-content/uploads/2012/01/Lanfranco-R.-2011-Alteraciones-en-DMN-y-Depresión.pdf)
- Río, R. Del, María, D., & Avaria, D. L. Á. (2005). *Revista Pediatría Electrónica Aspectos biológicos del desarrollo psicomotor Revista Pediatría Electrónica. Revista Pediátrica*, 2, 36–46.
- Ríos-Lago, M., Adrover-roig, D., Noreña, D. De, & Rodríguez, J. M. (2014). *Atención. October 2013*.
- Rohlfs, P. (2016). Esta investigación fue realizada en el contexto contractual de la autora con la UNEX, sin financiación adicional. *Revista Internacional de Psicología*, 15(1), 1–50.
- Rueda, M. R., Conejero, Á., & Guerra, S. (2016). Educar la atención desde la neurociencia. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 53(1), 1–16. <https://doi.org/10.7764/pel.53.1.2016.3>
- Salhi, D. M. (2005). *Origen de los cordados Phylum CHORDATA Subphylum UROCHORDATA Subphylum CEPHALOCHORDATA*. 1–11.
- Sánchez-Santillán, N., Sánchez-Trejo, R., De La, G., Espino, L., & Garduño, R. (2014). Evolución Del Clima a Través De La Historia De La Tierra Climate Evolution Across the Earth'S History. *Rev. Reflexiones*, 93(1), 121–132.
<http://www.scielo.sa.cr/pdf/reflexiones/v93n1/a09v93n1.pdf>

Sánchez Santillán, N., Sánchez Trejo, R., De la Lanza Espino, G., & Garduño, R. (1969).

Evolución del clima a través de la historia de la tierra. *Revista Reflexiones*, 93(1).

<https://doi.org/10.15517/rr.v93i1.13748>

Sanguesa, J. (2010). *Exorcismo con Ritalín: ¿Cómo funcionan los medicamentos para el*

Déficit de Atención? <https://juansanguesa.com/exorcismo-con-ritalin-2/>

Santalla, Z., & Cañoto, Y. (2017). *Capítulo 4 : El mecanismo atencional*. November.

Sherwood, C. C. (2018). ¿En qué se distingue nuestro cerebro? *Investigacion y Ciencia*.

www.investigacionyciencia.es

Sistema Nervioso en verterados. (2015).

<https://sistemanerviosovertebrados.wordpress.com/2015/06/09/sistema-nervioso-en-vertebrados/>

Sperry, R. W. (2003). Algunos efectos de la desconexión de los hemisferios cerebrales.

Revista de Divulgación Científica y Tecnología de La Universidad Veracruzana, XVI.

<https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num3/articulos/hemisferios/index.htm#:~:text=El hemisferio menor%2C adem%C3%A1s de, lenguaje y el procesamiento>

simbólico.

Spota, B. B. (1946). Histórico y evolución de la neurología. *Archivos de Neuro-Psiquiatria*,

4(3), 295–303. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x1946000300005>

Suddendorf, T. (2018). La esencia de nuestra mente. *Investigación y Ciencia Cuadernos*

Mente y Cerebro y Ciencia. www.investigacionyciencia.es

Teruel, F. M. (2013). *¿Qué es una Emoción?* 189(759), 1–6.

<https://doi.org/10.3989/arbor.2013.759n1003>

Vargas, A., López, M., Lillo, C., & Vargas, M. J. (2012). The Edwin Smith papyrus in the history of medicine. *Revista Medica de Chile*, *140*(10), 1357–1362.

<https://doi.org/10.4067/S0034-98872012001000020>

Velásquez Burgos, Bertha Calle M, M. R. de C. N. (2006). Neuroscientific Theories of Learning and Their Implication in the Knowledge Construction of University Students. *Tabula Rasa*, *5*, 229–245.

Villanueva, M. (2015). Paul Broca. (1824-1880) Médico, anatomista, antropólogo y cartógrafo del cerebro. *Revista Galenus*, *1*(3), 74–75.

<https://www.galenusrevista.com/IMG/pdf/-10.pdf>

Wong, K. (2018). El último homínido. *Investigacion y Ciencia*.