



## TÍTULO

**NEUROCIENCIA + PEDAGOGÍA = NEUROPEDAGOGÍA:  
REPERCUSIONES E IMPLICACIONES DE LOS AVANCES DE  
LA NEUROCIENCIA PARA LA PRÁCTICA EDUCATIVA**

## AUTOR

**Tarcisio Jose de Melo Ferreira**

Directores  
Curso

©  
©

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2012**

José María Delgado y Luis Puelles

Máster en Neurociencia (1998)

Tarcisio Jose de Melo Ferreira

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCIA –  
UNIA**

**SEDE DE LA RÁBIDA**

**III MAESTRÍA DE NEUROCIENCIA**

**NEUROCIENCIA + PEDAGOGÍA = NEUROPEDAGOGÍA:  
Repercusiones e implicaciones de los avances de la  
neurociencia para la práctica educativa**

**TARCISIO JOSE DE MELO FERREIRA**

Directores:

**JOSE MARIA DELGADO GARCIA  
LUIS PUELLES LÓPEZ**

## AGRADECIMIENTOS

Aos meus país, Valeriano e Aurélia pelo carinho a distancia. Presentes ausentes.

A minha pequena família, pelos encontros e desencontros. Elizabeth, Alexis e Jordi.

Minha “sombra” Elizabeth, que me atura há mais de 20 anos. A ti todo meu amor e carinho.

D. Teresinha com todo seu amor e carinho e Beto Dutra, o “Maxo Reiu” companheiro e irmão nas horas incertas.

Aos irmãos e amigos distantes, Brasil.

A José María Delgado por sus manos extendidas, siempre.

A Luis Puelles por sus consejos, enseñanza, cariño y comprensión.

A Margaret Martínez-De-La-Torre por todo su cariño, apoyo y la palabra amiga en las horas de dificultad.

Un cariño especial a mis compañeros de la III Maestría de Neurociencia.

Un saludo especial a todos de Lá Rábida. Una “casa” de amistad y del conocimiento.

Agradezco a todos los que ayudaran directa y indirectamente para la consecución de este trabajo.

## **Volver para empezar**

Vienes del abono y de la siembra,  
del mullido campo verde,  
que acoge trigo y bienestar.

La densa arena que te cubre  
grano a grano, lapso a lapso,  
se hace playa junto al mar.

Vienes de trajes y de adentros,  
preciso bazo, hermano dedo:  
todos recuperados hasta hablar.

Del largo futuro de las piedras,  
de la reconstrucción del lóbulo,  
desandas tu porción de eternidad.

(Por un instante te es dado  
sentir y contar).

José María Delgado-García

El Prof. **José María Delgado García** D. **José María Delgado García**, Director Del División de Neurociencias de la Universidad Pablo de Olavide, Director del Programa de Postgrado y Doctorado de Neurociencia de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, Coordinador de III Maestría en Neurociencia en La Universidad Internacional de Andalucía sede de La Rábida, ha dirigido la Tesina:

**“NEUROCIENCIA + PEDAGOGÍA = NEUROPEDAGOGÍA: Repercusiones e implicaciones de los avances de la neurociencia para la práctica educativa”** realizada por **TARCISIO JOSE DE MELO FERREIRA**



**JOSE MARIA DELGADO GARCIA**

El Prof. D. **Luis Puelles López**, catedrático de Neuroanatomía del departamento de Anatomía Humana y Psicobiología y director del programa de doctorado de Neurociencias de la Universidad de Murcia ha codirigido la Tesina:

**“NEUROCIENCIA + PEDAGOGÍA = NEUROPEDAGOGÍA: Repercusiones e implicaciones de los avances de la neurociencia para la práctica educativa”** realizada por **TARCISIO JOSE DE MELO FERREIRA**



A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Luis Puelles', is written over the bottom right portion of the university seal.

**LUIS PUELLES LÓPEZ**

Tribunal nombrado:

Prof. Dr. **José A. Armengol Butrón de Mújica**  
Presidente

Profa. Dra. **Agnés Gruart I Massó**  
Secretaria

Prof. Dr. **Juan Carlos López Ramos**  
Vocal



## ABSTRACT

Research in neuroscience increasingly shed light on the structure and functions of the brain and image scanning technology have enabled neuroscientists to discover more about the human brain functions in a few years. The present work, we will discuss the studies and research in neuroscience and developmental cognitive neuroscience, so accessible to educators, seeking to understand the neural basis of learning and neurobiological knowledge could be of relevance to professionals involved in the process teaching and learning. In the first place, we look for the historical background of the historical development of neuroscience in the last four centuries. In the second place, we show progress in relation to neurodevelopmental factors in early childhood. In particular, we know very little about how processes such as learning and memory evolve throughout adolescence. Fourth, the paper raises issues of work to facilitate the meeting between neuroscientists and educators, and to clarify doubts and nurture future research on teaching and learning. Active discussion of these issues (in educational forums, study groups, etc.) to generate completely new issues not raised yet. This collaboration will help to stimulate new research into a "science and technology learning" transdisciplinary. The neuropedagogía should be in theory and practice-oriented activity so we know the brain, stimulating the curiosity of teachers so as to engage increasingly with efficient education and biologically significant (balanced) in a culturally changing. Therefore, the neuropedagogía try to build a bridge for the transfer to the pedagogy of the growing knowledge in the neuroscience of learning and are intended to provide parents, teachers and students in a small way what we know about the brain, memory, learning and movement. It is urgent to define a model neuropedagógico study, based on the scientific method. Both neuroscience and pedagogy have their own specific content. It is not, therefore, that pedagogy is "explained" through neuroscience, it is rather to create a bridge between the two areas of knowledge. It treats primarily to explore possibilities in this regard.

## INDICE

Introducción.....	01
Orígenes de la Neurociencia.....	06
La Neurociencia.....	14
Neurociências, multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y integración del conocimiento .....	28
La necesidad de crear un vocabulario comum .....	30
El Cerebro: ese gran desconocido.....	37
Implicaciones educativas de las investigaciones del cerebro .....	41
Desarrollo del cerebro: sinaptogénesis y eliminación sináptica .....	44
Desarrollo y experiencia: el concepto de periodo crítico .....	48
Periodos Sensibles.....	51
Los periodos sensibles en el idioma y su desarrollo .....	52
Aprendizaje del segundo idioma .....	53
Ambientea enriquecidos y crecimiento de las sinapsis .....	54
Las Ratas y los Niños .....	55
Desarrollo cognitivo de niños en la edad pre-escolar .....	57
Las ventanas de oportunidades para el desarrollo .....	59
Las diferencias individuales y las dificultades de aprendizaje .....	67
Diferencias individuales en aprendizaje y el cerebro .....	67
Aprendizaje y memoria.....	69
Conclusiones y recomendaciones: Un salto al fulturo .....	75
Bibliografía .....	77

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones en Neurociencia arrojan cada vez más luz acerca de la estructura y funciones del cerebro. Los recientes adelantos tecnológicos han permitido a los neurocientíficos descubrir más sobre las funciones del cerebro humano que en todos los años previos. Diversas técnicas como la neuroimagen funcional, mediante la cual es posible medir la actividad del cerebro cuando el ser humano realiza una determinada tarea, la imagen de resonancia magnética funcional (fMRI), o la tomografía por emisión de positrones (PET) (véase apéndice 1), han provocado avances significativos de nuestro conocimiento del cerebro y de la mente. El presente trabajo, aparentemente pionero en España, comenzó en 1998 cuando cursé la III Maestría de Neurociencia, coordinada por los profesores José María Delgado García y Alberto Ferrús. En él hablaremos de modo selectivo de los estudios e investigaciones de la neurociencia del desarrollo y de la neurociencia cognitiva, de modo accesible para los pedagogos, buscando entender las bases neurales de cómo los niños aprenden y que conocimientos neurobiológicos podrían ser de relevancia para los profesionales implicados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Hablaremos de estos avances en cuatro apartados. En el primero, buscaremos los antecedentes históricos del desarrollo histórico de la neurociencia en los últimos cuatro siglos. En el segundo, enseñaremos los avances relativos a los factores del desarrollo neural en la infancia temprana. Consideramos que los factores más relevantes para el aprendizaje tienen lugar durante los primeros siete años de vida. Pero no se limitan a ese periodo y continúan desarrollándose a un ritmo menor durante toda la adolescencia. Hay un gran vacío en las investigaciones neurocientíficas en torno al desarrollo del cerebro después de los primeros años y más allá, en la vida adulta. En concreto, sabemos muy poco acerca de cómo los procesos tales como el aprendizaje y la memoria evolucionan durante toda la adolescencia. Recientemente, los neurocientíficos están arrojando alguna luz sobre cómo aprende nuevas materias el cerebro de los adultos, y cómo el aprendizaje se ve afectado por el contexto emocional, el entorno y las diferencias individuales. El

tercer apartado de este trabajo versa sobre la naturaleza del aprendizaje. El cuarto apartado está dirigido al conocimiento de los problemas del aprendizaje y las diferencias individuales.

En la parte final de cada apartado plantearemos una serie de cuestiones de trabajo para propiciar el encuentro entre neurocientíficos y educadores, así como para aclarar dudas y alimentar futuras investigaciones interdisciplinarias sobre la enseñanza y el aprendizaje.

La discusión activa de estos temas (en foros pedagógicos, grupos de estudios, etcétera) con más colaboración entre neurocientíficos y educadores, permitirá salir a la luz cuestiones totalmente nuevas no planteadas hasta la fecha. Dicha colaboración ayudará a estimular nuevas investigaciones en una “ciencia y tecnología del aprendizaje” transdisciplinar.

En este trabajo usaremos la palabra “aprendizaje” para abarcar todos los tipos de aprendizaje. Asimismo, cuando nos referimos a la neurociencia, incluimos todos los tipos de estudio del cerebro. Y cuando hablamos de pedagogos o educadores, hacemos referencia a todos los que trabajan en el proceso educativo, sin distinción de área de actuación o tipo de formación impartida. Es decir, incluimos la neurociencia molecular y celular aunque discutiremos en más detalle lo que estudia la neurociencia cognitiva y la neuropsicología, más cercanas a nuestro campo de actuación pedagógico. Por cognición entendemos todo lo referido al “contenido mental”, incluyendo las emociones. Finalmente, cuando nos referimos a la cognición o a la mente, no las entendemos como separadas del cerebro, del cual son función. Creemos que el cerebro y la mente tienen que ser explicados de modo conjunto.

Para proponer las preguntas y considerar los hechos usaremos un marco que combina medio ambiente, biología, cognición y el comportamiento en niveles de descripción<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> MORTON, J., y FRITH, U. (1995): «Causal modeling: A structural approach to developmental psychopathology», en D. Cicchetti y D. J. Cohen (eds.): **Manual of Developmental Psychopathology**, vol.

<b>EJEMPLOS DE FACTORES AMBIENTALES</b>	<b>EJEMPLO DE FACTORES INTRA-INDIVIDUALES</b>	<b>FACTORES AFECTADOS</b>
<b>OXIGENO</b> <b>NUTRICIÓN</b> <b>TOXINAS</b>	<b>SINAPTOGÉNESIS</b> <b>PODA SINÁPTICA</b> <b>CONEXIONES NEURONALES</b>	<b>CEREBRO</b> ↓
<b>ENSEÑANZA</b> <b>INSTITUCIONES CULTURALES</b> <b>FACTORES SOCIALES</b>	<b>APRENDIZAJE</b> <b>MEMORIA</b> <b>EMOCIÓN</b>	<b>MENTE</b> ↓
<b>RESTRICCIONES TEMPORALES</b> <b>POR EJEMPLO, HERRAMIENTAS DE ENSEÑANZA</b>	<b>REALIZACIONES</b> <b>ERRORES</b> <b>PERFECCIONAMIENTO</b>	<b>COMPORTAMIENTO</b>

En el diagrama usamos las flechas para indicar las conexiones causales. Como puede verse, las interacciones de factores externos con factores que son internos al individuo forman parte de la explicación causal global. Los hechos están situados en el nivel conductual y biológico, las teorías al nivel cognitivo. El diagrama puede usarse para pensar sobre las relaciones entre la biología y el comportamiento a través del nivel cognitivo inferido cuya razón de ser es servir de puente intermedio.

Es preciso tener presente el manejar el vocabulario de la neurociencia, aprendiendo sus ideas y principios claves. Creemos que la neuropsicología no

es algo que haya venido para atraer la atención de los educadores por un periodo y que después puede caer en el cajón del olvido, como ha ocurrido con ciertos modismos educativos. Es una disciplina aun incipiente que habrá de continuarse desarrollando en múltiples direcciones según progresen las bases de conocimiento neurocientífico y se sucedan e intensifiquen las experiencias pedagógicas inspiradas en este conocimiento.

La neuropedagogía deberá ser en teoría y práctica una actividad orientada por lo que conocemos del cerebro, estimulando la curiosidad de los pedagogos de modo a comprometerlos cada vez más con una educación eficiente y biológicamente significativa (equilibrada) en una sociedad culturalmente cambiante. Eso significa crear “nuevos” métodos, quizá más complejos y organizados, para capacitar a los profesionales de la enseñanza a enfrentarse con los nuevos retos derivados de la cultura y el mundo que nos rodea.

Nuestro propósito con esta investigación es presentar un modelo de formación a nivel académico para los futuros profesores y pedagogos, con todo lo que conlleva la preparación de los mismos para actuar eficientemente en la escuela. Por tanto, la neuropedagogía intenta construir un puente para el trasvase a la pedagogía de los crecientes conocimientos en la neurociencia del aprendizaje; su objetivo es presentar a los padres, al profesorado y al alumnado de forma reducida lo que sabemos acerca del cerebro, de la memoria, del aprendizaje y el movimiento. Esta base explicativa de los hechos de interés a nivel neuropedagógico sería valiosa a la hora de desarrollar planes y proyectos educativos. Por eso se hace urgente definir un modelo de estudio neuropedagógico, basado en el método científico.

La neuropedagogía ya dispone de numerosos conocimientos aplicables a la nueva conceptualización, elaboración y puesta en práctica de la actividad educativa, suficientes para comenzar a trabajar en esta dirección. Conviene aclarar que no pretendemos un análisis “reduccionista” de la pedagogía. Tanto la neurociencia como la pedagogía disponen de sus propios contenidos específicos. No se trata, por tanto, de que la pedagogía sea “explicada” a través de la neurociencia, se trata más bien de crear un puente entre las dos parcelas de conocimiento. Tratase sobre todo de explorar posibilidades en este sentido.

## ORÍGENES DE LA NEUROCIENCIA

“Los hombres deben saber que el cerebro es responsable exclusivo de las alegrías, placeres, risas y diversión, y la pena, aflicción, desaliento y las lamentaciones. Y gracias al cerebro, de manera especial, adquirimos sabiduría y conocimientos, y vemos, oímos y sabemos lo que es repugnante y lo que es bello, lo que es malo y lo que es bueno, lo que es dulce y lo que es insípido... Y gracias a este órgano nos volvemos locos y deliramos, y los miedos y terrores nos asaltan... Debemos soportar todo esto cuando el cerebro no está sano... Y en este sentido soy de la opinión de que esta víscera ejerce en el ser humano el mayor poder”.

Hipócrates, libro sobre las enfermedades sagradas, siglo IV a. C.

Desde hace mucho tiempo, los pensadores estudian el cerebro y, de modo general, intentan comprender en profundidad cómo nos movemos, percibimos, razonamos, aprendemos, sentimos, recordamos y olvidamos.

El estudio del cerebro es tan antiguo como el hombre y la propia ciencia. Científicos de distintas áreas intentan comprender el funcionamiento del mismo desde el punto de vista de su ciencia, sea biología, psicología, física, matemática, química, bioquímica, las ciencias biomédicas, etc. Hay que destacar que las recientes investigaciones de las dos últimas décadas han cambiado muchas concepciones sostenidas previamente acerca del cerebro y su funcionamiento, las cuales han sido derrumbadas por un seísmo cuyo epicentro se nutre de los avances casi cotidianos suscitados por nuevos e importantes hallazgos sobre el funcionamiento del cerebro.

Hoy sabemos que cada parte específica del cerebro desempeña un papel importante en la expresión de funciones tan diversas como el pensamiento abstracto, el aprendizaje, la memoria, el lenguaje o el movimiento.

El gran paso que ha dado la neurociencia ha sido el de percibir que el intento de comprender al cerebro, debe ser un trabajo interdisciplinario (multidisciplinar o transdisciplinar) combinando enfoques, de modo que se produzcan nuevas perspectivas más potentes en su capacidad explicativa y aplicada. Al pretender dar respuesta a interrogantes relativos a la percepción, la memoria, el aprendizaje o el lenguaje, no es viable para los neurocientíficos el aislarse de investigadores de otras ciencias, como pueden ser la Psicología,



la Pedagogía, la Filosofía, la Lingüística o la Ciencias Cognitivas y Sociales. Resultan de indudable interés los trabajos colaborativos y los debates generados entre estos campos en todos estos años. Hoy ya se tiene claro que lo más probable es que la solución que nos permita eventualmente entender el fenómeno mental, tal como hemos llegado a comprender el fenómeno igualmente inicialmente misterioso de la vida, deberá provenir de una amplia colaboración interdisciplinaria.

El sistema nervioso es decisivo para la vida, ya que nos permite vivir, sentir, movernos y pensar, con una rica variedad de experiencias mentales, tal como afirmaba ya Hipócrates en el siglo IV a.C (cita al principio de este capítulo). No fue siempre así, ya que durante gran parte de la Antigüedad y la Edad Media se pensó que la sede del alma o de las sensaciones era el corazón, siendo considerado el cerebro como una víscera donde se transformaban los humores. Hace más de diez mil años se hacía en Egipto la trepanación del cráneo, una perforación realizada aparentemente con el objetivo de curar al enfermo de ciertos humores supuestamente alterados o de su trasunto como espíritus malignos. Asimismo, al embalsamar a los cadáveres se desechaba el cerebro con una espátula a través de los orificios nasales y se conservaba todo el resto del cuerpo para que lo utilizara en la otra vida.

Sin embargo, alrededor del año 500 a.C. los discípulos de Pitágoras ya debatían la idea de que el cerebro podía ser el *locus* de la inteligencia. Filolaos de Tarento, un médico discípulo de Pitágoras, decía que había cuatro órganos vitales en el ser vivo racional, que eran el cerebro, el corazón, el ombligo y la inteligencia en el cerebro. Para Filolaos, el cerebro era la sede de la mente, el corazón lo era del alma y de las sensaciones, el ombligo del crecimiento del embrión y los órganos genitales eran la sede de la procreación.

Hipócrates (460-379 a. C.) el erudito griego más influyente de siglo IV a. C., que es considerado como el padre de la medicina occidental, dijo que el cerebro no sólo participaba en las sensaciones, sino que era la sede de la inteligencia. No obstante, poco después el filósofo griego Aristóteles (384-322 a. C.), afirmaba que el corazón era el centro del intelecto y que el cerebro no

era otra cosa que un órgano donde se enfría la sangre sobrecalentada por el corazón (los humores en ebullición). El temperamento racional de los seres humanos se explicaba así por la gran capacidad de refrigeración o control de los humores por parte de nuestro cerebro.

La teoría cardiocéntrica de la mente o alma tuvo sin duda una larga repercusión en el ideario antiguo. A pesar de todos los conocimientos de que disponemos hoy respecto al rol esencial del cerebro, todavía recurrimos a la misma cuando decimos que alguien tiene el corazón roto por un amor no correspondido. La doctrina cardiocéntrica imperó en Europa casi hasta comienzo del siglo XVII. Esta doctrina fue aceptada como dogma por muchos medios de la época e incluso por la Iglesia.

Desde la antigüedad hasta el Renacimiento, no se realizaron prácticamente estudios anatómicos sistemáticos en cadáveres humanos, con la posible excepción de la escuela anatómica de Alejandría; por ello, la especulación intelectual y no la investigación empírica era lo que determinaba lo que se tenía por cierto o falso.

Más aún, la teoría humoral del funcionamiento de los seres vivos tuvo gran predominio en la historia antigua, en el pensamiento de los filósofos y de los médicos de la antigüedad. Los conceptos de la medicina durante este largo periodo en que estas ideas fueron populares moldearon y determinaron ulteriormente la manera de tratar diversos trastornos y enfermedades. Un ejemplo claro era el uso generalizado de la sangría como remedio en los pacientes afligidos por una tristeza profunda y un pesimismo generalizado (melancolía, o humor oscuro/negro), que hoy conocemos como depresión. La sangría, al igual que la trepanación, tenía como fin último expurgar de la circulación sanguínea los “humores” malos y los demonios del cuerpo.

Galeno (130-200 a. C.), la figura más representativa de la medicina romana, formado en Alejandría, adoptó sin embargo la visión hipocrática del cerebro. Él era médico de los gladiadores, donde tuvo la oportunidad de presenciar las consecuencias de las lesiones espinales y cerebrales en los

mismos. Sin embargo, las convicciones de Galeno estuvieron influidas por sus numerosas disecciones en ovejas. Tocando con el dedo un cerebro recién disecado, observo que el cerebelo era mucho más duro que el cerebro, y así sugirió que el cerebro debería ser el receptor de las sensaciones y que el cerebelo debía dar órdenes a los músculos. Reconocía que para que se formara la memoria era necesario que las sensaciones fueran impresas en el cerebro, para lo cual éste tenía una consistencia blanda.

En realidad, el cerebro participa en las sensaciones, memorias y percepciones, mientras que el cerebelo es un centro que hace más precisos los movimientos. Según Fingers (1994), Galeno abrió el cerebro y comprobó que era una víscera hueca, cuyos espacios, denominados ventrículos, estaban ocupados por un líquido. Este descubrimiento pareció confirmar la teoría de que el cuerpo funciona de acuerdo con el equilibrio de los cuatro líquidos vitales (la flema, la sangre, la bilis negra y la bilis amarilla), conocidos como humores. Las sensaciones eran registradas y los movimientos se iniciaban por el flujo de los humores a través de los ventrículos cerebrales, y luego a través de los nervios, los cuales eran considerados conductos huecos, al igual que los vasos sanguíneos.

La teoría de Galeno prevaleció durante casi mil quinientos años. Durante el Renacimiento, Andreas Vesalius (1514-1564), junto con sus inmediatos predecesores y otros contemporáneos, añadieron otros detalles a la estructura conocida del cerebro. La localización ventricular de la función del cerebro no se modificó, al menos en sus aspectos esenciales. El concepto en su totalidad se reafirmó a principios del siglo XVII, cuando los franceses empezaron a desarrollar dispositivos mecánicos controlados hidráulicamente. Estos aparatos apoyaron el concepto de que el cerebro debía ser semejante a una máquina. Se supuso que el líquido ventricular era presionado para salir de los ventrículos a través de los nervios, “bombeando” líquido a los músculos del individuo y provocando así los movimientos de las extremidades.

René Descartes (1596-1650), matemático y filósofo, fué el principal defensor de la teoría hidromecánica de la función del cerebro. Él se interesó

por el comportamiento de los seres vivos y trató de encontrar una explicación física, mecanicista, al comportamiento animal, incluso del hombre. Aunque, consideraba que esta teoría mecánica de los líquidos explicaba las propiedades funcionales del cerebro y la conducta de los animales, manifestó (posiblemente para evitarse problemas con la jerarquía religiosa) que era inconcebible que esto sirviese para explicar la conducta humana. Los seres humanos poseerían un intelecto y un alma dados por Dios. Así, propuso que los mecanismos cerebrales humanos controlaban la conducta humana sólo en la medida en que ésta se parecía a la de los animales. Es decir, las capacidades singulares de la mente humana existen fuera del cerebro, en la “mente” inmaterial de origen divino. La mente sería una entidad espiritual que recibe del cerebro las sensaciones y ordena los movimientos al mismo mediante una comunicación con la maquinaria cerebral central por medio del llamado “conarium”, refiriéndose a la glándula pineal o epífisis, ya que este órgano era el único del cerebro que se asemejaba a una esfera, la estructura perfecta.

Pensaba Descartes con su dualismo que los seres humanos tenían por tanto una parte de máquina (materia) y una parte divina (mente o alma inmaterial), lo que implicaba dos consecuencias razonables. En primer lugar, si el alma se interpenetraba con la maquinaria del cuerpo, sin ser parte de éste (pues su esencia era divina), lo debía también abandonar intacta en el momento de la muerte, independientemente del deterioro de su materia. En segundo lugar, cuando el alma abandonaba el cuerpo, al producirse la muerte, éste quedaba reducido a su estado de máquina meramente material. Por lo tanto, este pensamiento condujo a la idea de que era admisible por las autoridades religiosas y morales de la época el que se emprendiesen estudios de las partes y funciones de la maquinaria del cuerpo, tratándolo como a cualquier máquina. Los médicos y anatomistas podrían realizar estudios y exploraciones del cuerpo, e incluso del cerebro y sus partes, a plena luz del día y en todos los aspectos. De este modo, fue gradualmente posible el practicar autopsias y estudios anatómicos en seres humanos, sin riesgo de posibles sanciones por las autoridades religiosas.

En el siglo XVII, la anatomía se convertirá en una disciplina médica altamente respetada, a pesar de lo cual los estudios neuroanatómicos o neurológicos seguían en sus primeros pasos.

A partir de ahí, los médicos reunidos en academias, universidades y foros especializados empezaron a describir casos clínicos de lesiones cerebrales o de tumores. Poco a poco se fue abriendo paso la idea de una posible localización de funciones en distintas partes del cerebro. El hecho de que algunas lesiones o enfermedades circunscritas del cerebro parecían implicar síntomas específicos, llevaron a algunos a lo largo del siglo XVIII a la conclusión de que las áreas dañadas eran las que de algún modo controlaban los comportamientos afectados. Así, Broca identificó en el siglo XIX con seguridad la primera región cerebral con una función específica, el *área del lenguaje* de la corteza frontal opercular izquierda.

Durante el siglo XIX, se registraron asimismo importantes avances en las técnicas de estudio del cerebro, basadas en el descubrimiento de la posibilidad de fijar la estructura cerebral (detener químicamente la degradación postmortem) y someter el tejido fijado a tinciones generales que permitieron distinguir por un lado elementos corpusculares posteriormente identificados como células (neuronas y glía) y por otro lado elementos fibrilares o fibras nerviosas. Ulteriormente se llegó a la conclusión de que las fibras nerviosas eran largas prolongaciones de las neuronas. Surgió también el hallazgo paralelo de que se podía estimular eléctricamente el tejido cerebral, con la consiguiente producción de movimientos del animal, con lo cual se comprendió que las neuronas del cerebro probablemente se comunicaban entre ellas y con los músculos y la piel a través de sus prolongaciones fibrilares o axones, por medio de los cuales transmiten estímulos de naturaleza análoga a señales eléctricas (el impulso nervioso). La teoría celular de la composición de los tejidos animales y vegetales tuvo su auge y determinó la forma de abordar el cerebro. Se perfeccionaron los iniciales microscopios, se inventó el micrótopo (aparato para hacer cortes muy delgados susceptibles de tinción para la observación microscópica) y se comenzó así a investigar la textura neuronal del sistema nervioso central y periférico. Aparecieron los primeros intentos experimentales

de comprobar las conexiones de los nervios y otras vías nerviosas, mediante el arrancamiento de las raíces nerviosas y la introducción de lesiones, desarrollándose métodos histológicos que permitían visualizar las fibras o células que resultaban degeneradas tras estas lesiones. Gran parte de esta fase en la investigación celular del cerebro se realizó en los hospitales psiquiátricos, donde se estudiaban con ahínco tanto los cerebros normales como los supuestamente patológicos de los pacientes allí internados.

A comienzos del siglo XX, Ramón y Cajal sintetizó en su obra gigantesca los hallazgos sobre estructura neuronal del conjunto del cerebro de los vertebrados, incluyendo al hombre, rechazando la teoría reticularista defendida por diversos autores, y afianzando la teoría neuronal y del contacto nervioso sin continuidad. Aun continuaron produciéndose muchos trabajos descriptivos de la citoarquitectura (estructura celular) y mieloarquitectura (estructura fibrilar) de los cerebros, pero fueron apareciendo también estudios de tipo fisiológico, con el desarrollo de la tecnología necesaria para registrar y amplificar las débiles señales neuronales. Sherrington postuló el concepto de sinapsis, o punto de contacto funcional entre fibras y neuronas, y algunos años después surgió el concepto de quimiotransmisión sináptica, esto es, el fenómeno de la traducción de la señal eléctrica neural en una señal química a nivel de las sinapsis. Ello llevó a un gran desarrollo del estudio químico y farmacológico de los sistemas neurales, dando pie a la quimioarquitectura.

En la época de postguerra se hicieron grandes avances en los estudios de la conectividad más o menos específica entre distintos conjuntos de neuronas, utilizando primero las técnicas de tinción de los axones lesionados y degenerados anterógrada o retrógradamente, sustituidas luego por otros métodos más específicos, como los de transporte axonal, el marcaje autoradiográfico y mediante marcadores fluorescentes. Todo ello renovó sensiblemente las ideas sobre los sistemas funcionales presentes en el cerebro, identificándose las vías sensoriales y motoras, los circuitos centrales de tipo asociativo, los circuitos reflejos, la conectividad local de las interneuronas con las neuronas de proyección y un sin fin de otros detalles, incluyendo circuitos relacionados con el control visceral y de las emociones

(sistema límbico), la precisión de los movimientos, mecanismos neurohumorales de tipo hormonal neurosecretor, circuitos relacionados con la evaluación de la experiencia (premios y castigos), la memoria, la programación de la conducta, el hambre y la sed, la violencia, la actividad de género (sexo, maternidad, paternidad), el miedo, el estrés y la ansiedad, el lenguaje y otras aptitudes intelectuales, la moral y la ética, el fenómeno de la conciencia, etc.

En los últimos 20 años hemos asistido al auge de la biología molecular y los estudios genéticos, con la secuenciación completa del genoma humano y de ciertos animales, así como de diversos otros organismos vivos. Ello ha repercutido igualmente sobre la neurociencia, comenzando una revolución molecular de sus aproximaciones que aun está dando sus primeros resultados. Es de esperar de la incipiente *genoarquitectura neural* otro escalón de avance en la comprensión de la biología cerebral a diferentes niveles de análisis.

Todo ello, lógicamente, ha tenido amplias repercusiones en la actividad médica, que se pudo beneficiar a todo lo largo de los sucesivos avances en neurociencia, de una manera análoga a como la pedagogía podría igualmente beneficiarse, al tomar crecientemente cuerpo en años recientes, gracias a los adelantos técnicos ya comentados, los resultados más abstrusos de la investigación neural, relacionados con las funciones mentales superiores. En gran parte, éstas se relacionan con el objeto principal de la actividad pedagógica, definible según el profesor L. Puellas como “...*el apoyo técnico optimizado por parte de la sociedad al desarrollo placentero de las aptitudes físicas y mentales de nuestros niños, jóvenes y mayores, favoreciendo su engarce satisfactorio en el tejido social*”.

## LA NEUROCIENCIA

Para comprender el cerebro, los neurocientíficos no sólo investigan cómo se hallan construidas las distintas subdivisiones del mismo, sino también deberán descubrir su finalidad funcional, identificando en detalle cómo funcionan tanto las neuronas individuales como las estructuras formadas por grupos pequeños o grandes (o gigantescos) de neuronas. No es posible formular una teoría adecuada de cualquier actividad compleja del cerebro, si no se dispone también de una teoría adecuada acerca de la actividad individual de los componentes más simples. Sin embargo, es preciso recordar que a cada salto de magnitud en los fenómenos neurales se puede producir la emergencia de propiedades funcionales nuevas, que no existen en los niveles inferiores. Pero, antes de alcanzar ese nivel de discusión será necesario investigar/descubrir de qué manera una neurona determinada genera sus señales y las transmite a la célula siguiente.

En este capítulo intentaremos hacer un breve recorrido sobre la neurociencia. No pretendemos realizar una aproximación completa al estudio del sistema nervioso o a todo su desarrollo histórico. Sin embargo, trataremos de realizar un resumen de los aspectos principales que tenemos que considerar a lo largo de esta introducción a la neurociencia, destacando los avances de los últimos años.

La neurociencia tiene cierto carácter transdisciplinario, proporcionando así a los pedagogos los principios básicos del funcionamiento del cerebro que hacen posible la percepción sensorial, la actividad motora y la cognición. Los científicos consideran que la última frontera del conocimiento humano está en su propio cerebro, es decir, la máxima de la filosofía presocrática “conócete a ti mismo” tiene un papel fundamental cuando intentamos responder a las cuestiones planteadas de cómo funciona nuestro sistema nervioso.



Según Delgado et al. (1998)<sup>2</sup>

*“...el cerebro es, en realidad, un conjunto de neuronas separadas del mundo exterior, cuya actividad funcional no sólo construye una percepción integral y privada del entorno, sino la elaboración de complejas respuestas motoras (comportamiento) y la elaboración interna de estrategias y patrones de conducta no directamente contingentes con lo que ocurre en cada momento (pensamiento).”*

El mismo autor señala que ya durante nuestros estudios en la escuela aprendemos que el elemento celular básico del sistema nervioso es la neurona, y que en el cerebro humano hay una cantidad del orden de  $10^{12}$  de neuronas. Esto es, si comparamos una neurona con un grano de arena, necesitaríamos para transportar este contenido un tren con 50 vagones aproximadamente. A diferencia de los granos de arena, las neuronas se caracterizan, además, por ser distintas entre sí, no sólo por su morfología sino también por sus diferentes capacidades funcionales.

Según Kandel et al<sup>3</sup> (1997) *“el propósito principal de la neurociencia es entender cómo el encéfalo produce la marcada individualidad de acción humana”*. Es decir, los neurocientíficos intentan comprender lo que ocurre en la distancia conceptual que media entre las moléculas responsables de la fina actividad de las células nerviosas y la complejidad aun en gran medida incomprensible de los procesos mentales destacados en los estudios neurobiológicos de la conducta. Así, la neurociencia echa mano de diversas disciplinas y estudios cognitivos, que han hecho posible la exploración biológica del potencial del cerebro humano, para que se pueda comprender qué nos hace ser lo que somos.

La Neurociencia es una disciplina que estudia el desarrollo, estructura, función, farmacología y patología del sistema nervioso, según Mora (1994)<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> DELGADO, J. M. FERRÚS, A. MORA, F. & RUBIA, F. J. *Manual de Neurociencia*. Madrid, Síntesis, 1998. Pág. 38-41.

<sup>3</sup> KANDEL, E. JESSEL, T.M. SCHWARTZ, J.H. *Neurociencia y Conducta*. Madrid, Prentice Hall, 1997. Pág. 5-6.

<sup>4</sup>MORA, F. *Diccionario de Neurociencia*. Madrid, Alianza Editorial, 1994. Pág. 190.

Kendall et al (1997)<sup>5</sup> se limitó a considerar que la Neurociencia es la ciencia del encéfalo. Lo que acostumbramos a llamar *mente* consiste en una compleja red de funciones realizadas simultáneamente (parcialmente independientemente) por el encéfalo y tal acción multitarea subyace a toda conducta, desde lo más sencillo, como andar y comer, hasta los actos cognitivos complejos, como pensar, hablar y crear obras de arte. Así, podemos decir que los trastornos del comportamiento que caracterizan a las enfermedades mentales son alteraciones de la función cerebral, a veces sin que aparezcan daños orgánicos.

Para Bhatnagar & Andy (1997),

*“La neurociencia constituye el estudio de las estructuras anatómicas y los procesos fisiológicos del sistema nervioso. Por la neurociencia se consigue conocer las bases de la anatomía y la fisiología normal del cerebro, con lo que es posible identificar dónde asientan las anomalías estructurales y funcionales. ... La neurociencia es indispensable para comprender las correlaciones fisiológicas del habla, el lenguaje, los gestos y la cognición.”*<sup>6</sup>

Según Bears, Connors & Paradiso (1998)<sup>7</sup> *no importa que tu profesor sea un bioquímico, un neurobiólogo, un psicólogo, un neurocirujano, un biólogo, (y ¿por qué no un pedagogo o un educador?) Etc. Todos son neurocientíficos, desde el momento en que todos estos profesionales tienen como objeto común de estudio el cerebro.* La Neurociencia es un campo amplio de estudio y si queremos entendernos a nosotros mismos, tendremos que entender cómo se comportan e interactúan entre sí las distintas estructuras del sistema nervioso, que es el órgano encargado de las funciones superiores del hombre.

Cuanta más correcta, coherente y detallada sea la información obtenida por los pedagogos acerca del funcionamiento y la plasticidad del cerebro (capacidad de cambiar estructuralmente con el tiempo), más les servirá para conocer mejor el comportamiento general de los niños y de nosotros mismos

---

<sup>5</sup> Idem pág. 5

<sup>6</sup> BHATNAGAR, Subhash C. & ANDY, Orlando J. *Neurociencia para el estudio de las alteraciones de la comunicación.* Barcelona, Masson, 1997. Pág. 01.

<sup>7</sup> BEAR, Mark, F. CONNORS, Barry. W. & PARADISO, Michael, A. *Neurociencia: Explorando el cerebro.* Barcelona, Masson-Willian & Wilkins, 1998. Pág. 03

durante los procesos de aprendizaje. El cerebro es demasiado importante para quedarse sólo como una parcela exclusiva de los neurocientíficos.

Como podremos ver, los estudios en neurociencia también están relacionados con las alteraciones del habla y del lenguaje, ya que abordan la representación cortical de las aptitudes lingüística, musical, cognitiva, ideativa, gestual y mnésica, que son en gran medida exclusivas del cerebro humano, o en todo caso mucho más desarrolladas en éste que en los cerebros animales.

Según Gardner (1987)<sup>8</sup>, *“Quienes trabajan en las neurociencias se diferencian de sus pares de otras ciencias cognitivas por adherirse más estrictamente al modelo de las ciencias “exitosas”, la física y la biología, y porque pueden enunciar de manera más inequívoca sus interrogantes y verificar si se avanza o no en vía a su solución.”* La Neurociencia presenta un rico contenido cambiante y dinámico, pero todavía evoluciona con relativa lentitud en relación a las propiedades mentales más complejas. Sin embargo, los neurocientíficos desarrollan continuamente nuevas técnicas para explorar desde un punto de vista estructural y funcional el sustrato físico de la mente, permitiendo estudiar y manipular asimismo la capacidad inherente que tiene el sistema nervioso para responder adaptativamente a una lesión, un traumatismo, una disfunción vascular, etc.

Hoy, el uso de animales manipulados genéticamente como modelos experimentales está proporcionando una aproximación molecular novedosa a la cognición, estudiando cómo al alterar un gen concreto se puede ver afectada la conducta: el aprendizaje, la percepción, la memoria o la atención.

Los avances en neuroimagen permiten estudiar directamente, en sujetos humanos vivos, la representación interna de los procesos mentales. Así las funciones mentales superiores ya no tienen que deducirse a partir de observaciones comportamentales, o subjetivas, ya que ya puede intentarse en humanos el estudio de la cognición de manera no invasiva.

---

<sup>8</sup>GARDNER, Howard. *La nueva ciencia de la mente*: Historia de la revolución cognitiva. Barcelona, Paidós, 1987. Pág. 311.

Tenemos ya datos suficientes procedentes de los estudios de Neurociencia para recomendar a los centros de formación, a los estudiantes y a los profesionales del área educativa, un mayor énfasis en su formación acerca de la organización funcional del cerebro, sus tendencias primarias en los diferentes momentos de la infancia y adolescencia, y algunas de las alteraciones o contradicciones funcionales que comprometen el desarrollo personal, la comunicación y el engarce del joven con las unidades familiar, escolar y social. Esto ayudará a comprender la génesis de los problemas de aprendizaje, y la naturaleza y el ámbito de repercusión de su psicopatología cotidiana. Ayudará igualmente a comprender ciertas anomalías cerebrales de tipo congénito y ciertas enfermedades neurológicas de base genética, valorando la eficacia o las limitaciones de las acciones o tratamientos aplicables. En definitiva este tipo de formación ayudará a incorporar estos conocimientos de forma regular en la práctica educativa.

La neurociencia es una área del conocimiento que estudia el desarrollo, estructura, función, farmacología y patología del sistema nervioso, y que viene contribuyendo significativamente a través de sus avances para un nuevo planteamiento teórico-práctico de los procesos educativos, de modo que favorezca una mejor intelección del desarrollo cerebral humano, en general, e infantil, en particular.

El progreso logrado por la neurociencia hasta el momento en la definición de los principales sistemas funcionales del encéfalo (p.ej., los sistemas homeostático, de alerta, sensoriales, motores, de valoración de la experiencia, motivación, atención y memoria) se ha beneficiado del poder analítico de los estudios de la neurobiología celular para analizar los problemas planteados por la psicología cognitiva. Estos avances se basan en el supuesto de que las funciones mentales emergen de las propiedades biológicas de las células nerviosas y sus complejas interconexiones.

Es habitual el clasificar los principales campos de la neurociencia cognitiva como sigue: percepción, acción, emoción, lenguaje, aprendizaje y memoria (Kandel et al. 1997)<sup>9</sup>

Los estudios de los componentes celulares del procesamiento de información en la vía visual han demostrado que el encéfalo no se limita a recibir impresiones del mundo externo, sino que más bien construye imágenes visuales, basándose en una integración altamente selectiva de los inputs que aportan las distintas vías aferentes paralelas con la experiencia acumulada durante toda la vida.

Diferentes modos de interacción con el mundo (un objeto que se ve, una cara que se toca o una melodía que se escucha) son procesados en paralelo por diferentes sistemas sensoriales. Los receptores de cada sistema analizan y descomponen espacial y temporalmente la información proveniente del estímulo. Cada sistema sensorial abstrae su tipo de información particular, la somete a diversos algoritmos de análisis y ajustes reflejos de sensibilidad, y la representa secuencialmente en vías y regiones específicas del encéfalo, donde se interrelacionan con señales endógenas que representan la experiencia previa, en forma de expectativas con mayor o menor grado de probabilidad. Como resultado, se “construye” la percepción más consistente con el conjunto de señales procesadas, con carácter de entidad psíquica emergente. Así, la apariencia final (subjetiva) que tienen nuestras percepciones de ser imágenes directas y precisas del mundo, son estrictamente una ilusión.

Las células nerviosas, están conectadas entre sí de modo preciso y ordenado. Las conexiones en cada encéfalo son en general muy precisas, y, sin embargo, dada su variabilidad, no son exactamente las mismas en todos los individuos. Las conexiones entre las células pueden ser alteradas por la actividad, el esfuerzo y el aprendizaje. Los recuerdos son debidos en esencia a que la estructura y la función de las conexiones entre millones de células nerviosas llegan a modificarse sutilmente con la experiencia, de tal modo que la

---

<sup>9</sup> Op. Cit. pág. 344.

estimulación de una parte de la red funcional en cuestión tiende a reactivar un conjunto de células suficientemente similar como para que sea reconocido como un “recuerdo”. Por supuesto, éste también es un “constructo” emergente, más o menos bien informado y detallado, de nuestras redes neuronales.

Para comprender como las personas piensan, se comportan, sienten, actúan, y se relacionan unas con otras, es también esencial entender cómo los fenómenos de las células individuales llevan a la cognición. Para esto, tienen que combinarse los métodos de la biología celular con técnicas que relacionen la actividad de poblaciones interconectadas de neuronas con la conducta. Esta combinación de métodos (biología celular, neurociencia de sistemas, neuroimagen cerebral, psicología cognitiva, neurología comportamental y ciencia computarizada) ha dado lugar a una aproximación conjunta, denominada neurociencia cognitiva, proyectada para entender los mecanismos neurales que originan la conducta.

El principal objetivo de la neurociencia cognitiva es el estudio de las representaciones internas de los fenómenos mentales. La meta de los esfuerzos combinados de la psicología cognitiva, la neurobiología de sistemas y la neuroimagen es trazar el mapa de los elementos de la función cognitiva dentro de sistemas neuronales específicos.

Según Kandel et al (1997)<sup>10</sup>, la neurociencia cognitiva se basa en cinco avances conceptuales y técnicos fundamentales. El primero, ocurrió en los años sesenta y los setenta cuando se desarrollaron técnicas para examinar la actividad de las células individuales en encéfalos ilesos y activos de primates, haciéndose así posible el estudio de los procesos perceptivos y motores en el ámbito celular mientras los animales realizaban conductas típicas.

El segundo, basado en los estudios celulares, llevaron al descubrimiento de que incluso procesos cognitivos complejos, tales como los procesos de atención y toma de decisiones, están correlacionados con el patrón de disparo

---

<sup>10</sup> KANDEL, Eric. R. JESSEL, T.M. & SCHWARTZ, J. H. *Neurociencia y Conducta*. Madrid, Prentice Hall, 1997. Pág. 348

de células individuales en regiones específicas del encéfalo.

El tercero, procedente de los avances de la neurobiología de sistemas y de la psicología cognitiva, estimuló un renovado interés por la neurología comportamental. Estos estudios indican que en cualquier sistema cognitivo existen muchos módulos de procesamiento independiente de la información. El sistema visual, por ejemplo, tiene vías especializadas para procesar información sobre color, formas y movimiento.

El cuarto, debido al desarrollo de las técnicas de neuroimagen — tomografía por emisión de positrones (TEP), la resonancia magnética nuclear (RM), la magnetoencefalografía, y las tensiones sensibles al voltaje — ha posibilitado relacionar los cambios de actividad de poblaciones neuronales con procesos mentales específicos en el cerebro humano in vivo.

El quinto, la ciencia de los ordenadores, ha aportado dos contribuciones importantes a la neurociencia cognitiva. La primera es que los ordenadores han hecho posible simular la actividad de amplias poblaciones de neuronas y emprender el examen de tesis específicas sobre las funciones cerebrales complejas. La computación es útil para superar el problema, ya que nos permite hacer modelos de amplias redes neuronales. La segunda consiste en que los procesos cognitivos en cierto modo son análogos a los programas de ordenador, puesto que ambos se ocupan del procesamiento, transformación, almacenamiento y recuperación de la información. Así la ciencia de los ordenadores proporciona un lenguaje que, potencialmente, es útil para analizar los fenómenos cognitivos.

La aplicación de la neurociencia al estudio de la percepción táctil, nos permite considerar que la sensación del tacto implica tres modelos particularmente sencillos de representación interna. Primero, estudiamos la representación del *espacio personal* bajo la forma de un mapa cortical de la sensibilidad táctil de la superficie del cuerpo, y cómo las modificaciones de este mapa neural que siguen a la pérdida de una parte del cuerpo pueden explicar el síndrome del miembro fantasma (percepción subjetiva de un miembro que no

existe; evidentemente un constructo perceptivo mental anómalo). Segundo, estudiamos cómo la representación del espacio personal se elabora partiendo de una representación más compleja del *espacio peripersonal*, el cual incluye a los objetos que están próximos, o del *espacio extrapersonal*, que incluye a los objetos fuera del alcance del brazo.

En un mundo en constantes cambios y cada vez más exigente con la formación profesional, la unión de la neurociencia y la pedagogía (Neuropedagogía) proporcionará un amplio campo de aplicación teórico-práctico sobre el desarrollo mental, favorecido por nuevas *técnicas no invasivas*<sup>11</sup> que permiten estudiar una función nerviosa en tiempo real, **in vivo**, de forma no traumática, indolora y precisa. Gracias a estos potentes **scanners** que permiten tratar grandes volúmenes de información, mostrando imágenes estáticas y dinámicas del sistema nervioso central con una definición apreciable (aunque aun insuficiente para alcanzar el nivel celular), abriendo así, una gran oportunidad de estudio de la mente. Ello hace que un neurólogo se transforme en un “geógrafo” del cerebro, que puede determinar con precisión objetiva y topográfica las lesiones, como también hacer una exploración funcional del sistema nervioso central, y que puede proporcionar datos muy valiosos para definir un diagnóstico y evaluar los efectos de un tratamiento.

¿Cuáles serían las implicaciones prácticas de estos avances para los pedagogos<sup>12</sup>? La posibilidad de que las informaciones que ya pueden proporcionar estos Scanners y un conocimiento riguroso sobre el desarrollo biológico de las funciones mentales, permitan a los profesores actuar de forma que puedan planear actividades que estimulen las áreas del cerebro que necesitan “ayuda” directa del adulto.

---

<sup>11</sup> Técnica No Invasiva: técnica que posibilita estudiar un cerebro vivo, sin la necesidad de abrir la caja craneal. Ejemplos: Tomodensitometría o Tomografía de Absorción, que permite hacer distinción entre la sustancia blanca (compuesta en gran parte por la vaina de mielina que esta alrededor de las fibras nerviosas) y la sustancia gris (compuesta por el conjunto de cuerpos celulares) y reconocer las diferentes estructuras que anteriormente sólo se podían observar mediante una autopsia. Tomografía Computadorizada por Emisión de Fotones Únicos, Tomografía por Emisión de Positrones y finalmente la Resonancia Nuclear Magnética.

<sup>12</sup> Para efecto de este trabajo consideramos pedagogos todos los que participan directamente de la acción escolar, como los maestros de clase, profesores de Educación Física, Música, Artes/Educación Artística, etc.



Los estudios de la neurociencia sirven de referente para cuestionarnos cada vez más una pedagogía tradicional, que se centra en el profesor como actor principal del proceso educativo, llevando al mismo a coadyuvar con los padres en la educación de los niños. De aquí en adelante nosotros apuntamos una reorientación de la formación de los pedagogos en términos de conocimiento actualizado acerca del desarrollo biológico del cerebro, y sus propiedades relativas al aprendizaje, sin recurrir a los falsos *rótulos psicologizantes*.

El objetivo prioritario que nos proponemos con la realización de esta investigación es saber cómo la neurociencia puede contribuir al trabajo de los pedagogos. Pretendemos conocer cuáles de las implicaciones funcionales de tales estudios son válidas a la hora de llevar a cabo una práctica pedagógica más predictiva en la etapa del desarrollo de la educación infantil, comprendida aproximadamente entre los 10/12 primeros años de edad. Del mismo modo, incorporaríamos a este objetivo general los determinantes históricos y culturales que modulan e influyen en el pensamiento pedagógico.

Con el proceso de investigación que proponemos, pretendemos aprehender cuál ha sido el proceso histórico desarrollado en la construcción y los presupuestos claves en torno a los cuales se vienen articulando las investigaciones de la neurociencia. Para esto analizaremos los aspectos y categorías fundamentales del conocimiento, tratando de clarificar la falsa neutralidad de las mismas, con el objeto de no caer en el error de conocer por conocer, sino contribuir al desenvolvimiento de una práctica docente rigurosamente más actualizada.

En este sentido, pretendemos estructurar una ruta de estudios de las contribuciones de la neurociencia en relación con los planeamientos de las actividades destinadas a los niños. Los pedagogos (y los padres también) precisan una buena perspectiva en términos de conocimientos del desarrollo neurofisiológico del cerebro infantil.

A través de una amplia y exhaustiva revisión bibliográfica sobre los avances recientes experimentados en los estudios del sistema nervioso central, en neurociencia, y de los programas de aquellas disciplinas que guardan relación con el desarrollo biológico del cerebro. Esta revisión, nos permitirá analizar el proceso mediante el cual se obtiene y adquiere el conocimiento, la memoria, el lenguaje, etc.

En última instancia, perseguimos, en un futuro cercano, diseñar un programa/disciplina de estudio, el cual podría ser llamado **Neuropedagogía**, o neurociencia para pedagogos, que en un primer momento mostraría cuándo, por qué y cómo deberían comportarse los diferentes actores en los procesos educativos de los niños en relación a las diversas manifestaciones del desarrollo cerebral.

La complejidad estructural y funcional del sistema nervioso hace necesario un planteamiento multidisciplinario de la investigación en Neurociencia. Por ello las nuevas tendencias sobre el estudio y la enseñanza de esta disciplina están obligadas a reunir a profesionales de muchas áreas diferentes de las ciencias biomédicas y tecnológicas.

Delgado & Ferrús (1997)<sup>13</sup>, fueron los pioneros, en España, en intentar formar y crear un grupo de investigadores con una nueva visión multidisciplinar en neurociencia. Ellos desarrollaron un programa de *Maestría en Neurociencia* en la Universidad Internacional de Andalucía - UIA, en la Sede de Santa María de La Rábida que tenía sus objetivos resumidos en dos puntos principales:

*“Convocar a profesionales y postgraduados a una reflexión en profundidad sobre los problemas científicos más relevantes, sobre sus enfoques actuales y sobre las posibilidades futuras en investigación.  
Crear en los alumnos una visión participativa y multidisciplinaria del estudio del sistema nervioso.”*

---

<sup>13</sup> Tríptico de la III Maestría en Neurociencia de la Universidad Internacional de Andalucía, sede de Santa María de La Rábida, febrero-mayo de 1998.

Y sigue:

*“La complejidad estructural y funcional del sistema nervioso hace necesario un planteamiento multidisciplinario de la investigación en Neurociencia. Por ello las nuevas tendencias sobre el estudio y la enseñanza de esta disciplina están obligadas a reunir a profesionales de muchas áreas diferentes de las ciencias biomédicas y tecnológicas”.* (Delgado & Ferrús, 1997)<sup>14</sup>

En los EEUU, los neurocientíficos, psicólogos cognitivos, investigadores educacionales y practicantes y legisladores están aunando esfuerzos para explorar las relevantes posibilidades para las escuelas de los recientes hallazgos en neurociencia<sup>15</sup>

Todos los días los neurocientíficos aprenden más acerca de cómo se forma y desarrolla un cerebro infantil. Todos los días los profesores luchan para encontrar herramientas efectivas para ayudar a los niños a desarrollar con mayor capacidad y eficiencia práctica sus cerebros. En este sentido, educadores y neurocientíficos enfocan desde diferentes perspectivas el mismo tema. Parece lógico que la ciencia del cerebro pueda ofrecer algunas pistas para guiar a los educadores y que los educadores puedan hacer preguntas a éstos, para ampliar los conocimientos en las diferentes áreas científicas de investigación.

Extrañamente, son prácticamente inexistentes los foros de discusión o comentario conjunto entre estos dos grupos de profesionales en España, donde la Neurociencia tiene un desarrollo muy significativo y existe un gran número de investigadores de prestigio internacional. Pero, ya hay una preocupación entre conocidos neurocientíficos (Mora, Delgado, Martínez, Puelles) y educadores (Romeu), en España. Sus preocupaciones no giran en torno a qué conocimientos de la investigación de la neurociencia pueden ayudar a los educadores, ya que el propio diálogo hace surgir los temas donde

---

<sup>14</sup> Idem

<sup>15</sup> Ver los siguientes artículos *Bridging the Gap Between Neuroscience and Education*. Denver, Education Commission of the States-ECS, 1996. **Brain Research has implication for education**. Denver, Education Commission of the States, 1997. **White House Conference on Early Childhood Development and Learning: What new research on the Brain us About Our Youngest children**. Disponible en la página [www. whitehouse.gov/WH/New/ECDC](http://www.whitehouse.gov/WH/New/ECDC).

la interacción es fructífera, sino en la construcción de enlaces o cauces discursivos que cubran los huecos existentes entre ambos campos de conocimiento.

La neurociencia viene proporcionando una fascinante visión acerca del desarrollo y funciones del cerebro. Los neurocientíficos, Bruer (2000), Kandel (1997)<sup>16</sup>, Delgado et al. (1998)<sup>17</sup>, LeDoux (1998)<sup>18</sup> Damasio (1996, 2000)<sup>19</sup> acreditan ahora que las estructuras que controlan la percepción, la acción y la cognición se desarrollan al mismo tiempo y no secuencialmente, como se creía antes. Los bebés nacen virtualmente con una población de células nerviosas preestablecida, cuyas complejas interconexiones son generadas durante los cinco o seis primeros años de vida. El número de células nerviosas sufre un continuo y gradual refinamiento, en general a la baja, “podando” las exageradas capacidades iniciales para adquirir y afianzar sistemas conectivos perfectamente acordes con el entorno real percibido. Estas redes neurales que ya han incorporado la impronta del mundo circundante son las que proseguirán incorporando nuevos conocimientos y guiando nuestra conducta con su capacidad predictiva durante toda la vida.

Antes del nacimiento, el cerebro infantil está ya constantemente buscando sentido para las sensaciones que tiene, incluyendo el uso del lenguaje y la música (el canto) por parte de la madre. Por ejemplo, los bebés pueden distinguir en todas partes un lenguaje de otro. Pero aproximadamente a los seis meses, los bebés empiezan a desarrollar “imanes” que atraen hacia ellos los sonidos que formarán parte de su propio lenguaje. Ellos pierden así pronto su capacidad inicial para discernir las sutiles diferencias de los sonidos en los idiomas extranjeros. Estos “mapas de percepciones” se desarrollan en la infancia, pueden explicar la distinción nacional y regional de acentos al hablar, y la dificultad apreciada al pretender aprender y distinguir sonidos afines en

---

<sup>16</sup> Op. Cit.

<sup>17</sup> Op. Cit.

<sup>18</sup> LE DOUX, Joseph. *El cerebro Emocional*. Barcelona, Ariel/Planeta, 1996.

<sup>19</sup> DAMÁSIO, António E. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo, Companhia das Letras, 1996.

otros idiomas cuando ya somos mayores.

El cerebro tiene múltiples sistemas de memoria que procesan y actúan de diferentes modos sobre la información. Por ejemplo, la memoria a corto plazo se forma en una parte del cerebro, aunque puede ser transferida, almacenada y usada para recuperar datos destinados a otra memoria a largo plazo. Diferentes sistemas de memoria contribuyen de forma diferente en el campo físico, intelectual y de las valoraciones emocionales.

Los bebés sufren de modo profundo en su desarrollo los efectos sensoriales y emocionales del entorno.

## NEUROCIENCIA, MULTIDISCIPLINARIEDAD, INTERDISCIPLINARIEDAD E INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO

*Un verdadero viaje de descubrimiento no es el encontrar nuevas tierras, sino el desarrollar una mirada nueva.  
Marcel Proust*

El estudio del cerebro y sus bases biológicas es uno de los grandes esfuerzos científicos de todos los tiempos. Representa la clave para entender de forma definitiva la naturaleza humana.

Las ciencias se ocupan del hombre, pero él no es sólo un ser físico o cultural, más bien es un ser biológico, y las ciencias humanas, en cierto modo, deben tener sus raíces en las ciencias biológicas, que a su vez deben tener raíces en las ciencias fisicoquímicas. Ninguna de estas ciencias es completamente reducible una a la otra, debido a los fenómenos de emergencia al incrementarse el grado de complejidad. Puede decirse que la mente, como función, representa el fenómeno emergente de mayor rango de complejidad a nivel de cada individuo, permitiendo la emergencia de lo que llamamos la *autoconciencia*. Sin embargo, existen también interacciones colaborativas entre diferentes mentes, los fenómenos sociales de diverso grado, incluyendo entre otros aspectos el lenguaje, que son lógicamente aun más complejos que los procesos de un solo cerebro. El avance con el tiempo del predictivo conocimiento científico es un fenómeno social que permite a nuestra consciencia – al menos en algunos casos máximamente instruidos - a apercibirse de qué es nuestra chispa de autoconsciencia en el contexto del universo conocido. Ninguna de las entidades de menor rango de complejidad, bajando hasta el nivel subatómico, se apercibe de su posición aparente en el universo, o tiene sólo una idea en extremo ruda y local de éste. Parece ser que la proeza realizada por la ciencia implicaría facilitarnos la posibilidad de generar un modelo interno suficientemente complejo y articulado del universo como para poder representar en él la propia posición.

Según Morin (2000)<sup>20</sup>, “La disciplina es una categoría organizadora dentro del conocimiento científico; instituye la división y la especialización del trabajo y responde a la diversidad de las áreas que las ciencias abarcan. Una disciplina tiende naturalmente a la autonomía en la delimitación de sus fronteras, del lenguaje que en ella se constituyó, de las técnicas que tiende a elaborar y utilizar y, eventualmente, de las teorías que le son propias.”

Ya Nissani (1995)<sup>21</sup>, dice que una disciplina es “algo comparativamente auto contenido y aislado del dominio de la experiencia humana, que posee su propia comunidad de especialistas y con componentes distintos, tales como metas, conceptos, habilidades, hechos, habilidades implícitas y metodologías”

Toda disciplina es hija de la sociedad, o sea, la disciplina no solamente nace de un conocimiento y de una reflexión interna sobre sí misma, sino también de un conocimiento externo. Por eso, no basta a una disciplina conocer todos los problemas que le afectan.

La institución disciplinar acarrea, al mismo tiempo, un peligro de super-especialización del investigador y un riesgo de “cosificación” del objeto estudiado, el cual corre el riesgo de olvidar qué es lo más destacado o construido. Crear una frontera disciplinar, con su lenguaje y sus conceptos propios frente a las demás, hará que exista un cierto aislamiento con relación a otras disciplinas, pero manteniendo problemas que se superponen a los de las demás.<sup>22</sup>

Sin embargo, la exquisita complejidad del sistema nervioso y las diversas barreras metodológicas que existen en este campo para el estudio objetivo de su estructura y función, requieren una colaboración extensa entre varias disciplinas científicas. Biología molecular y celular, biología del desarrollo, genética, bioquímica, biofísica, farmacología, electrónica, tecnología de la información, ingeniería biomédica, matemáticas, estadística, física, ciencias cognitivas, psicología, lingüística y, por supuesto, más recientemente la pedagogía convergen y se interconectan en aquella que probablemente sea

---

<sup>20</sup> MORIN, Edgar. *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000. Pág. 105.

<sup>21</sup> NISSANI, Moti.. Fruits, salads, and smoothies: a working definition of interdisciplinarity." In: *Journal of Educational Thought* 26: 2, 1995.

<sup>22</sup> Idem

la más interdisciplinar de todas las ciencias, la Neurociencia.

La explicación de esto es sencilla, puesto que, la Neurociencia tiene ya en su esencia un carácter de integración, porque su objeto de estudio (el cerebro) es un órgano de integración de diversas fuentes de información del entorno, sean físicas, eléctricas, visuales, sensoriales, culturales, etc.

La noción de hombre está fragmentada entre diversas disciplinas de las ciencias biológicas y entre todas las disciplinas de las ciencias humanas: es decir, la física por un lado, el cerebro, por otro, y el organismo, los genes, cultura, educación, etc., etc. Pero, el gran problema está en encontrar la difícil vía de interarticulación, interconexión, entre las diversas ciencias, no apenas su lenguaje propio, sino también conceptos fundamentales que no pueden ser transferidos de un lenguaje a otro.

### **LA NECESIDAD DE CREAR UN VOCABULARIO COMÚN**

Si se debe de producir un nuevo acercamiento interdisciplinario, entonces, lo que se necesita más urgentemente es un vocabulario común entre científicos del cerebro y educadores. Tras desarrollar la comprensión semántica mutua mediante la construcción de un vocabulario común, la investigación del cerebro podría ser dirigida hacia áreas dónde la investigación educativa ya ha establecido una hipótesis activa, y viceversa.

Las discusiones interdisciplinarias son valiosas en relación a identificar los procesos de aprendizaje y las condiciones de entorno del resultado, pero es normalmente difícil encontrar la tierra común para aumentar la interacción, y el criterio compartido para juzgar su progreso. El acercamiento unilateral (¿puede la investigación del cerebro ser aplicada a la práctica del aula?) puede conllevar ciertos peligros. Partiendo de un acercamiento interaccionista, en el que se resuelva qué necesitan los educadores saber acerca de la ciencia del cerebro, se podrán lograr los avances más significativos y correlacionados con sus propios estudios.



Con este fin, la colaboración activa y empírica entre neurocientíficos y educadores es necesaria. Esta colaboración beneficiará un esfuerzo conjunto para encontrar la tierra común. Un foro en el cual los neurocientíficos y educadores discutan y pongan en común sus investigaciones, cuestionen y clarifiquen las terminologías y las diferencias metodológicas podría ser un paso crucial. La meta de desarrollar una “ciencia del aprendizaje” interdisciplinario no puede perseguirse únicamente por unos u otros por separado, sino que depende de que cada uno exponga ideas e hipótesis para que sean discutidas y comprobadas por el conjunto. Para esta tarea se necesita un mediador.

Las necesidades de un mediador del diálogo interdisciplinario para prevenir el dominio de una u otra disciplina que hemos propuesto en el párrafo anterior sugiere la necesidad de un profesional de la psicología cognitiva como instrumento más apropiado para este papel. Esto no excluye contribuciones de la psicología de desarrollo, sociología, sociología de la educación, antropología y psicología evolutiva, que en todo caso deberían estar presentes en el foro interdisciplinario. Sin embargo, nosotros creemos que la ciencia del cerebro puede impactar de forma más directa en las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje a través de la psicología cognitiva. Si éste es el caso, las concepciones del público y de los maestros de psicología pueden necesitar atención. Entre muchos maestros y formadores de maestro existe una profunda desconfianza hacia la psicología, en parte basada en los reclamos prematuros acerca de su aplicabilidad, y el desinterés en la psicología académica, resultante de la creencia de que todo conocimiento que vale la pena en la enseñanza y el aprendizaje está basado en el “sentido común” y la experiencia profesional. Por otro lado, tuvimos oportunidad de oír de viva voz de algunos de los neurocientíficos en España, que mucho de lo que escriben los educadores, psicólogos y filósofos, “*es sólo literatura*”. Con eso demuestran una cierta falta de sensibilidad y respeto a los avances que se vienen produciendo en estas áreas de conocimiento.

Podría ser arriesgado sugerir que la investigación educativa por sí misma no puede proporcionar el mejor acercamiento a muchos de los problemas del aprendizaje con sus propios recursos.

En lugar de preguntar cómo la neurociencia puede ayudar a la investigación y práctica educativa, podría ser más útil pensar en cómo la ciencia del cerebro desafía las visiones del sentido común acerca de la enseñanza y aprendizaje. En lugar de verificar (en términos de actividad neural subyacente) lo que los educadores ya saben, podría ser más útil preguntar en qué campos puede ofrecer la investigación sobre el cerebro información sobre aprendizaje y cognición que es inesperada o anti-intuitiva para los educadores. Dos áreas que vienen a la mente, y que se discutirán, próximamente, es si existe un aprendizaje implícito<sup>23</sup> o se trata de un aspecto de la plasticidad en el cerebro adulto. Brevemente, la investigación en aprendizaje implícito ha mostrado que el cerebro procesa información a la cual no se presta atención, y pasa totalmente desapercibida. Esta tendencia del cerebro a hacer las cosas “a espaldas de uno” es penetrante y podría tener repercusiones en las teorías de la enseñanza. Muchas áreas diferentes de investigación en la neurociencia han demostrado que el cerebro adulto es “plástico” y capaz de una cantidad notable de cambio y reagrupación de funciones, dependiendo de cómo el cerebro es usado<sup>24</sup>. Esta investigación sugiere que el cerebro está bien organizado para el aprendizaje a lo largo de la vida y su adaptación al ambiente. La rehabilitación de ciertas funciones perdidas es posible y vale la pena la inversión de tiempo y esfuerzo en lograrla. Por otro lado, se sugiere que no hay necesidad biológica para apresurarse a iniciar la enseñanza cada vez con una mayor premura. Más bien, los comienzos tardíos, podrían revisarse bajo los nuevos resultados de la investigación del cerebro.

---

<sup>23</sup> Ver LEDOUX, Joseph. *El cerebro emocional*. Barcelona, Ariel/Planeta, 1999. Pág. 223-227.

<sup>24</sup> Para mas detalles ver: NIETO-SAMPEDRO, M. *Plasticidad neural: una propiedad básica que subyace desde el aprendizaje a la reparación de lesiones*. In: *El cerebro Íntimo: ensayos sobre neurociencia*. Barcelona, Ariel, 1996. Pág. 66-96. BRAILOWSKY S. STEIN, D. G. & WILL, B. *El Cerebro Averiado: plasticidad cerebral y recuperación funcional*. México, Fondo de Cultura Económica. 1998. NIETO-SAMPEDRO, M. *Plasticidad sináptica*. In: *Función Cerebral*. Investigación y Ciencia, 138 (1995): 40-48. NIETO-SAMPEDRO, M. *Plasticidad Neural: del aprendizaje a la reparación de lesiones*. Arbor, nº602 (1996) Tomo CLIII. CHURCHLAND, P. S. *Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind/Brain*. Massachusetts, Bradford Books/MIT Press, 1996. Pág. 151-152.

Creemos que utilizando descripciones concisas junto con ilustraciones de las estructuras y las conexiones neuronales se puede explicar toda la complejidad de la anatomía y la fisiología del sistema nervioso central, permitiendo relacionar las funciones con las estructuras del sistema nervioso autónomo y del periférico, para que los educadores no se sientan abrumados con lo intrincado de los estudios en neurociencia, más bien, estimulados a adquirir nuevos conocimientos en este amplio campo de estudio. Y hacerlo en un lenguaje sencillo, asequible a todos, huyendo de formalismos, sólo familiares a los propios estudiosos y presentando cuestiones con abundancia de ejemplos y analogías, incluso muy elementales, pero sin desvirtuar el verdadero contenido de las teorías. No se trata de una divulgación barata que malamente informa a los educadores de los temas que exponen los neurocientíficos, sino que casi siempre debe estar realizada por notables/expertos/maestros, en el saber y en el decir, haciendo buena la sentencia de que quien conoce bien una cosa sabe explicarla mejor y a cualquier nivel.

Debemos llamar la atención de que, sin significar una simplificación de los estudios neurocientíficos, estos conocimientos aportados por la neurociencia deben llegar a los educadores tras eliminar los detalles enciclopédicos de la anatomía y la fisiología, proporcionando lo esencial. El problema, obviamente, es evitar al mismo tiempo una banalización de la neurociencia.

El discurso de los neurocientíficos está en gran medida anclado en un lenguaje tan hermético que en ocasiones es casi inaccesible a los mismos especialistas. Éstos a veces aceptan la autoridad técnica de los argumentos presentados por otros expertos sin el mínimo conocimiento que les permita discutir o contra-argumentar las conclusiones o los métodos de investigación. Así, es común la idea de que para comprender el funcionamiento del cerebro es necesario ser muy versado en diferentes tipos de conocimiento, y tener preferentemente un doctorado en biología, psicología, medicina, fisiología, neurología, etc.

Tenemos claro también que el discurso utilizado en ocasiones por los neurocientíficos se basa, según Schiff (1993)<sup>25</sup>, en el *argumento de autoridad*, que consiste, habitualmente, en expresarse en un lenguaje tan técnico, que apenas un centenar de especialistas puedan comprender y juzgar lo que se está exponiendo. Como efecto contrario percibimos un intento de simplificación de determinadas nociones técnicas para poder discernirlas. Este tipo de *estratagema*, sólo dificulta una mayor transdisciplinariedad entre las diversas áreas del conocimiento que son de vital importancia para una sociedad que ha experimentado avances científicos y tecnológicos incuestionables en el último siglo del milenio anterior.

Partiendo del razonamiento que defendemos que en un futuro veamos unidas en la escuela a la neurociencia y la pedagogía, cada vez se refuerza más nuestra convicción, de que a los pedagogos les falta lanzarse a la aventura de conocer más profundamente a los niños, en términos de funcionamiento de los *Sistemas Funcionales*<sup>26</sup>, para que puedan plantear con más seguridad sus tareas y enfoques, sabiendo de qué son realmente capaces los niños, no sólo a través de *rótulos psicologizantes*, sino sabiendo identificar las individualidades funcionales psicobiológicas, y sin perder de vista los determinantes socioculturales que están implicados en toda práctica pedagógica

La neurociencia, que persigue el estudio y comprensión del sistema nervioso, constituye el paradigma más claro de interdisciplinariedad en investigación biomédica. La combinación de poderosas técnicas electrofisiológicas y de imagen con otras de biología molecular, y el uso de potentes neurofármacos y neurotoxinas altamente selectivas, han permitido un avance espectacular en la comprensión de la química, la fisiología y la morfología del sistema nervioso, así como de las enfermedades neuropsiquiátricas<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup> SCHIFF, Michel. *A inteligência desperdiçada*: desigualdade social, injustiça escolar. Porto Alegre, Artes médicas, 1994. Pág. 43.

<sup>26</sup> Ver definiciones en *Sistemas Funcionales*...

<sup>27</sup> GARCIA, Antonio G. La química y la mecánica de la comunicación neuronal. In: *El cerebro Íntimo*.

Dentro de una perspectiva interdisciplinar, deberemos tener una mayor cantidad de información sobre el funcionamiento cerebral, sobre todo de las funciones superiores, como la conciencia, atención, pensamiento, aprendizaje y memoria, pero debemos igualmente actualizar nuestro conocimiento de los datos y perspectivas de campos más humanísticos, como la psicología, la pedagogía, la sociología y la filosofía.

Tal tarea tiene aspectos *multidisciplinares* – reduccionistas, si se quiere – en la medida en que los diversos niveles de complejidad deben poder ser explicados unos en función de los otros. En las últimas décadas se *han registrado ya importantes logros en la integración multidisciplinar de la neurociencia, esbozándose las principales relaciones que median entre los elementos moleculares, la estructura y la función de ciertos sistemas neurales sensoriales y motores, y las percepciones y conductas resultantes*. Son los mecanismos integrativos de orden superior (conciencia, emoción, voluntad) los que aún carecen de una teoría explicativa concreta, con postulados explicativos específicos en cuanto a correlatos moleculares, neuronales y circuitos funcionales<sup>28</sup>.

Mora (1996)<sup>29</sup>, nos propone una teoría de la unificación del conocimiento, diciendo que:

*“La ciencia o los científicos con sus metodologías y sus lenguajes, por sí solos, no podrán nunca ofertar explicaciones a todos los problemas, y desde luego no al problema en particular que nos ocupa, el de la naturaleza humana. Tampoco creo que los cultivadores de las disciplinas de “la otra orilla” del saber (humanidades) puedan hacerlo. Creo, que es de la integración de ambos que puede nacer una nueva dimensión en este problema. ... Creo, que estamos asistiendo a un momento, quizá único en la historia del pensamiento, en el que se está tendiendo un puente entre las disciplinas de las humanidades y las disciplinas científicas.*”

*Hasta ahora, el divorcio entre estas dos grandes ramas del saber ha sido un hecho claramente reconocido, al tiempo que se ha reivindicado constantemente un acercamiento de los mismos. Pero esta reivindicación, señalada constantemente desde el lado de las humanidades, ha tardado en encontrar respuesta desde el lado de las ciencias. Y quizás no tanto porque no haya habido preocupación en esta orilla del*

---

Barcelona. Ariel. 1996. Pag.41

<sup>28</sup> PUELLES, Luis. El desarrollo de la mente como fenómeno material IN: *El cerebro Íntimo*: ensayos sobre neurociencia. Barcelona, Ariel, 1996. Pag. 189.

<sup>29</sup> MORA, Francisco. *El cerebro íntimo*: ensayos sobre neurociencias. Barcelona, Ariel, 1996. Pág. 208-210.

saber por el tema, sino quizá por una clara falta de conocimiento que haya permitido ese puente.

*Desde las así llamadas ciencias duras y menos duras, como la física, la química o la biología y otras disciplinas, se vislumbra un claro acercamiento que viene impuesto por la necesidad de encontrar una nueva visión del mundo y del hombre. ... toda investigación especializada únicamente posee un valor auténtico en el contexto de la totalidad del saber.*

*Estamos realmente asistiendo al comienzo de una nueva era en el estudio del hombre, de nosotros mismos. Esa nueva era requerirá no tanto nuevos conocimientos, que serán sin dudas fundamentales, sino de un continuum en las disciplinas de todo el arco del saber. Tanto que me atrevo a vaticinar nuevas áreas de estudio en las universidades en las que haya disciplinas que tengan como estructura fundamental la integración de los conocimientos. Incluso voy más allá, al proponer nuevos currícula académicos que consistan en “disciplinas de conocimientos unificados”. Es decir, que cada disciplina de ese curriculum recorra todo el arco del conocimiento, desde la historia a la estructura atómica y utilizando para ello el lenguaje que es adecuado a cada nivel de estudio y sus interrelaciones.*

*¿Qué quiero decir con todo esto? ¿Cómo podrían estructurarse estas materias? ¿Qué método permitirá tal unificación? ¿Acaso pudiera encontrarse un lenguaje común para todos ellos o al menos unas equivalencias? ¿Existe alguna piedra Rosetta o diccionario que permitirá traducir los lenguajes utilizadas en los diferentes niveles de estudio?”.*

Es una cita muy larga, pero necesaria para que sepamos que hay neurocientíficos preocupados con el tema de la integración de la neurociencia con otras áreas del conocimiento y que no piensan en el cerebro como una habitación cerrada, más bien la ven como una puerta de entrada, a través de la cual se puede analizar o estudiar el cerebro por niveles y necesidades, y, el esfuerzo de entender que cada uno de los niveles de análisis requiere – y de hecho tiene – un lenguaje diferente en cada campo específico de conocimiento.

No podemos dejar que el exceso de información proporcionado por la neurociencia o cualquier otra área del conocimiento biológico del ser humano nos traiga la desinformación y nos deje obnubilados, lo que sería perjudicial en este intento de construir un nuevo conocimiento. Más irritante que una persona desinformada, es una persona con un exceso de información sin saber cómo utilizarla de modo que pueda mejorar su práctica laboral. Pero, tenemos que caminar por esta senda y debemos tener el debido cuidado relativo a por donde lo hacemos para que podamos recoger en el futuro los frutos de esta labor.

## El Cerebro: ese gran desconocido

Durante las dos últimas décadas, los descubrimientos realizados en torno al cerebro se han extendido en muchas direcciones hasta alcanzar distintas dimensiones de la ciencia. Las nuevas aportaciones y descubrimientos no sólo han favorecido la creación de nuevos productos en la industria farmacéutica, destinados al tratamiento de muchas enfermedades, sino que a partir de ellos ha sido posible enunciar nuevas conjeturas acerca del funcionamiento del cerebro.

Más que hablar de una diversidad de conocimientos en ámbitos específicos de estudio, en la actualidad se trabaja alrededor de teorías que defienden la unificación, por encima de la contradicción en la que han estado viviendo psicólogos, pedagogos, antropólogos, lingüistas y filósofos durante años, a través de la cual consideraban que el cerebro era el responsable último de la configuración de la personalidad, la cultura, la lengua y la razón. Contradecir esta idea es, sin lugar a dudas, algo bastante innovador y, a menudo, demasiado impresionante como para creerlo. Los avances experimentados en el campo de la informática y las nuevas tecnologías de la imagen, han permitido que en la última década los neurocientíficos hayan podido deducir cómo funciona verdaderamente el cerebro.

En este sentido, una pregunta ronda nuestra mente: *¿cómo podremos transformar un área de conocimiento tan compleja como la Neurociencia, en un trabajo de investigación accesible a todos los educadores?*. Según Ratey (2002)<sup>30</sup>, *“la ciencia del cerebro es una secta sacerdotal, una orden mística completamente cerrada para el no iniciado”*<sup>31</sup>. Si suscribimos esta idea, tendremos que esforzarnos, al máximo, para hacer que el esfuerzo que comporte este trabajo no caiga en el uso y dominio exclusivo de la jerga de los neurocientíficos.

---

<sup>30</sup> RATEY, John J. *El cerebro*: manual de instrucciones. Barcelona, Mondadori, 2002.

<sup>31</sup> Ver el capítulo

Si sabemos que el cerebro es el elemento más complejo del universo conocido, no nos sorprende que el lenguaje utilizado por los neurocientíficos sea igualmente incomprensible y hermético. Sin embargo, a medida que los educadores profundicen acerca del conocimiento del cerebro, la terminología utilizada por la Neurociencia será quizá cada vez más explicativa y clarificadora, a la vez que la terminología pedagógica adquirirá conceptos de un rango superior al presentemente en curso.

En la era digital, la Neurociencia, como hacen otras disciplinas, se sirve con gran frecuencia del lenguaje informático; las comparaciones del cerebro con un ordenador son constantes. Sin embargo, la realidad nos muestra que las semejanzas del cerebro con el ordenador son escasísimas, pues el cerebro no procesa información ni construye imágenes mediante la manipulación de una hilera de unos y ceros. Por el contrario, nuestro cerebro está compuesto, principalmente por mapas, a través de los cuales quedan representados los objetos de la percepción, de la cognición o de cualidades sensoriales o cognoscitivas totales de dichos objetos: el color, la forma, el tamaño, la velocidad... etc. Dichos mapas son fruto de la interacción conectiva mediante sinapsis de innumerables partes del cerebro que actúan conjuntamente. De los avances de la Neurociencia hemos aprendido dos grandes lecciones: que el cerebro es un sistema dinámico, con capacidad de adaptación, y que los procesos mentales son sistemas físicos que necesitan formación y práctica.

El cerebro posee una complejidad y plasticidad tal, que resultaría casi imposible, salvo en los términos más generales, predecir cómo un factor dado influirá en su estado. La información genética encierra las instrucciones para gran parte del desarrollo inicial del cerebro, pero no tiene poder definitivo o absoluto para determinar cómo responderá ante la influencia del entorno. Desde el mismo momento de la concepción, hasta el albor de nuestra muerte, el genotipo y el ambiente interaccionan constantemente, cambiando el cerebro.

Nos encontramos ante un híbrido de gran poder, en el cual las líneas generales de su desarrollo se encuentran determinadas por la carga genética, mientras que el resto de detalles y pormenores serán el resultado de la



interacción entre el cerebro y el medio ambiente. Sin lugar a dudas, todo afecta a nuestro desarrollo, y a su vez el desarrollo abarca toda la vida. Por este motivo, no podemos seguir pensando que somos prisioneros de los genes, ni del ambiente.

Por lo tanto, si nuestra intención es formar a los educadores para que sean capaces de preparar mejor a los niños y niñas, ciertamente habremos de replantear nuestra formación pedagógica, desde el punto de vista del conocimiento del cerebro, para que progresivamente vayan sabiendo más y más acerca de los diversos factores que influyen en las funciones cerebrales. Una vez que entendamos cómo se desarrolla el cerebro, podremos desarrollar en los niños/as la capacidad de entrenarlo para que sea cada vez más plástico, más saludable y más resistente y longevo.

En la actualidad, por todos es sabido que casi todo lo que hacemos, comemos y bebemos afecta al cerebro. A cada instante, el cerebro cambia sus patrones de actividad, ajustándose a los estímulos que percibe. Sin embargo, muy pocos son los que entienden al cerebro en sí mismo. Si la biología está detrás de quiénes somos, debemos conocer mejor cómo funciona el cerebro para obtener un amplio abanico de conocimientos que nos permita intervenir activamente en el *desarrollo* de nuestras vidas. Consideramos que es responsabilidad de los pedagogos el saber más y mejor acerca de nosotros mismos y de aquello que nos da a cada uno una manera única de ver y sentir el mundo: el cerebro.

Un ejemplo práctico, es un problema de percepción. Un niño que padece de este tipo de problema puede tener déficit cognitivo, que a su vez conlleva desventajas sociales, pérdida de autoestima y una vida posiblemente llena de frustraciones. No obstante, no se puede negar el conocimiento acerca del problema a los padres y a los propios niños, testigos de su propia experiencia subjetiva, que han de llegar a saber de sí mismos. Si en su entorno escolar se puede identificar en el cerebro dónde nacen los problemas, sus profesores pueden idear un modo de intervención en la práctica pedagógica para el tratamiento que ataque la verdadera fuente del trastorno del niño. Pero, para

que se produzca esta transformación en la manera que afrontamos los problemas que nos aparezcan en nuestra práctica a diario en las escuelas, todos tenemos que aprender a estudiar nuestro comportamiento a partir del órgano que lo sustenta, el cerebro.

Según Ratey (2002)<sup>32</sup>, “para conocernos a nosotros mismos debemos convertirnos en buenos observadores de nosotros mismos”, esa es la razón de que debamos aprender acerca del cerebro, ese objeto que es el motor de nuestra lógica, nuestra imaginación y nuestra pasión, lo que es crucial para que sepamos más acerca de sus funciones y desarrollo. Como ya hemos dicho antes, todo lo que hacemos afecta a lo que viene a posteriori, y el cerebro se desarrolla en gran parte de un modo impredecible, también sin la intervención del maestro. Diversos neurocientíficos, ya citados antes, tienen un pensamiento común acerca de la genética. La genética es importante pero no determinante, es decir, que los tipos de actividades físicas, sueño, alimentación, entorno social y formación, quizás tengan tanto poder para cambiar nuestras vidas como los genes de condicionarla.

En realidad, el cerebro es visto por la gran parte de la gente de la calle como la instalación eléctrica de una casa, la utilizamos todos los días y no nos damos cuenta de su existencia o importancia, mientras no pase algo. Cuando ocurra un fallo, es cuando nos daremos cuenta de lo necesaria que es en nuestro hogar. Un conocimiento cabal de los fundamentos neurobiológicos de nuestra experiencia didáctico-pedagógica no arruinaría nuestras teorías, sólo las enriquecería. Por el contrario, ignorar el cerebro dejará coja cualquier teoría pedagógica, psicológica o sociológica que se intente plantear.

Debatir acerca de qué factor genético, cultural o medioambiental es la verdadera causa de un fenómeno psicológico determinado, suele ser una pérdida de tiempo, porque el cerebro es el principio de todo, y sirve de enlace de múltiples factores causales, siendo el catalizador de todo el proceso de desarrollo, en su tendencia instintiva a buscar la adaptación del individuo al

---

<sup>32</sup> Idem pág. 17.

medio. Lo mejor que podemos hacer es informarnos acerca de cómo el cerebro de los niños hace lo que hace. Eso hará que sea más responsable, desde un punto de vista moral, realizar una práctica con los niños que maximice los puntos fuertes que puedan tener y minimice sus debilidades. No hay que echar la culpa al cerebro por las deficiencias fisiológicas de un niño, sean las que fueran, es malgastar fuerzas que se pueden aplicar mejor en modificar los hábitos y forma de vivir, para de esta forma mejorar en lo posible su adaptación al medio en el cual se desenvuelve.

## **IMPLICACIONES EDUCATIVAS DE LAS INVESTIGACIONES DEL CEREBRO**

No podemos olvidar que las decisiones sobre qué enseñar, cuándo enseñar e incluso cómo enseñar suponen juicios de valor. Estas decisiones nunca pueden estar dictadas por el conocimiento del cerebro. No se puede aplicar directamente el conocimiento de las funciones del cerebro a lo que se debe hacer en primer curso el lunes por la mañana.

A pesar de la fascinación que puede causar los estudios de la Neurociencia no podemos quedarnos hipnotizados por ella. También tenemos claro que la educación es demasiado importante como para dejarla en manos de los pedagogos, de la junta escolar, del ministerio o consejería pertinente, de la comunidad neurocientífica o de cualquier otra entidad, persona o grupo concreto. La educación refleja un conjunto de valores sociales y familiares. Elegimos qué enseñar, cómo enseñarlo y por qué se debe aprender y a veces la implementación de nuestro plan tiene consecuencias desastrosas. La Neurociencia obviamente no dicta los valores sociales perseguidos por los educadores, pero si puede informar de las aptitudes, las tendencias facilitadoras o contrarias al progreso, los posibles factores distorsionantes, etc. que resultan de las propiedades invariantes de los cerebros en desarrollo. Tener en cuenta esta información simplemente nos permite diseñar más eficientemente nuestros programas y llevarlos a cabo de la forma más acorde posible con la realidad biológica de los cerebros a nuestro cargo. Las decisiones sobre los planes educativos son decisiones sobre objetivos y

valores; y estas decisiones corresponden al conjunto de la comunidad y no a un sector privilegiado.

Sin embargo, para que la comunidad pueda tomar decisiones con fundamento, debemos determinar qué nos ha enseñado sobre el ser humano la filosofía, la psicología, la neurociencia, la antropología y la sociología. En una época plagada de continuos avances a pasos agigantados del conocimiento científico, sería una insensatez no acudir a estas fuentes de conocimiento e información, como igualmente lo sería el recurrir únicamente a la neurociencia y excluir a las demás.

A pesar de todo, no olvidemos que conocer la estructura y el funcionamiento del cerebro bien podría deparar unas consecuencias interesantes para el aprendizaje y la pedagogía. Y la única manera de saberlo con seguridad es probarlo. Y si convertimos todo eso en un hecho determinante hará que cambie nuestra manera de concebir el cerebro y no nuestra manera de concebir la pedagogía. Gardner (2000)<sup>33</sup>

Un niño de cinco años de edad que entra en la escuela por primera vez, está al borde de toda una vida educacional, ya que puede tener algunas oportunidades cruciales para su aprendizaje que jamás podrán ser recuperadas en caso de no realizarse en su momento.

Desde del punto de vista del desarrollo cerebral, los niños empiezan la escuela relativamente tarde en su vida. Mucho antes de que estos jóvenes aprendan de un maestro el ABC, su cerebro ya ha pasado por muchos hitos de desarrollo. Sin embargo, las políticas educacionales no están direccionadas en función de cómo aprenden los niños antes de que ellos lleguen a la educación formal.

---

<sup>33</sup> GARDNER, H.. *La educación de mente y el conocimiento de las disciplinas*. Barcelona, Paidós, 2000. Pág. 91.

Ninguna política está enfocada a ayudar a los padres en casa para favorecer el enriquecimiento del entorno de sus hijos de modo que estén preparados para aprender óptimamente cuando alcancen la edad escolar. Ahora, las investigaciones sobre el desarrollo del cerebro sugieren que es hora de replantearse muchas políticas educativas, inclusive aquellas relacionadas con la primera infancia y la educación especial.

## DESARROLLO DEL CEREBRO: Sinaptogénesis y eliminación sináptica

Un cerebro humano adulto tiene aproximadamente 100 billones de neuronas; en el momento del nacimiento el cerebro tiene ligeramente menos neuronas. Sin embargo, durante el desarrollo tienen lugar muchos cambios en el cerebro. Las neuronas crecen y se convierten en el motor del cambio, pero el “cableado”, la intrincada red de conexiones entre las células, llamada *sinapsis*, produce un cambio más significativo. En el inicio del desarrollo postnatal, el cerebro empieza a formar numerosas sinapsis, de tal modo que la densidad sináptica (el número de sinapsis por el volumen de la unidad de tejido del cerebro) excede sobradamente los niveles adultos. Este proceso de multiplicación sináptica, llamado Sinaptogénesis<sup>34</sup>, perdurara varios meses, dependiendo de la especie animal estudiada. Prosigue con un periodo de eliminación sináptica (podado de la conectividad), de manera que se fortalecen aquellas que resultan usadas frecuentemente y con buenos resultados “biológicos”, y se eliminan las conexiones que no tuvieron al azar tal éxito funcional. Esto equivale a una adaptación de la estructura conectiva del cerebro a la estructura fenoménica del mundo circundante. Este mundo nos proporciona señales que estabilizan a ciertas sinapsis, mientras que las otras sinapsis que podrían haber registrado señales que no llegaron de hecho resultan eliminadas. Por lo tanto, nuestro cerebro se hace “especialista” del mundo que le ha tocado vivir. Estas decisiones no son tan firmes y definitivas como puede parecer, ya que la plasticidad neuronal permite cierto juego en lo sucesivo, tanto para crear nuevas sinapsis que se sometan a la selección de una realidad cambiante, pescando nuevos estímulos, o para ajustar la sensibilidad de las sinapsis supervivientes.

La mayoría de lo que sabemos sobre cómo se desarrolla el cerebro viene de la investigación animal. La primera demostración de sinaptogénesis dinámica se remonta a 1975, cuando se descubrió en el sistema visual del gato

---

<sup>34</sup> Término que refiere a la formación de sinapsis, bien durante el desarrollo cerebral, bien tras una lesión en una área específica del cerebro. MORA, F. & SANGUINETTI, A. M. *Diccionario de Neurociencias*. Madrid, Alianza Editorial, 1994. Pág. 288.

que el número de sinapsis por neurona aumenta primero rápidamente y después disminuye gradualmente hasta alcanzar los niveles propios de la madurez, Cragg (1975)<sup>35</sup>. Una extensa investigación que se llevó a cabo en monos Rhesus demostró ulteriormente que esa densidad sináptica alcanza su nivel máximo entre los dos y cuatro meses del periodo postnatal, después del cual empieza el periodo de poda sináptica, Rakic (1995)<sup>36</sup>. La densidad sináptica gradualmente declina hasta los niveles del adulto hacia los tres años de edad, que coinciden con el momento en el cual los monos alcanzan la madurez sexual.

El desarrollo del cerebro varía cuantitativamente entre las especies. Además, el curso del periodo de sinaptogénesis primaria es diferente para las diferentes áreas del cerebro y las diferentes clases de neuronas en la misma región de cerebro, ya que ganan o pierden sinapsis en proporciones diferentes. Se han llevado a cabo escasas investigaciones comparativas en los infantes humanos, porque el tejido del cerebro sólo puede estudiarse tras una autopsia. Los únicos datos disponibles sugieren que la sinaptogénesis en los humanos tiene un periodo de duración diferente a la de los animales. Hay un aumento rápido en el número de conexiones sinápticas en torno a los dos o tres meses de edad en la corteza visual humana, que alcanza un pico a los 8-10 meses. Después de eso hay un marcado declive en la densidad sináptica hasta que se estabiliza alrededor de la edad de 10 años y permanece en este nivel a lo largo de la vida adulta. Huttenlocher (1990)<sup>37</sup>.

En la corteza frontal humana<sup>38</sup> - el área del cerebro responsable de planear, integrar información relevante y tomar decisiones sobre la conducta a

---

<sup>35</sup> CRAGG, B. G. *The development of synapses in the visual system of the cat*. In *Journal of Comparative Neurology*. 160 1975. Pág. 147 – 166.

<sup>36</sup> RAKIC, P. *Corticogenesis in human and nonhuman primates*. In: GAZZANINGA, M. S. (Ed.), *The Cognitive Neuroscience*. Cambridge MA, MIT Press, 1995. Pág. 127-145.

<sup>37</sup> HUTTENLOCHER, P. *Morphometric studies of human cerebral cortex development*. In: *Neuropsychology*. 28 (6), 1990. Pág. 517-527.

<sup>38</sup> Para más detalles Ver: LEDOUX, Joseph. *El Cerebro Emocional*. Barcelona, Ariel/Planeta, 1999. Pág. 81-113.

seguir a medio o largo plazo - la sinaptogénesis ocurre más tarde y el proceso de poda sináptica toma mucho más tiempo que en la corteza visual. En esta área cortical, el desarrollo y la maduración neuronales continúan a lo largo de la adolescencia. La densidad sináptica empieza a declinar alrededor de la mitad de la adolescencia, pero no alcanza los niveles adultos hasta los 18-21 años de edad (coincidiendo con la apreciación social de la “mayoría de edad”).

En resumen, mientras que es verdad que los niños del periodo Infantil tienen inteligencias que sufren cambios sustanciales y rápidos, y son más flexibles que las inteligencias adultas, esta flexibilidad funcional adaptativa al medio permanece activa por lo menos a lo largo de toda la adolescencia en algunas áreas del cerebro.

Sin embargo, queda por aclarar una duda que nos asalta: ¿cómo se relaciona la sinaptogénesis con la función psicológica? Como nuestro esquema 3 sugiere, las funciones biológicas necesitan ser relacionadas con las funciones psicológicas y éstos tienen que estar relacionados, a su vez, con el comportamiento. Cuando la sinaptogénesis empieza en la corteza visual, alrededor de los 2 meses de edad, los infantes humanos empiezan a perder sus reflejos infantiles, innatos. A la edad de 3 meses, cuando la sinaptogénesis está en marcha en la corteza visual, los infantes pueden alcanzar con la mano un objeto mientras se fijan visualmente en él. De los 4 a los 5 meses, aumenta la capacidad de análisis y discriminación visual de los infantes. A los 8 meses, los infantes muestran por primera vez la habilidad de realizar una tarea de memoria visual, como las tareas de contestación retardada. En éstas, un objeto está oculto de la vista del infante y después de un cierto tiempo, se permite al infante alcanzar el objeto. La memoria de los niños para encontrar los objetos ocultos mejora firmemente entre los 8 y los 12 meses. Aunque la aparición de estas capacidades coincide con la sinaptogénesis en la corteza visual, estos procesos no están necesariamente unidos *causalmente*, pudiendo estar implicados otros subsistemas neurales. Goldman-Rakic (1987)<sup>39</sup>. Se pone en

---

<sup>39</sup> GOLDMAN-RAKIC, P. S. *Development of cortical circuitry and cognitive function*. In: *Child Development*. 58, 1987. Pág. 539-559.



correlación el incremento en la densidad sináptica con la aparición inicial de algunas habilidades y capacidades, pero éstas continúan mejorando después de que las densidades sinápticas empiezan a retroceder a los niveles del adulto – por supuesto, los humanos pueden aun aprender nuevas habilidades en la madurez y la vejez, aunque sin la facilidad que muestran los niños. Así, la sinaptogénesis puede ser necesaria para la aparición inicial de algunas habilidades, pero no puede explicar su continuado refinamiento. Ya que el proceso de conectividad adaptado al mundo es por competición entre las posibilidades de activación sináptica preexistentes, la primera fase de incremento de la densidad sináptica equivale a la presentación de candidatos a un concurso (mientras más, mejor), y la segunda fase de poda sináptica correspondería al mecanismo que selecciona a los candidatos mejor pre adaptados para las funciones necesarias. Qué funciones son necesarias es a su vez una variable que tenderá a cambiar con el tiempo en algunos casos (la necesidad de ver líneas verticales y horizontales no cambiará, por ejemplo), lo que explicaría la capacidad residual plástica para hacer concursar a nuevas sinapsis y seguir seleccionando las más adecuadas a otras edades ulteriores.

Gran parte de lo que conocemos sobre el desarrollo del cerebro corresponde al surgimiento de cambios en la función visual, del movimiento y de la memoria, las cuales son adquiridas en casi cualquier ambiente por todo el mundo aproximadamente a la misma edad, antes de que los niños entren en la educación formal. Cómo se relaciona más tarde la sinaptogénesis con el aprendizaje educativo, o con la adquisición de conocimiento y habilidades tales como leer, escribir y los números, es un aspecto que permanece en gran medida desconocido. Es posible que los cambios prosigan a niveles cada vez más sutiles de la complejísima textura de contactos en las redes neuronales del cerebro.

## **DESARROLLO Y EXPERIENCIA: El Concepto de Periodos Críticos**

Un gran indicador del desarrollo infantil se corresponde con los logros obtenidos tras los tres primeros años de vida; éstos son especialmente críticos y su insuficiencia puede echar por tierra el trabajo preliminar para el futuro aprendizaje. En un taller promovido en el último verano de 1999 por la Comisión de Estado de Educación del gobierno de los EEUU y la Fundación Charles A. Dana, los investigadores confirmaron lo que muchos educadores y padres aprecian de modo intuitivo: para desarrollar correctamente el cerebro infantil se requiere una estimulación casi continua desde el nacimiento hasta los 3 años, antes de que el niño comience su etapa escolar.

Los bebés necesitan que les hablen y canten, que les abracen, les toquen, les manifiesten cariño, afecto, y se mantenga fuera de peligro sus cerebros, para desarrollarlos adecuadamente.

Los científicos saben que muy pronto tras el inicio del embarazo, el cerebro fetal empieza a formar trillones de conexiones celulares en el cerebro, que en parte usarán a lo largo de toda la vida. Este proceso es de incremento continuo hasta disminuir su velocidad durante los primeros años de vida, cuando las neuronas comienzan su proceso normal de desgaste y poda sináptica. Sin embargo, un niño postnatal sano, cuyo entorno resulte ser sensorialmente rico y apropiado desde el nacimiento, alcanzará un nivel mayor de desarrollo del que lograría en un ambiente adverso, empobrecido. Es decir, la estimulación compleja por el medio potenciará el desarrollo neuronal. Esto es consistente de la interpretación competitiva adelantada más arriba. Ante una mayor riqueza de señales del mundo circundante, más sinapsis resultan activadas y retenidas por el cerebro durante la fase de poda sináptica subsiguiente. Un mundo pobre en señales va a dar lugar a una menor estimulación y más tarde a una poda masiva de contactos, lo que limitará de forma muy determinante las propiedades computacionales del cerebro en cuestión, situación aparentemente solo parcialmente paliada por las adaptaciones plásticas posteriores.

Como dice Chugani, en la Revista Newsweek: estas experiencias son bastante fuertes y pueden cambiar completamente la manera de constituirse mentalmente una persona.

Muchos investigadores del cerebro acreditan que estas pérdidas tempranas son irreversibles, mientras que otros nos recuerdan que el cerebro aun puede formar algunas nuevas conexiones durante toda la vida. En cuanto al aprendizaje, los neurocientíficos generalmente están de acuerdo en pensar que existe un periodo de tiempo crítico para el aprendizaje óptimo de ciertas habilidades necesarias para el desarrollo de las funciones cognitivas primarias como la visión y el lenguaje.

Por ejemplo, muchos neurocientíficos acreditan que el mejor periodo para aprender a hablar idiomas de forma fluida y sin acento es antes de los 10 años de edad. Las personas que aprenden un segundo o tercer idioma después de este tiempo casi siempre tendrán acento. Sin embargo, no se suelen ofrecer rutinariamente idiomas hasta la escuela secundaria, y algunos estudiantes pueden llegar a la universidad antes de entrar en contacto con ellos. Los hallazgos son semejantes para las matemáticas y la música.

Los investigadores han descubierto en los últimos 30 años, que un animal requiere ciertos tipos de estímulos medioambientales en momentos específicos durante su desarrollo, si los sistemas sensorial y motor del cerebro han de desarrollarse normalmente. Para investigar el desarrollo de la “plasticidad”, Wiesel & Hubel (1965)<sup>40</sup> cubrieron temporalmente un ojo de gatitos recién nacidos. Tras aproximadamente tres meses, el ojo era descubierto y los investigadores estudiaron las conexiones entre los dos ojos y el cerebro. Encontraron que esta privación visual temprana llevó a una deterioración severa de las conexiones neuronales en las áreas visuales del cerebro y a una virtual ceguera del ojo tapado. Esto sucedió porque el cerebro no había recibido ningún estímulo del ojo privado de visión y se habían

---

<sup>40</sup> HUBEL, David H. *Ojo, Cerebro y Visión*. Murcia, Servicio de Publicaciones/ Universidad de Murcia, 1999. Pág. 191-220.

desarrollado conexiones para recibir sólo la información del otro ojo que permaneció descubierto. Los gatitos permanecieron ciegos para el ojo inicialmente privado. Comparativamente, periodos de suspensión visual completa idénticos o más largos en el sistema visual de gatos adultos no tenían los mismos efectos, ya que no perdían la habilidad previamente aprendida de usar el ojo luego privado de función para guiar su comportamiento cuando el ojo era descubierto seguidamente.

Se citan a menudo las consecuencias irreversibles de la suspensión visual temprana como evidencia para la importancia de la educación durante la infancia temprana<sup>41</sup>. Sin embargo, la investigación subsiguiente ha sugerido que es posible alguna recuperación de función, dependiendo del periodo específico de suspensión funcional y de las circunstancias siguientes a la suspensión. Cuanto más corto es el periodo de suspensión, mayor es la recuperación. Además, ésta será aún mayor si entrenamos intensamente el ojo que quedó privado de visión. Chow & Stewart (1972)<sup>42</sup>; Mitchell (1989)<sup>43</sup>.

---

<sup>41</sup> Ver las críticas y aclaraciones sobre este tema en: BRUER, J. T. *El Mito de los Tres Primeros Años*. Barcelona, Paidós, 2000. SHATZ, Carla. J. *Desarrollo Cerebral*. In: *Mente y Cerebro*. Barcelona y Investigación, 1996. Pág. 19-26. KAGAN, Jerome. *Tres ideas seductoras: La abstracción, el determinismo en la infancia y el principio del placer*. Barcelona, Paidós, 2000. Pág. 99-165.

<sup>42</sup> CHOW, K. L. & STEWART, D. L. *Reversal of structural and functional effects of long term visual deprivation in cats*. In: *Experimental Neurology* 34, 1972 pág. 409-433.

<sup>43</sup> MITCHELL, D. E. *Normal and abnormal visual development kittens: insights into the mechanisms that underlie visual perceptual development in humans*. In: *Canadian Journal of Psychology*. 43 (2), 1989. Pág. 141-164.

## PERIODOS SENSIBLES

La mayoría de los neurocientíficos cree ahora que los periodos críticos no son rígidos e inflexibles. Más bien, la mayoría los interpreta como “Periodos Sensibles” que comprenden los cambios sutiles en las habilidades del cerebro que estarían influenciadas por experiencias que ocurren durante la vida<sup>44</sup>. Para que algunas funciones se desarrollen normalmente, el animal debe recibir inputs sensoriales apropiados (instructivos) del ambiente en fases determinadas durante el desarrollo. Sin embargo, estos inputs tienden a ser muy generales en su naturaleza, incluyendo los patrones de los estímulos visuales, la habilidad de mover y manipular los objetos, los ruidos, y el sonido del habla humana. Tales estímulos están disponibles en casi todos ambientes. Las capacidades cognitivas superiores, como el idioma, tienen varios periodos sensibles, muchos de los cuales continúan en la madurez, incluso durante el aprendizaje de un segundo idioma.

Los hallazgos de las investigaciones del cerebro y el sentido común en el cuidado de la niñez temprana van cogidos de la mano: es importante que los padres y maestros identifiquen rápidamente y, si es posible, traten los problemas sensoriales de los niños, tales como dificultades visuales y de audición, para que ellos puedan recobrar la función normal. También se sugiere que la recuperación puede ocurrir y que ese aprendizaje fundamental todavía puede ser posible después, durante el transcurso ulterior de la vida. Éste puede ser un tipo diferente de aprendizaje y puede facilitarse por distintos métodos de enseñanza. Si existen periodos sensibles para los sistemas de conocimiento transmitidos culturalmente, tales como los responsables de la lectura y aritmética, actualmente son desconocidos.

---

<sup>44</sup> KAGAN, Jerome. Op. Cit. Pág. 99-165.

## LOS PERIODOS SENSIBLES EN EL IDIOMA Y SU DESARROLLO

El idioma y sus componentes - los sonidos, vocabulario, significado y gramática - se dominan en la niñez temprana usando poderosos, posiblemente innatos, mecanismos de aprendizaje que ayudan a que los niños aprendan bastante solamente escuchando, e interactuando recíprocamente con los adultos y hermanos. Ya que, como podemos comprobar, los niños adquieren el uso del idioma antes de entrar en la escuela formal, se ha sugerido que los humanos tienen una predisposición para aprender y generalizar las reglas de idioma. Pinker (1994)<sup>45</sup>. Normalmente se supone que tal predisposición tendría que basarse en un sistema neural especializado en el que operan los mecanismos selectivos modulados por el entorno. Si este sistema neural fuera dañado o defectuoso, entonces se podría dañar el aprendizaje del idioma, si bien se ha comprobado en niños a los que se extirpa en la primera infancia el hemisferio izquierdo, que normalmente domina en el desarrollo del lenguaje, que desarrollan casi normalmente el lenguaje con el hemisferio restante. Tal capacidad se pierde con el tiempo. Un adulto en el mismo caso pierde definitivamente el lenguaje.

El aprendizaje del propio idioma requiere inicialmente la categorización de los sonidos que lo constituyen. Los bebés recién nacidos pueden distinguir todos los sonidos del habla humana. Según Kuhl (1998)<sup>46</sup>, la organización primaria de los sonidos estará determinada a continuación por la selección de todos aquellos circuitos cerebrales que son sensibles a los sonidos hablados que se producen en el ambiente de un bebé en los primeros 12 meses de vida - a finales de su primer año los bebés pierden la habilidad de distinguir los sonidos a los cuales ellos no están expuestos (que se hubiesen estabilizado en niños que escuchan otros idiomas). Hay evidencia de que el aprendizaje de los sonidos del propio idioma empieza en el útero - los recién nacidos incluso pueden distinguir entre frases habladas en el idioma nativo de sus padres y

---

<sup>45</sup> PINKER, S. *The language Instinct*. New York, Morrow, 1994.

<sup>46</sup> KUHL, P. K. *The development of speech and language*. In: *Mechanistic relationship between development and learning*. New York, Wiley, 1998. Pág. 53-77.

frases en otro idioma, probablemente sobre la base de la experiencia prenatal, con el habla materna, Mehler et al. (1988)<sup>47</sup>. De nuevo, es probable que algunos mecanismos neurales para procesamiento del habla estén presentes en el cerebro humano fetal.

Se sabe bien que los japoneses no distinguen entre los sonidos R y L. Sin embargo, los bebés japoneses pueden identificar la diferencia entre R y L pero sólo hasta los 10-12 meses. El idioma japonés no tiene R ni L, por lo que parece que los bebés japoneses no resultan expuestos a estos sonidos y pierden la habilidad de distinguirlos. En contraste los bebés de familia japonesa educados en los EE.UU. pueden distinguir estos sonidos a la misma edad porque ellos sí resultan expuestos a estos sonidos en el entorno americano. Similarmente, antes de los 12 meses de edad, los bebés educados en los EE.UU. pueden descubrir la diferencia entre ciertos sonidos comunes en el idioma hindú que luego no pueden distinguir tras los 12 primeros meses, Kuhl (1998)<sup>48</sup>. Éste puede ser un ejemplo de aprendizaje dentro de un claro periodo crítico.

## **APRENDIZAJE DEL SEGUNDO IDIOMA**

La investigación del cerebro en relación al aprendizaje de un segundo idioma está basada en las teorías cognitivas existentes. El consenso general en la actualidad es que el verdadero bilingüismo, en el sentido de que ningún idioma tiene status preferencial, no existe. En cambio un idioma siempre es escogido como la base (la lengua materna) y éste se procesa principalmente en regiones universalmente similares del hemisferio izquierdo. Por otro lado, es posible que las áreas del cerebro usadas para la representación de un segundo idioma difieran ligeramente de persona a persona. Muestran los estudios bilingües que la gramática es aprendida cuando el individuo es joven, mientras que la semántica y el vocabulario de un idioma pueden ser retrasados en su

---

<sup>47</sup> MEHLER J., JUSCZYK P., LAMBERTZ, G., HALSTED N., BERTONCINI J. & AMIEL-TISON, C. *A precursor of language acquisition in young infants*. In: *Cognition* 29 (2), 1988. Pág. 143-178.

<sup>48</sup> Op. Cit.

inicio y seguir a lo largo de la vida. Neville & Bavelier (1998)<sup>49</sup>. Los futuros programas de instrucción podrían hacer algo basado en los sistemas ejemplares en prácticas eficaces. La investigación todavía necesita establecer si existe un periodo sensible para aprender un segundo idioma, el cual indicaría las condiciones de un aprendizaje óptimo.

## **AMBIENTES ENRIQUECIDOS Y CRECIMIENTO DE LAS SINAPSIS**

Una característica fundamental del cerebro es que está organizado a través de un proceso de interacción entre el organismo y su ambiente. En otros términos, la experiencia maneja el proceso de desarrollo. La investigación Neurobiológica ha mostrado que esa experiencia afecta el desarrollo del cerebro por lo menos de dos modos. Primeramente, en el desarrollo “expectante de experiencia” se involucra la prontitud en el desarrollo de pre aptitudes neurales en edades específicas con la necesidad de una información normalmente disponible en él (típico) ambiente; a menudo implica superproducción y eliminación selectiva ulterior de sinapsis. En segundo lugar, el desarrollo “dependiente de la experiencia” se refiere a esos aspectos de la experiencia que son únicos para cada individuo y pueden adquirirse en una gama amplia de edades; aprendizaje y memoria parecen ser procesos dependientes de la experiencia; los procesos dependientes de la experiencia parecen involucrar formación de sinapsis activas y modificación de las mismas en respuesta a la experiencia. Así, tanto el aprendizaje como la memoria pueden verse como aspectos pertinentes de la educación en un proceso generalmente adaptativo que pone al día la organización del cerebro en base a la experiencia del organismo, ya sea con o sin expectativas genéticamente pre condicionadas.

---

<sup>49</sup> NEVILLE, H. J. & BAVELIER, D. *Neural organization and plasticity of language*. In: *Current Opinion in Neurobiology* 8 (2), 1998. Pág. 245-248.



## LAS RATAS Y LOS NIÑOS

Se citan a menudo investigaciones neurobiológicas realizadas con ratas, como evidencia de la importancia de los “ambientes enriquecidos”, estimulantes en la infancia temprana. Los estudios tempranos mostraron que esas ratas criadas en laboratorio en un ambiente “enriquecido”, con ruedas giratorias para hacer ejercicio, escaleras de mano para subir y bajar, y con otras ratas para jugar, tenían un 25% más de sinapsis por neurona en áreas del cerebro involucradas en la percepción sensorial que las ratas “deprivadas”, criadas solas en una jaula del laboratorio sin “compañeros de juegos” o juguetes. Las ratas criadas en los ambientes complejos realizan tareas de aprendizaje mejor que las ratas “deprivadas”. Además de las consecuencias neurales, la experiencia afecta también a otros aspectos de la estructura celular del cerebro. El sistema capilar vascular resulta modulado por la actividad física y el ejercicio en su capacidad de regar el cerebro, pero se ignora si está o no involucrado en el aprendizaje.

En estudios subsiguientes, Greenough y colegas mostraron que el cerebro de ratas adultas forma nuevas sinapsis en respuesta a nuevas experiencias y juguetes, Greenough et al. (1987)<sup>50</sup>. Así, las investigaciones en las ratas sugieren que la experiencia también puede transformar el cerebro *adulto*. Por consiguiente, los distintos fenómenos del periodo crítico, la capacidad de crear sinapsis en respuesta a nuevas experiencias parecen persistir a lo largo de la vida. Aunque, los efectos de ambientes complejos ocurren preponderantemente en los animales más jóvenes, éstos efectos aun persisten durante toda la vida.

En estos experimentos, los “ambientes enriquecidos” en el laboratorio posiblemente no eran tan ricos como los que se encuentra una rata salvaje en la naturaleza. Así, en lugar de mostrar que ese estímulo “extra” en el laboratorio lleva a un aumento en las conexiones sinápticas, podría ser más

---

<sup>50</sup> GREENOUGH, W. T., BLACK, J. E. & WALLACE, C. S. *Expereince and brain development*. In: *Child Development*. 58, 1987. Pág. 539-559.

exacto decir que un ambiente más “normal” lleva a más conexiones sinápticas que un ambiente “deprivado”. Por lo que se refiere a los bebés humanos, la investigación por tanto no implica que los padres deban proporcionar una experiencia especial de “enriquecimiento” a los niños más allá de lo que aquellos experimentan en la vida cotidiana, aunque esto puede ser discutible por ejemplo para la audición de ciertos tipos menos comunes de música (p.ej., música clásica en un ambiente de cultura gitana en la que habitualmente se escuche cantar y tocar flamenco). Es improbable que niños criados en cualquier ambiente “normal” puedan resultar deprivados de suficientes inputs sensoriales. Esto implica que hay un umbral de riqueza medioambiental por debajo del cual un ambiente deprivado podría dañar el cerebro de un bebé. Sin embargo, Bruer<sup>51</sup> hace duras críticas a los que utilizan los argumentos/hallazgos de las investigaciones con las ratas de Greenough para justificar determinadas prácticas y proyectos educativos infantiles.

Recientes estudios han demostrado que bebés de Rumania criados en condiciones severamente deprivadas, con una nutrición pobre, mala salud, poca estimulación sensorial o social, tienen una mayor probabilidad de tener retrasado el desarrollo de habilidades tales como caminar y hablar, así como su desarrollo social, emocional y cognitivo, O'Connor et al. (1999)<sup>52</sup>. Sin embargo, la recuperación de estas funciones y la capacidad de recuperación de la deprivación de los niños en estos estudios eran impresionantes. Así, aunque es claramente perjudicial privar a un bebé, la severidad de la deprivación está relacionada con la extensión temporal de los efectos adversos. Esta investigación sugiere que incluso los bebés muy deprivados pueden recuperar una gran cantidad de habilidades si se les dan los estímulos terapéuticos y pedagógicos apropiados.

---

<sup>51</sup> BRUER, J. T. *El mito de los tres primeros años*. Pág. 39-42, 54,132, 176-181, 187

<sup>52</sup> O'CONNOR, T. G., BREDENKAMP, D. & RUTTER, M. *Attachment disturbances and disorders in children exposed to early severe deprivation*. In: *Infant Mental Health journal* 20 (10), 1999. Pág.10-29.

## DESARROLLO COGNITIVO DE NIÑOS EN LA EDAD PRE-ESCOLAR

Actualmente, se echan de menos estudios del cerebro en relación a las bases del desarrollo cognitivo. Ello es debido principalmente a las consideraciones éticas y a las técnicas potencialmente lesivas que habrían de usarse para examinar el cerebro de los niños. Los recientes adelantos en la tecnología del fMRI, por ejemplo, son prometedores, en la medida en que son capaces de examinar el cerebro en poco tiempo bajo fuerzas de campo magnético aceptables, lo que significa que pueden examinarse a los niños sin peligro para ellos. Esperamos que en el futuro cercano se puedan llevar a cabo estudios sobre el desarrollo de capacidades sensoriales, cognitivas y emocionales en el cerebro infantil. Las investigaciones psicológicas y educativas existentes serán la guía de como estudiar estos procesos.

Recientemente un grupo de investigadores usó MRI para obtener registros del cerebro de niños de edades entre 3 a 15 años. Los investigadores examinaron el cerebro de los niños a intervalos que van de dos semanas a cuatro años, lo que les permitió seguir los cambios en sus cerebros y construir “mapas de crecimiento” durante el desarrollo cerebral. Thompson et al (2000)<sup>53</sup>. Estos autores encontraron que la inteligencia de los niños se desarrolla con un patrón específico, con un brote de crecimiento que empieza en el cerebro durante las edades de 3 a 6 años. Entre 6 y 13 años, el patrón de maduración se traslada rápidamente del frente hacia atrás, hacia las áreas del cerebro que se especializan en las habilidades del idioma. Los investigadores encontraron que hay un marcado corte en el crecimiento de las áreas del idioma del cerebro después de los 13 años. Otro hallazgo del estudio de estas imágenes fue que aproximadamente entre los 13 y los 15 años, cerca del 50% del tejido del cerebro que controla las habilidades motoras resulta eliminado.

---

<sup>53</sup> THOMPSON, P. M., GIEDD, J. N., WOODS, R. P., MACDONALD, D., EVANS, A. C., TOGA, A. W.. *Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps*. In: *Nature*. 204, 2000. Pág. 190-193.

Estos resultados necesitarán ser reproducidos y relacionados con los cambios en el aprendizaje. Pueden tener implicaciones para la enseñanza. Por ejemplo, el aprendizaje del idioma y las actividades que requieren habilidades motoras, como tocar un instrumento o practicar un deporte, pueden tener un periodo crítico en el cual es particularmente fácil adquirir estas habilidades.

Así, las imágenes del cerebro parecen dar un espaldarazo a la idea apoyada por la biología respecto al concepto de periodos críticos/sensibles. En particular, puede ser posible que investigaciones llevadas a cabo usando imágenes por tensor de difusión nos digan algo sobre el desarrollo de la mielinización, la conectividad, etc. y que esto pueda informar el desempeño ideal para las ventanas de aprendizaje. Sin embargo, si este tipo de investigación del cerebro quiere tener cierto impacto sobre la educación, necesitará ser diseñado y llevado a cabo en colaboración activa con los investigadores educativos.

En resumen, el cerebro joven es muy flexible, sensible y plástico, tiene predisposiciones para el aprendizaje en ciertos dominios (por ejemplo, el idioma, la interacción social), y se ajusta activamente por selección de sinapsis a la estructura aparente y contenidos estadísticamente significativos del mundo exterior. Las áreas sensoriales del cerebro se desarrollan óptimamente cuando el ambiente contiene una variedad “natural” de estímulos sensoriales - estímulos visuales, texturas y sonidos. Aunque, el cerebro de los bebés sufre una gran cantidad de cambios en los primeros años de vida, partes del cerebro humano continúan desarrollándose bien entrada la adolescencia y más allá. Por consiguiente, es preciso encontrar los eslabones directos que correlacionen las evidencias neurocientíficas con los ambientes específicos, las experiencias y las políticas de los cuidados en la niñez temprana. No hay conclusiones claras sobre los experimentos que aseguran que “el ambiente enriquecido es mejor”, aunque se puede deducir que podrían generarse redes sinápticas más complejas, con repercusión ulterior. En cambio estos experimentos sugieren que cada especie requiere una cierta cantidad de estímulo medioambiental. De manera que un umbral por debajo de este límite sería perjudicial.

La investigación de la psicología del desarrollo ha demostrado que los principales logros de aprendizaje de niños antes de empezar la escolarización formal empiezan naturalmente en el curso de actividades tales como el juego, la exploración del ambiente, la charla familiar cotidiana y la interacción social con los padres, hermanos y otros familiares. Tales conclusiones ya han sido integradas en el desarrollo de la política de enseñanza en los años tempranos, basado en un programa teórico y práctico coherente. En el futuro, otras contribuciones de la neurociencia a las ciencias cognitivas y sociales podrán reforzar este programa.

### **LAS VENTANAS DE OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO**

Los científicos están de acuerdo en que ciertas formas de aprendizaje son adquiridas con facilidad durante ciertos períodos del desarrollo del bebé. El lenguaje es una de estas facultades. Kuhl (1996)<sup>54</sup>, informa que niños con menos de 6 meses reaccionan con igual interés ante los sonidos de todos los idiomas, pero, rápidamente empieza a desarrollar un mapa perceptivo que filtra los sonidos de unos idiomas respecto a otros. Se puede producir un efecto de interferencia que puede dar lugar a dificultades de aprendizaje de idiomas en el futuro.

Estos hallazgos, y la facilidad con que los niños en familias bilingües adquieren dos idiomas, puede dar autoridad al argumento que apoya la idea de introducir el idioma en las guarderías y en preescolar, no en secundaria o bachillerato. Sobre la cuestión volátil de una educación bilingüe tenemos una cuestión que plantear, ¿tienen los educadores o legisladores suficiente información de la neurociencia para decidir cómo colocar fondos para atender a los niños nacidos en el extranjero para que puedan entrar en las escuelas americanas, españolas, francesas, etc., en semejante cantidad? La respuesta a esta pregunta es claramente no, el grupo está de acuerdo, pero nuevas investigaciones pueden ayudar a guiar las soluciones posibles.

---

<sup>54</sup> KUHL, Patricia K. *Learning and representation in speech and language*. Current opinion in neurobiology, Vol. 4, 1994. P. 812-822.

Experiencias tempranas, sin duda, ayudan a formar el cerebro. La “instalación” y de este modo, el potencial para futuros aprendizajes está influenciada por los sonidos, señales y contactos en los primeros años de vida. Pero, ¿hay un período crítico para el aprendizaje en el cual el cerebro debe recibir ciertas informaciones antes que las ventanas de oportunidades se cierren?. En algunos casos, la respuesta es “Sí”. La visión, por ejemplo, parece que tiene un periodo crítico. La percepción visual puede verse severamente comprometida o jamás desarrollarse adecuadamente si el cerebro no recibe los estímulos sensoriales apropiados en la vida temprana.

Puede existir también un período crítico o sensible para el habla y los conceptos básicos numéricos, según David Geary<sup>55</sup>. En cambio, algunas destrezas del cerebro que los humanos han desarrollado sólo durante una fracción reciente de su historia evolutiva, pueden ser secundarias, y así menos susceptibles de precisar periodos sensibles a la presentación de estímulos. “Puede ser irresponsable especular acerca del período crítico para la lectura y las matemáticas”, apunta Geary<sup>56</sup>.

El marco de estadios para un desarrollo emocional e intelectual normales también puede tener un período crítico o sensible. Lucile Newman (1996), informa tras sus estudios que los niños prematuros a los que los padres visitan en la enfermería del hospital, vocalizan más y tienen pocos problemas hasta los 6 años, comparados con aquellos cuyos padres permanecen alejados de ellos.

Otros factores ambientales como dieta, salud y estrés también pueden influir en el resultado del desarrollo, aunque los investigadores no estén de acuerdo acerca de su importancia respectiva. Kagan (1996)<sup>57</sup>, apunta que no todas las culturas valoran las interacciones tempranas con los niños. Algunos

---

<sup>55</sup> Ibídem pág. 04.

<sup>56</sup> Op. Cit.

<sup>57</sup> KAGAN, Lynn. *Bridging the Gap Between Neuroscience and Education*. Denver, Education Commission of the states - ECS, 1996. Pág. 04.

citan ciertas tribus guatemaltecas, que cría a los niños aislados, para ocultarlos de “los ojos malos”. Estos niños desarrollan aún así el lenguaje, como los huérfanos rumanos, por ejemplo, que fueron criados en un entorno especialmente empobrecido. “La relación entre estimulación y adquisición de lenguaje no es lineal”, dice Kagan.

*“Un niño realmente necesita estímulos para desarrollarse. Tener un entorno empobrecido interfiere con el desarrollo, a causa del sistema biológico que tiene que estar continuamente estimulado para desenvolverse” (Steve Petersen, 1996).*

Investigaciones adicionales pueden ayudar a aclarar la relación entre estimulación temprana durante la infancia y el desarrollo infantil intelectual y emocional ulterior. Experiencias tempranas en la infancia pueden tener una gran influencia acerca de la disposición y los talentos.

Memoria y aprendizaje – y si memoria es aprendizaje – es otro campo de la educación en el cual la neurociencia debe arrojar luz. En el nivel más básico, el aprendizaje está presente en los procesos de adquisición de la memoria, pero tiene lugar un proceso neurológico complejo para transferir información recién adquirida al banco de la memoria a largo plazo, dónde puede ser almacenada para usar después en una nueva oportunidad. El cerebro de hecho tiene sistemas de memoria múltiples (identificados con diferentes nombres en varios campos) que tienen reglas específicas de funcionamiento.

Por ejemplo, el sistema de memoria motora participa en el desarrollo de las destrezas físicas, tales como caminar, practicar golf o hacer gimnasia, y el sistema de memoria emocional viene dando muestras de su influencia en el aprendizaje (premios y castigos). La literatura reciente acerca de los efectos del estrés en el aprendizaje, la música y otros estímulos pueden ayudar a los educadores a proporcionar entornos que sean más propicios a disminuir este factor deletéreo del aprendizaje, al igual que en el aprendizaje para niños normales y con dificultades de aprendizaje.

Los educadores deben enseñar a los niños a aprender, estructurando sus conocimientos de forma equilibrada y compensada.

Los educadores pueden descubrir algunas orientaciones para este dilema de cómo los procesos del cerebro atienden a los diferentes tipos de información. Por ejemplo, si la ciencia puede revelar si diferentes mecanismos están involucrados en la adquisición de los “libros de aprendizaje” , como en un aprendizaje de la experiencia, los educadores pueden tener ventaja al disponer de la información de cómo estructuran las diferentes situaciones de aprendizaje. Asimismo, la neurociencia puede hacer algo para arrojar luz acerca del debate sobre fonética versus lenguaje entero.

Cuando hechos o informaciones primarias son adquiridos, esto afecta del mismo modo a los educadores y a los padres. La educación temprana puede ser definida generalmente de 3-6 años de edad. Nuevas elaboraciones del calendario de periodos críticos/sensibles pueden sugerir que es necesaria una mayor atención desde el periodo del nacimiento hasta los 3 años. Entonces los padres o la familia en general habrían de asumir un papel más importante en el desarrollo intelectual y sensorial del niño.

Según Kagan (1996)<sup>58</sup>, *los nuevos conocimientos acerca de cómo el cerebro crece y trabaja plantean un problema para los educadores*. Pero, el gran problema, cómo decíamos arriba, es que la mayoría de los artículos o libros publicados no están escritas por neurocientíficos, sino por psicólogos cognitivos que no tienen bien fundamentadas sus argumentaciones.

El argumento de la neurociencia y la educación está fuertemente construido y fundamentado en tres importantes y bien establecidos razonamientos de la neurobiología del desarrollo. Primero, empezando en la infancia y continuando en la niñez, más tarde, hay un periodo de crecimiento exuberante de las sinapsis, seguido por un periodo de "poda" sináptica en el cerebro. Segundo, hay periodos críticos dependientes de la experiencia en el

---

<sup>58</sup> Op. Cit.



desarrollo, algunos de los cuales, al menos, afectan a los sistemas motor y sensorial. Tercero, por lo menos en las ratas, los ambientes complejos o enriquecidos causan la formación de una mayor densidad sináptica. El argumento no proporciona una guía unívoca a los educadores, porque cuenta con conceptos erróneos en las generalizaciones de esos tres resultados. Bruer (1997)<sup>59</sup> ha discutido estas malas interpretaciones en uno de sus artículos. En lugar de repetir esos argumentos aquí, me concentraré en uno de los conceptos erróneos de los tres resultados, conceptos erróneos sobre la importancia de formación de las sinapsis y la pérdida durante la niñez que se refleja en la literatura educativa.

La mayoría de los neurocientíficos están de acuerdo en que el cerebro no está maduro en el nacimiento y que eventos significativos del desarrollo tienen lugar en el periodo postnatal. Un evento significativo del desarrollo en una fase postnatal es la formación rápida de las sinapsis. En la mitad de los años 70, los neurocientíficos primero observaban esto y contaban las sinapsis en las muestras de tejido cerebral tomado de la corteza visual de gatos y monos. Cragg (1975a)<sup>60</sup> Lund, Booth - Lund (1977)<sup>61</sup> Desde mediados de los años 70 las investigaciones, principalmente en los monos rhesus, han mostrado que esta fase de desarrollo ocurre en todas las áreas del cerebro del mono - visual, motora, somatosensorial, y en la corteza frontal – áreas del cerebro fundamentales para la visión, el movimiento, el sentido, y planificación/recuerdos. Rakic, Bourgeois - Goldman-Rakic (1994)<sup>62</sup>, Rakic

---

<sup>59</sup> BRUER, John T., *Education and Brain*: A Bridge too far. Educational Researcher 26, n°. 08 (1997). Pág. 4 – 6.

<sup>60</sup> CRAGG, B. G.. *Development of Synapsis in the Visual System of the Cat*. In: *Journal of Comparative Neurology*. 160, 1975<sup>a</sup>. Pág. 147-166.

<sup>61</sup> LUND, J. S., BOOTHE, R. G. & LUND, R. D.. *Development of neurons in the visual cortex (area17) of the monkey (Macaca Nemestrina): A Golgi study from fetal day 127 to postnatal maturity*. In: *Journal Comparative Neurology*. 176, 1977. Pág. 148-188.

<sup>62</sup> RAKIC, P., BOURGEOIS, J. P. & GOLDMAN-RAKIC, P.S.. *Synaptic development of cerebral cortex: implications for learning, memory and mental illness*. In: *Progress in Brain Research*. Van Pelt, J., Comer, M. A., Uylings, H. B. M. & Lopes da Silva, F. H.. (Eds.). Amsterdam, Elsevier Science BV, 1994<sup>a</sup>. Pág. 227-243.

(1994)<sup>63</sup>, Goldman-Rakic, Bourgeois - Rakic (1997)<sup>64</sup> En los monos, la formación de sinapsis rápida empieza dos meses antes de nacer. Con el nacimiento el número de sinapsis por unidad de volumen (densidad sináptica) de tejido en el cerebro del mono está aproximadamente al mismo nivel que la densidad sináptica encontrada en el cerebro de los monos adultos. Este proceso de formación de sinapsis rápida y continúa durante otros dos a tres meses después del nacimiento, hasta la densidad sináptica en el cerebro del mono está lejos de exceder al que se ha encontrado en el cerebro de los adultos. A la edad de tres meses y hasta los tres años, la edad de madurez sexual para los monos rhesus, hay un periodo de la “meseta alta” para la densidad sináptica. En la pubertad, empieza un periodo de eliminación rápida de las sinapsis, durante el cual las densidades sinápticas establecen los niveles del adulto a la edad de cinco años. Así, en las densidades sinápticas del mono (así como el número de sinapsis) sigue un patrón de una U invertida, bajo peso al nacimiento, alto durante la adolescencia, bajo después de ésta.

Aunque dispongamos de pocos datos, parece que durante el desarrollo del cerebro humano se sigue el mismo patrón de U invertida. Desde 1979, Peter Huttenlocher en la Universidad de Chicago ha contado las sinapsis en tejido del cerebro tomado de 53 pacientes humanos en autopsias. Las edades de los pacientes alcanzaban desde los infantes hasta los de 70 años. Huttenlocher ha contado las sinapsis en tres áreas del cerebro - el área visual, el área auditiva, y el área frontal. Huttenlocher (1979, 1990), Huttenlocher - Dabholkar (1997), Huttenlocher - de Courten (1987)<sup>65</sup>. A diferencia de los

---

<sup>63</sup> RAKIC, P.. *Corticogenesis in human and nonhuman primates*. In: *The Cognitive Neuroscience*. Gazzaniga, M. (Ed.). Cambridge, Mit Press. 1994b. Pág. 127-145.

<sup>64</sup> GOLDMAN-RAKIC, P. S., BOURGEOIS, J. P. & RAKIC, P.. *Synaptic substrate of cognitive development: synaptogenesis in the prefrontal Cortex of the nonhuman primates*. In: *Developmental of the Prefrontal Cortex: Evolution, Neurobiology and Behavior*. Krasnegor, N. A., Lyon, G. R. & Goldman-Rakic, P. S.. Baltimore, Paul H. Brooks Publishing Co. 1997. Pág. 27-47.

<sup>65</sup> HUNTELLOCHER, P. R. & DABHOLKAR, A. S. *Regional Differences in synaptogenesis in human cerebral cortex*. In: *Medicine Journal of Comparative Neurology* 387 (1997): 167-178. HUTTENLOCHER, P. R. & COURTEN, CH. De. *The development of synapses in striate Cortex of man*. In: *Human Neurobiology* 6 (1987): 1-9. HUTTENLOCHER, P. R. *Synaptic density in human frontal cortex – Developmental changes of aging*. In: *Brain Research* 163 (1979): 125-205. HUTTENLOCHER,

monos, en los que la formación rápida de sinapsis parece ocurrir al mismo tiempo en todo el cerebro, en los humanos esa formación rápida de sinapsis ocurre en diferentes momentos en áreas diferentes del cerebro. Sin embargo, debido a la falta de datos comparables entre los monos y humanos, este sigue siendo un problema irresoluto, con conclusiones impugnadas. Hay un aumento rápido en el número de conexiones sinápticas alrededor de los 2 meses de edad en la corteza visual humana, que alcanza un pico entre los 8 y los 10 meses. Hay un marcado declive entonces en la densidad sináptica, hasta que alcanza los niveles del adulto alrededor de los diez años de edad. En la corteza auditiva, hay también un crecimiento rápido en los meses siguientes al nacimiento, con una densidad máxima que ocurre a la edad de 3 meses, seguido por un periodo de la meseta y estabilización a los niveles del adulto en la pubertad. En la corteza frontal humana, las densidades máximas ocurren alrededor de los dos años de edad y estos niveles permanecen altos hasta los ocho años de edad, es entonces cuando empieza el declive despacio a los niveles del adulto en torno a los 16 años de edad. Huttenlocher (1990)<sup>66</sup>

En los humanos, hay también evidencia indirecta para este patrón de desarrollo. Muchos de los artículos de educación que mencionan el cerebro examinan las tecnologías intravitales, como la Tomografía por Emisiones de Positrones (PET), que permite a científicos visualizar la actividad funcional del cerebro normal. En las PET son usadas sustancias marcadas radiactivamente, como el oxígeno o la glucosa, que el cerebro requiere para su metabolismo energético. Estas sustancias llegan a través del torrente sanguíneo a las áreas del cerebro que requieren más energía por su mayor activación funcional y allí emiten proporcionalmente los positrones que detecta un sensor. Los detectores recogen estas emisiones y los datos con los recorridos realizados por las emisiones lo cual les permite a los científicos construir imágenes indicando en qué lugar del cerebro se consume el oxígeno y la glucosa. El estudio PET citado más a menudo en la literatura de educación

---

P. R. *Morphometric Study of human cerebral cortex development*. In: *Neuropsychology*. 28, nº 06 (1990) 517-527).

---

<sup>66</sup> Op. Cit.

es un estudio de 29 niños epilépticos (ya que el examen PET requiere la inyección de una sustancia radioactiva, no hay disponible casi ninguna imagen similar de niños sanos; Chugani, Phelps - Mazziota (1987)<sup>67</sup>. Este estudio reveló un aumento rápido en el nivel de captación de glucosa en la corteza de los niños que empezó a la edad de 1 año, con un pico a la edad de 3 años, y se quedó estable a este nivel hasta la edad 9 o 10 años, tras lo cual el nivel de captación promedio retrocedió a niveles más bajos característicos del adulto. Si uno asume, como los autores de este estudio hacen, que el consumo aumentado de energía por parte del cerebro implica la necesidad de alimentar y mantener las sinapsis en exceso, el estudio proporciona la evidencia indirecta de la U invertida destacada previamente como modelo de desarrollo.

---

<sup>67</sup> CHUGANI, H. T. PHELPPS, M. E. & MAZZIOTA, J. C. *Positron Emission Tomography Study of Human Brain Function Development*. In: *Annals of Neurology* 22 (1987): 487-497.

## **LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES Y LAS DIFICULTADES DE APRENDIZAJE**

Los procesos que están implicados en la enseñanza normal y el aprendizaje, puede dilucidarse estudiando lo que pasa cuando el sistema se presenta ante un desafío. El nivel tres del gráfico (sección 1) fue diseñado para explicar los efectos de ciertas anomalías neurobiológicas en el desarrollo de la cognición original y en los deterioros subsiguientes en el comportamiento. Sin embargo, explicaciones sobre por qué algo sale mal están vinculadas a las hipótesis de por qué algo es correcto. Así, el esquema es satisfactorio para considerar los efectos de enseñar y aprender los diferentes tipos dados según los grados de desafío. Anormalidades de causa biológica que llevan a desórdenes de desarrollo débiles o severos (por ejemplo, dislexia, discalculía, ADHD, espectro de desórdenes del autismo) ocurren en una proporción regular de individuos, estimada conservativamente sobre el 5%. Las diferencias en el cerebro y las funciones mentales que son consecuencia de estos desórdenes pueden ser consideradas de la misma manera que las diferencias individuales en la habilidad y personalidad en la población “normal”.

### **DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN APRENDIZAJE Y EL CEREBRO**

La neurociencia puede ayudar a identificar las diferencias individuales en las estrategias y aptitudes ante un problema, pudiendo resolver así los déficits específicos en los individuos. Una última meta podría ser inventar pruebas educativo/psicológico/psicofísico para problemas condicionados de este tipo.

Se sabe poco sobre las diferencias individuales en el cerebro. La investigación del cerebro tiende a buscar las similitudes, no las diferencias, entre las inteligencias. Por consiguiente, la investigación del cerebro en las diferencias individuales apenas se ha llevado a cabo. Este conocimiento puede ayudar a que nosotros accedamos a la personalidad de cada niño, a sus habilidades y necesidades de aprendizaje en el futuro, puede llevarnos

entonces, a una manera más personalizada, adecuada y eficaz de enseñar y aprender.

Nosotros no sabemos cómo de grandes son las diferencias individuales en la estructura del cerebro y su funcionamiento, o en el desarrollo del cerebro a las diferentes edades, o cómo están influenciadas por los factores externos al individuo. Las diferencias en el curso y cronología del desarrollo del cerebro son sobre todo importantes durante esos periodos cuando se selecciona a los niños (para la educación extensa, etc.) en base a los exámenes. Actualmente los procedimientos de mayor selección (para la educación secundaria/niveles A/Universidad) tienen lugar cuando la inteligencia de los niños está sufriendo más cambios que en cualquier otro momento posterior. Estas selecciones afectan el futuro de un niño probablemente más que ningún otro factor; más aun, injustamente, las inteligencias de algunos niños serán más maduras que otros cuando ello tiene lugar. Si las grandes diferencias individuales existen, entonces esto podría alimentar la investigación en la dirección de cómo la selección educativa pudiera ser “escalonada”. Por ejemplo, podría ser posible asegurar que cada niño pueda tomar las decisiones cruciales (y toma los exámenes importantes) cuando ellos estén listos, en lugar de cuando ellos alcanzan una cierta edad.

## APRENDIZAJE Y MEMORIA

Creemos que es fundamental para los pedagogos, aún más que comprender qué es y cómo se desarrolla el sistema nervioso, saber que los diferentes tipos de aprendizaje originan diferentes procesos de la memoria y cuáles son estos tipos de aprendizaje y memoria; cómo guardamos y después recuperamos la información en nuestro cerebro. Para que sepamos cómo se produce la conducta normal y los trastornos del comportamiento, es necesario estudiar el aprendizaje. Para comprender la neurobiología de la memoria es necesario identificar *dónde* se almacenan los diferentes tipos de información e igualmente importante es todo lo concerniente al *modo* de seleccionar y almacenar la información. Hoy se sabe que los recuerdos pueden ser consecuencia de sutiles alteraciones de las sinapsis y estas alteraciones pueden estar distribuidas extensamente en el cerebro. Eso produce limitaciones en las investigaciones de base física de la memoria, porque las modificaciones sinápticas, que son la base de la memoria, pueden ser muy pequeñas y estar distribuidas demasiado ampliamente para que se puedan observar y estudiar experimentalmente, Bear et Alii (1998)<sup>68</sup>.

Según Kandel (2000)<sup>69</sup>, *el aprendizaje es el proceso por el que adquirimos el conocimiento sobre el mundo, mientras que la memoria es el proceso por el que el conocimiento es codificado, almacenado y posteriormente recuperado*. Para Mora (1994)<sup>70</sup>, *Aprendizaje es el proceso que realiza un organismo a través de la experiencia y con el que se modifica permanentemente su conducta. Está íntimamente asociado a los procesos de memoria. Conlleva cambios plásticos en el cerebro que hoy se creen relacionados con la actividad sináptica*. Es el propio Mora (ídem)<sup>71</sup>, quien nos

---

<sup>68</sup> BEAR, Mark F., CONNORS, Barry W., & PARADISO, Michael A.. *Neurociencia: explorando el cerebro*. Barcelona, MASSON- Willians & Wilkins, 1998. Pág. 547.

<sup>69</sup> KANDEL, Eric R., SCHWARTZ, J. H., & JESSEL, T. M. *Principios de Neurociencia*. Madrid, McGraw-Hill – Interamericana, 2000. Pág. 1227.

<sup>70</sup> MORA, Francisco & SANGUINETTI, Ana María. *Diccionario de Neurociencias*. Madrid, Alianza Editorial, 1994. Pág. 30-31.

<sup>71</sup> Ib. Idem pág. 173.

dice que la *memoria* es la capacidad de evocar respuestas aprendidas previamente. Aprendizaje y memoria son dos procesos estrechamente ligados, sin memoria no hay aprendizaje. Lo que aprendemos es retenido en nuestro cerebro y constituye lo que denominamos memoria. Se puede clasificar la memoria y el aprendizaje de diversas formas, y siempre hemos de saber cómo utiliza estos conceptos el investigador en su trabajo.

El aprendizaje es el principal modo de adaptación de los seres vivos. Somos lo que somos, en gran medida, por lo que aprendemos y por lo que recordamos. Por eso, cuanto más complejo y cambiante es el entorno más plástica se presupone que sea la conducta. Sin embargo, toda esa plasticidad tiene que ser caracterizada por las neuronas y el sistema nervioso de los organismos. Cuanta más plasticidad tenga el sistema nervioso más posibilidades de aprendizaje tiene un organismo.

En gran parte de los trabajos publicados la diferencia en las definiciones de aprendizaje y memoria es más semántica que propiamente de contenido. Algunos autores utilizan apenas los conceptos de memoria *a corto plazo* y *a largo plazo*. Y hay otros que aún más que estos dos, utilizan los de *memoria de trabajo*, *memoria explícita e implícita*, *memoria declarativa*, etc., etc., Hay varios tipos diferentes de almacenamiento de la memoria, y ciertas regiones del cerebro son más importantes para algunos tipos de almacenamiento que para otros.

La memoria *a corto plazo* es la que retiene temporalmente información para el procesamiento mental en curso (minutos-horas). Es decir, es un sistema para almacenar una cantidad limitada de información durante un corto periodo de tiempo, pendiente de un uso potencial. Parece tener una naturaleza lábil y dependiente de la actividad reverberante de determinados circuitos neuronales, ya que un golpe en la cabeza o un electroshock hacen que desaparezca. Esta codificación es previa a su transformación en memoria de largo plazo, de tipo estable, no dependiente de la actividad eléctrica de circuitos y que precisa para su aparición de síntesis proteica en las neuronas (probablemente se fabrican componentes proteicos de las sinápsis que resultan



modificadas). La información de este tipo es accesible inmediatamente a la consciencia, de una forma que aun no se comprende. La memoria *a largo plazo* es un sistema duradero para almacenar una gran cantidad de información durante un tiempo ilimitado, en algunos casos de por vida.

Existen más tipos de memoria, como la *memoria asociativa*, que es la capacidad de recordar un suceso en el que se ha asociado las variables de espacio (localización del suceso), tiempo (contexto temporal en que ocurrió el suceso) y aspecto simbólico del mismo (un determinado suceso y no otro de determinadas características), generalmente asociados a la valoración personal de la vivencia (positiva o negativa). Tales memorias tienen cierta cualidad etérea, por formarse y olvidarse (o pasar al plano inconsciente) con facilidad. Puede ser consecuencia de pequeñas modificaciones de las sinapsis que están distribuidas ampliamente en el cerebro. Las lesiones del hipocampo producen déficits en la memoria de estas características.

La memoria *declarativa* relaciona experiencias pasadas con referencia a lugares (acontecimientos con referencias espacio-temporales). La memoria *episódica*, parte de la memoria declarativa y está relacionada con sucesos pasados y puntuales de la vida de la persona.

La memoria *de procedimiento* es un tipo de memoria sensorio-motora que implica hábitos, conductas y habilidades como por ejemplo montar en una bicicleta. Tiene características que facilitan la investigación y son especialmente sólidas, ya que pueden formarse a lo largo de simples vías reflejas que unen las sensaciones con los movimientos. Esto incluye el aprendizaje de una respuesta motora (procedimiento) como reacción a una aferencia sensorial. Se divide en dos tipos: aprendizaje no asociativo y aprendizaje asociativo.

El *aprendizaje no asociativo* describe el cambio de la respuesta conductual que se produce con el tiempo como respuesta a un tipo individual de estímulo. Se subdivide en habituación y sensibilización.

La *habituación* consiste en aprender a hacer caso omiso de un estímulo que carece de significado, como por ejemplo, el ladrar de un perro, propaganda en el autobús, el canto de los pájaros en los árboles. Y la *sensibilización*, intensifica la respuesta a todos los estímulos, incluso a los que previamente apenas evocaban una reacción, o, no evocaran ninguna. Por ejemplo, tras un apagón cuando estás en la calle, y en la oscuridad, empiezas a oír pasos por detrás, lo que produce sensación de miedo.

El *Aprendizaje asociativo*, se forma por asociaciones entre los acontecimientos. Se distinguen el condicionamiento clásico y el condicionamiento instrumental. El condicionamiento clásico se relaciona con la asociación de un estímulo que evoca una respuesta mensurable con un segundo estímulo que normalmente no evoca esta respuesta. El estímulo que evoca una respuesta es llamado de *estímulo no condicionado* (ENC) porque no se requiere un entrenamiento (condicionamiento) antes que produzca una respuesta. El segundo se denomina *estímulo condicionado* (EC) ya que requiere un entrenamiento (condicionamiento) antes de que produzca una respuesta. Es importante tener en cuenta que existen determinados requisitos de sincronización en el condicionamiento clásico para que su desarrollo sea satisfactorio. El condicionamiento tendrá lugar si el ENC y el EC se presentan simultáneamente o si el EC precede al ENC en un breve intervalo. Característicamente, el condicionamiento no tiene lugar si el EC sigue al ENC. El mecanismo sináptico del condicionamiento clásico tendrá que explicar estos requisitos estrictos de sincronización.

En el *condicionamiento instrumental*, un individuo aprende a asociar una respuesta, un acto motor, con un estímulo significativo. Típicamente, una recompensa, por ejemplo la comida o un premio. También, tendrá lugar si una respuesta, en lugar de evocar un estímulo de recompensa, impide la incidencia de un estímulo de aversión, tal como una descarga eléctrica en la pata de un animal. La neurofisiología conductual utiliza el aprendizaje instrumental en sus experimentos.

En el condicionamiento clásico se aprende que un estímulo (EC) predice otro estímulo (ENC). En el condicionamiento instrumental se aprende que una conducta determinada se asocia con una consecuencia concreta. O sea en el condicionamiento clásico existe la importancia de la sincronización y en el condicionamiento instrumental satisfactorio requiere que el estímulo tenga lugar poco después de la respuesta. También no podemos olvidar que la motivación juega un importante papel en el condicionamiento clásico

La memoria *declarativa* expresa experiencias pasadas con sucesos pasados, temporales y puntuales, de la vida de la persona. La memoria *semántica*, es un tipo de memoria no temporal relativa a vocabulario y conceptos.

Actualmente se considera la *potenciación a largo plazo* como una posible base neurobiológica de la memoria. Se refiere al aumento y facilitación de larga duración de la transmisión sináptica producida tras una estimulación breve pero de alta frecuencia. Es descrita en el hipocampo y otras estructuras cerebrales con alta concentración de NMDA.

Morgado (1998)<sup>72</sup> utiliza los conceptos de memoria del siguiente modo:

“Memoria Explícita (declarativa o relacional). Recuerdos deliberados y conscientes sobre nuestro conocimiento del mundo y sobre nuestras experiencias personales.  
Memoria Implícita (procedimental o refleja). Recuerdos inconscientes en los que se basan nuestros hábitos perceptivos y motores.”

La memoria explícita corresponde al aprendizaje relacional, que es una forma evolucionada de aprendizaje que nos permite adquirir informaciones sobre personas, lugares, cosas y circunstancias complejas, utilizando más de una modalidad sensorial. A través de este tipo de memoria podemos recordar un personaje histórico de nuestra cultura, fecha de cumpleaños, que es una célula, que hay que saldar una deuda, o en que calle vive un amigo.

---

<sup>72</sup> MORGADO Ignacio. Aprendizaje y Memoria: conceptos, categorías y sistemas neurales. IN: DELGADO, José María et alii. *Manual de Neurociencia*. Madrid, Síntesis, 1998. Pág. 827.

La memoria implícita es la responsable de las formas básicas de aprendizaje como la habituación, la sensibilización, el aprendizaje perceptivo, los condicionamientos clásicos e instrumentales y el aprendizaje motor, que están estrechamente ligados a las condiciones de supervivencia de la especie. Es un tipo de memoria que no nos deja sobrecogernos con ruidos a los cuales nos hemos habituados, nos hace oler y salivar ante una comida que nos gusta, nos permite montar en bicicleta, conducir un coche o reconocer a nuestros familiares sin pensar. Es decir, es el tipo de aprendizaje y memoria de las cosas que solemos hacer en nuestro día a día.

Ambos tipos no son siempre independientes el uno del otro, porque los recuerdos o conductas inconscientes (implícitas) pueden ser modulados y modificados por la memoria consciente (explícita) y los recuerdos explícitos suelen tener componentes de memoria implícita. Lo más común es que estos dos tipos de memoria se apoyen e interactúen, debido a que cuando empezamos a aprender una habilidad o destreza, nuestra conducta es consciente y explícita pero con la práctica se automatiza y se convierte en una rutina. Cada una de ellas requiere regiones cerebrales distintas y da origen a tipos de memoria con propiedades diferentes.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: Un salto al futuro**

Nuestra revisión selectiva sugiere que la investigación de la neurociencia puede y debe tener relevancia para avanzar en la enseñanza y técnica del aprendizaje. De hecho tiene potencial para generar nuevas preguntas en la investigación y galvanizar la investigación en una nueva ciencia del aprendizaje interdisciplinaria.

Hay numerosas advertencias que templan esta evaluación optimista. El impacto principal de los estudios de la neurociencia en el campo educativo se ha dejado sentir inicialmente en el ámbito de los desórdenes del aprendizaje. Hay suficientes datos para investigar y comprobar las implicaciones cuando en el cerebro algo sale mal. En cambio, existen implicaciones menos claras cuando se trata del para qué, o el cómo del funcionamiento normal del cerebro, o, incluso la cuestión de cómo mejorar éste. Incluso los estudios de psicología diseñados para contestar preguntas sobre el proceso enseñanza - aprendizaje, no siempre tienen las respuestas, porque los experimentos basados en investigación de laboratorio raramente tienen en cuenta la cultura del aula o las diferencias del individuo.

Experimentos de aprendizaje dirigidos por psicólogos cognitivos nos han enseñado mucho sobre cómo procesamos información, sobre las maneras diferentes de codificar la información, sobre cómo hacer la codificación más eficaz, y sobre la aplicación de habilidades que refuerzan el aprendizaje, como son la memorización e imitación. Los resultados de estos experimentos tienen las implicaciones en la educación así como en las investigaciones de la neurociencia.

Nosotros creemos fuertemente que para continuar descubriendo cómo el cerebro aprende y cómo se puede facilitar un aprendizaje interdisciplinario, se necesita de una “ciencia del aprendizaje”. La evolución de tal acercamiento, con la convergencia de científicos del cerebro, psicólogos, y educadores, necesitará aun de varios años. Un foro continuo para neurocientíficos y educadores, con los psicólogos cognitivos como los mediadores, podría ser

una manera de intensificar el acercamiento entre estos campos. Esto permitiría desarrollar un vocabulario común, y el planteamiento y posterior investigación de determinadas preguntas.

Dentro de este foro, podrían organizarse varios talleres y proyectos de investigación, así como grupos de discusión temáticos. Existe la necesidad de encontrar individuos carismáticos para llevar tal empresa adelante, y los miembros deben convertirse en científicos y practicantes con las ideas actualizadas.

Un requisito previo importante para generar la investigación en la enseñanza y aprendizaje es la diseminación de los resultados de la neurociencia, posiblemente a tenor de la psicología cognitiva. Hay muy poca información actualmente sobre investigación de la neurociencia que sea accesible a los educadores y maestros. Literatura (los libros, los periódicos, las revistas), videos, CD ROMS, y DVDs que expliquen los resultados básicos de la ciencia del cerebro y la psicología cognitiva serían una herramienta útil.

Sin embargo, la interacción no debe comprender un flujo de sentido único de información en que los educadores aprenden sobre la neurociencia. La meta de desarrollar una “ciencia del aprendizaje” interdisciplinaria, no puede seguirse útilmente solamente por uno u otro de los campos profesionales en juego, dando primacía a ciertas disciplinas, sino que depende de la puesta en común de las diversas conjeturas, ideas e hipótesis para probar/comprobar en sus diferentes derivaciones.

Debe haber más transferencia de información y más claramente, desde ambos lados, para que los neurocientíficos y educadores puedan comprenderse mejor unos a los otros, e idealmente puedan diseñar y realizar conjuntamente determinados experimentos sobre los aspectos pertinentes a la enseñanza y aprendizaje en la vida real.

## BIBLIOGRAFÍA

ACARÍN, Nolasc. **El cerebro del rey**: vida, sexo, conducta, envejecimiento, y muerte de los humanos. Barcelona, RBA, 2010.

ARMENGOL, J. A. Anatomía del sistema nervioso. Meninges. Circulación cerebral y líquido cefalorraquídeo In: **Manual de Neurociencia**. Madrid, Síntesis, 1998.

BADDELEY, Alan. EYSENCK, Michael W. ANDERSON, Michael C. **Memoria**. Madrid, Alianza Editorial, 2010.

BEAR, Mark, F. CONNORS, Barry. W. & PARADISO, Michael, A. **Neurociencia**: Explorando el cerebro. Barcelona, Masson-Willian & Wilkins, 1998.

BHATNAGAR, Subhash C. & ANDY, Orlando J. **Neurociencia para el estudio de las alteraciones de la comunicación**. Barcelona, Masson, 1997.

BLAKMORE, Sarah-Jayne & FRITH, Utah. **Cómo aprende al cerebro**: Las claves para la educación. Barcelona, Ariel, 2008.

BRAILOWSKY, S. STEIN, D. S. & WILL, B. **El cerebro averiado**: plasticidad cerebral y recuperación funcional. México, Fondo de Cultura Económica, 1998.

**Brain Resarch has implication for education**. Denver, Education Commission of the States, 1997.

**Bridging the Gap Between Neuroscience and Education**. Denver, Education Comission of the States-ECS, 1996.

BRUER, J. T. **El Mito de los Tres Primeros Años**. Barcelona, Paidós, 2000.

BRUER, John T., **Education and Brain**: A Bridge too far. Educational Researcher 26, nº. 08 (1997).

BRUER, John. T. **Escuelas para pensar**: una ciencia del aprendizaje en el aula. Barcelona, Paidós, 1995.

CHOW, K. L. & STEWART, D. L. Reversal of structural and functional effects of long term visual deprivation in cats. In: **Experimental Neurology** 34, 1972. 409 – 433.

CHUGANI, H. T. PHELPPS, M. E. & MAZZIOTA, J. C. Positron Emission Tomography Study of Human Brain Function Development. In: **Annals of Neurology** 22 (1987): 487-497.

CHURCHLAND, P. S. **Neurophilosophy**: Toward a Unified Science of the Mind/Brain. Massachusetts, Bradford Books/MIT Press, 1996.

CRAGG, B. G. The development of synapses in the visual system of the cat. In **Journal of Comparative Neurology**. 160 1975. 147 – 166.

CRAGG, B. G.. Development of Synapsis in the Visual System of the Cat. In: **Journal of Comparative Neurology**. 160, 1975<sup>a</sup>. 147 – 166.

DAMÁSIO, António. **Y el Cerebro creó al hombre** ¿cómo pudo el cerebro generar emociones sentimientos, ideas y el yo? Barcelona, Ediciones Destino, 2010.

DAMÁSIO, António. E. **O erro de Descartes**: emoção, razão e o cérebro humano. São Paulo, Companhia das Letras, 1996.

DELGADO GARCIA, José María. **Vuelo Cancelado**, Sevilla, Editorial Letra Aurea, 2008 A.

DELGADO GARCIA, José María. **Lenguaje del Cerebro**. Sevilla, Editorial Letra Aurea, 2008 B.

DELGADO GARCIA, JOSE MARIA. FERRÚS, A. MORA, F. & RUBIA, F. J. **Manual de Neurociencia**. Madrid, Síntesis, 1998.

ESTUNPINYÀ, Pere. **El ladrón de cerebros**: compartiendo el conocimiento científico de las mentes más brillantes. Barcelona, Handom House Mondadori, 2010.

FINGER, Stanley. **Origins of Neuroscience**: a history of explorations into brain function. New York, Oxford University Press, 1994.

GARCIA, Antonio G. La química y la mecánica de la comunicación neuronal. In: **El cerebro Íntimo**. Barcelona. Ariel. 1996.

GARDNER, Howard. **La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas**. Barcelona, Paidós, 2000.

GARDNER, Howard. **La nueva ciencia de la mente**: Historia de la revolución cognitiva. Barcelona, Paidós, 1987.

GOLDMAN-RAKIC, P. S. Development of cortical circuitry and cognitive function. In: **Child Development**. 58, 1987. 601 – 622.

GOLDMAN-RAKIC, P. S., BOURGEOIS, J. P. & RAKIC, P.. Synaptic substrate of cognitive development: synaptogenesis in the Prefrontal Cortex of the nonhuman primates. In: **Developmental of the Prefrontal Cortex: Evolution, Neurobiology and Behavior**. Krasnegor, N. A., Lyon, G. R. & Goldman-Rakic, P. S.. Baltimore, Paul H. Brooks Publishing Co. 1997.

GREENOUGH, W. T., BLACK, J. E. & WALLACE, C. S. Experience and brain development. In: **Child Development**. 58, 1987. 539 – 559.



HUBEL, David H. **Ojo, Cerebro y Visión**. Murcia, Servicio de Publicaciones/ Universidad de Murcia, 1999.

HUNTELLOCHER, P. R. & DABHOLKAR, A. S. Regional Differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. In: **Medicine Journal of Comparative Neurology** 387 (1997): 167-178.

HUTTENLOCHER, P. Morphometric studies of human cerebral cortex development. In: **Neuropsychology**. 28 (6), 1990. 517 – 527.

HUTTENLOCHER, P. R. & COURTEN, CH. De. The development of synapses in striate Cortex of man. In: **Human Neurobiology** 6 (1987): 1-9.

HUTTENLOCHER, P. R. Morphometric Study of human cerebral cortex development. In: **Neuropsychology**. 28, nº 06 (1990) 517-527.

HUTTENLOCHER, P. R. Synaptic density in human frontal cortex – Developmental changes of aging. In: **Brain Research** 163 (1979): 125-205.

JENSEN, Eric. **Cerebro y aprendizaje**: Competencias e implicaciones educativas. Madrid, Narcea, 2010.

KAGAN, Jerome. **Tres ideas seductoras**: La abstracción, el determinismo en la infancia y el principio del placer. Barcelona, Paidós, 2000.

KAGAN, Lynn. **Bridging the Gap Between Neuroscience and Education**. Denver, Education Commission of the states - ECS, 1996.

KANDEL, E. JESSEL, T. M. SCHWARTZ, J. H.. **Neurociencia y Conducta**. Madrid, Prentice Hall, 1998.

KANDEL, E. JESSEL, T. M. SCHWARTZ, J. H.. **Principios de Neurociencia**. Madrid, McGraw – Hill – Interamericana, 2002.

KANDEL, ERIC. **En busca de la memoria**: El nacimiento de una nueva ciencia de la mente. Barcelona, Katz Editores, 2007.

KUHL, P. K. The development of speech and language. In: **Mechanistic relationship between development and learning**. New York, Wiley, 1998.

KUHL, Patricia K. Learning and representation in speech and language. In: **Current opinion in neurobiology**, Vol. 4, 1994. 812 – 822.

LEDOUX, Joseph. **El Cerebro Emocional**. Barcelona, Ariel/Planeta, 1999.

LIPOVETSKY, Gilles & SERROY, Jean. **La cultura-mundo**: respuesta a una sociedad desorientada. Barcelona, Editorial Anagrama, 2010.

LUND, J. S., BOOTHE, R. G. & LUND, R. D. Development of neurons in the

visual cortex (area17) of the monkey (Macaca Nemestrina): A Golgi study from fetal day 127 to postnatal maturity. In: **Journal Comparative Neurology**. 176, 1977. 149 -187.

LURIA, Aleksander Romanovich, **El cerebro en acción**. Barcelona, Martínez Roca, 1988.

MACGILLY, K., **Classroom Lessons**: Integrating cognitive theory and classroom instruction. Cambridge, MIT Press, 1994.

MEHLER J., JUSCZYK P., LAMBERTZ, G., HALSTED N., BERTONCINI J. & AMIEL-TISON, C. A precursor of language acquisition in young infants. In: **Cognition** 29 (2), 1988. 143 – 178.

MITCHELL, D. E. Normal and abnormal visual development kittens: insights into the mechanisms that underlie visual perceptual development in humans. In: **Canadian Journal of Psychology**. 43 (2), 1989. 141 – 146.

MORA, F. **¿Se puede retrasar el envejecimiento del cerebro?: 12 claves**. Madrid, Alianza Editorial, 2010.

MORA, F. **Cómo funciona el cerebro**. Madrid, segunda edición, Alianza Editorial, 2009 A.

MORA, F. **Genios, locos y Perversos**: Cerebro, enfermedad mental y diversidad humana. Madrid, Alianza Editorial, 2009 B.

MORA, F. **El científico curioso**: la ciencia del cerebro en el día a día. Madrid, Temas de Hoy, 2008 A.

MORA, F. **El sueño de la inmortalidad**: Envejecimiento cerebral: dogmas y esperanzas. Madrid, Alianza Editorial, 2008 B.

MORA, F. **Neurocultura**: una cultura basada en el cerebro. Madrid, Alianza Editorial, 2007.

MORA, F. **Continuum**, ¿Cómo funciona el cerebro? Madrid, Alianza Editorial, 2005.

MORA, F. **El reloj de la sabiduría**. Madrid, Alianza Editorial, 2005.

MORA, F. & SANGUINETTI, A. M. **Diccionario de Neurociencias**. Madrid, Alianza Editorial, 1994.

MORA, Francisco. **El cerebro íntimo**: ensayos sobre neurociencias. Barcelona, Ariel, 1996.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000. Pág. 105.

MORTON, J., y FRITH, U. (1995): «Causal modeling: A structural approach to developmental psychopathology», en D. Cicchetti y D. J. Cohen (eds.): **Manual of Developmental Psychopathology**, vol. 1, pp. 357-390.

NEVILLE, H. J. & BAVELIER, D. Neural organization and plasticity of language. In: **Current Opinion in Neurobiology** 8 (2), 1998. 245 – 248.

NIETO-SAMPEDRO, M. **Plasticidad Neural**: del aprendizaje a la reparación de lesiones. Arbor, nº602 (1996) Tomo CLIII.

NIETO-SAMPEDRO, M. Plasticidad neural: una propiedad básica que subyace desde el aprendizaje a la reparación de lesiones. In: **El cerebro Íntimo**: ensayos sobre neurociencia. Barcelona, Ariel, 1996.

NIETO-SAMPEDRO, M. Plasticidad sináptica. In: **Función Cerebral**. Investigación y Ciencia, 138 (1995): 40-48.

NISSANI, Moti.. Fruits, salads, and smoothies: a working definition of interdisciplinarity. In: **Journal of Educational Thought** 26: 2, 1995. 119 – 126.

O'CONNOR, T. G., BREDENKAMP, D. & RUTTER, M. Attachment disturbances and disorders in children exposed to early severe deprivation. In: **Infant Mental Health journal** 20 (10), 1999. 10 - 29

ORTIZ, Tomás. **Neurociencia y Educación**. Madrid, Alianza Editorial, 2009.

PINKER, S. **The language Instinct**. New York, Morrow, 1994.

PUELLES LÓPEZ, L.; MARTÍNEZ PÉREZ, S. y MARTÍNEZ DE LA TORRE, M. **Neuroanatomía**, Edición Panamericana, ISBN 9788479034535 2008

PUELLES, Luis. El desarrollo de la mente como fenómeno material IN: **El cerebro Íntimo**: ensayos sobre neurociencia. Barcelona, Ariel, 1996.

RAKIC, P. Corticogenesis in human and nonhuman primates. In: GAZZANINGA, M. S. (Ed.), **The Cognitive Neuroscience**. Cambridge MA, MIT Press, 1995.

RAKIC, P., BOURGEOIS, J. P. & GOLDMAN-RAKIC, P.S.. Synaptic development of cerebral cortex: implications for learning, memory and mental illness. In: **Progress in Brain Research**. Van Pelt, J., Comer, M. A., Uylings, H. B. M. & Lopes da Silva, F. H. (Eds.). Amsterdam, Elsevier Science BV, 1994<sup>a</sup>.

RAKIC, P. Corticogenesis in human and nonhuman primates. In: **The Cognitive Neuroscience**. Gazzaniga, M. (Ed.). Cambridge, Mit Press. 1994<sup>b</sup>.

RATEY, John J. **El Cerebro**: Manual de Instrucciones. Barcelona, Mondadori, 2002.

RAYNAL, Françoise & RIEUNIER, Alain. **Pedagogía**: diccionario de conceptos

claves 2010

SCHACTER, Daniel L. **Los siete pecados de la memoria**: Cómo olvida y recuerda la mente. Barcelona, Ariel, 2009.

SCHIFF, Michel. **A inteligência desperdiçada**: desigualdade social, injustiça escolar. Porto Alegre, Artes médicas, 1994.

SHATZ, Carla. J. Desarrollo Cerebral. In: **Mente y Cerebro**. Barcelona y Investigación, 1996.

SOPRANO, Ana María & NARBONA, Juan. **La memoria del niño**: Desarrollo normal y trastornos. Barcelona, Elsevier Masson, 2007.

SPREEN, O. RISSER, Anthony H. & EDGELL, Dorothy. **Developmental Neuropsychology**. London, Oxford University Press, 1995.

SUAREZ, Ray. **Bridging the Gap Between Neuroscience and Education**. Denver, Education Commission of the states-ECS, 1996

THOMPSON, P. M., GIEDD, J. N., WOODS, R. P., MACDONALD, D., EVANS, A. C., TOGA, A. W.. Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps. In: **Nature**. 204, 2000. 190 -193.

**White House Conference on Early Childhood Development and Learning**: What new research on the Brain us About Our Youngest children. Disponible en la página [www. whitehouse.gov/WH/New/ECDC](http://www.whitehouse.gov/WH/New/ECDC)