



Universidad Internacional de La Rioja

Facultad de Educación

**Trabajo fin de máster**

# Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas

**Presentado por:** Elena Campo Alonso

**Tipo de trabajo:** Estado de la cuestión

**Directora:** Ingrid Mosquera Gende

**Ciudad:** Bilbao

**Fecha:** 27 de Enero de 2017

## **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio de la actual situación del campo de la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas.

Para alcanzar dicho objetivo, se empleará una metodología que comprenda una cuidadosa revisión bibliográfica y la consulta de algunas de las fuentes más relevantes, recientes y novedosas. En el marco teórico, se estudiará la trayectoria de los campos de la neurociencia y la neurociencia cognitiva, con el fin de dibujar las principales características de ambas disciplinas científicas, conocer su recorrido histórico, su área de investigación y la situación actual. Asimismo, se pondrá el énfasis en conocer el alcance de la neurociencia educativa como nueva disciplina surgida para unir diferentes campos de investigación al servicio de la educación, analizando sus ámbitos de estudio, aportaciones, mitos surgidos y expectativas para el futuro.

A continuación, partiendo de algunos de los factores fundamentales involucrados en el aprendizaje de segundas lenguas y desde la perspectiva de las teorías clásicas, se revisarán las contribuciones y postulados de algunos estudios neurocientíficos realizados específicamente en el área del aprendizaje de segundas lenguas. Se pretende hacer hincapié en señalar aquellos aspectos en los que confluyen o difieren de las teorías clásicas y reparar en aquellas aportaciones de mayor utilidad para la enseñanza de segundas lenguas.

Del presente estudio, se puede concluir que, si bien la neurociencia puede ayudar a corroborar o desmentir determinadas teorías o creencias que se producen en la práctica educativa y dilucidar sobre cómo se producen ciertos procesos de aprendizaje por medio de diversas técnicas de diagnóstico cerebral, lo cierto es que los contextos de las aulas son mucho más complejos. La neurociencia podrá ser de gran ayuda en el futuro, pero todavía se tienen que hacer frente a las limitaciones que existen en la actualidad.

## **PALABRAS CLAVE**

Neurociencia cognitiva, neurociencia educativa, segundas lenguas.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this project is to carry out an investigation about the current situation of the field of cognitive neuroscience in second language acquisition.

In order to achieve this objective, a methodology that comprises a careful bibliographic review and the selection of the most relevant, recent and pertinent sources will be employed. In the theoretical framework, the development of neuroscience and cognitive neuroscience will be studied, so as to draw the main traits of both scientific disciplines, comprehend their historical evolution, learn about their academic scopes and grasp their present state. Additionally, the reach of educational neuroscience as a new scientific domain will be brought into focus. Conceived as a way of uniting several research fields at the service of education, its scope, contributions, mythologies and future expectations will be portrayed.

Then, setting out with the analysis of the major factors involved in second language acquisition and from the perspective of the most renowned classic theories, the most important contributions and hypothesis of a selection of neuroscientific studies will be assessed. The investigation will aim at highlighting their main confluences and divergences with regard to classic theories and outline their most useful proposals to second language teaching.

From this investigation, it can be concluded that, although neuroscience may help to confirm or refute certain theories or beliefs assumed in educational practice, and explain how learning processes take place using novel diagnostic techniques, in practice, classroom contexts are much more complex. Neuroscience may be very supportive in the future, providing that the current limitations are overcome.

## **KEYWORDS**

Cognitive neuroscience, educational neuroscience, second languages.

## ÍNDICE

<b>1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b>	
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Justificación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA EMPLEADA .....</b>	<b>9</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Neurociencia.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Concepto de neurociencia.....	10
3.1.2 Breve historia.....	11
3.1.3 Bases de la neurociencia .....	12
3.1.4 Las funciones del sistema nervioso.....	15
<b>3.2 Neurociencia cognitiva.....</b>	<b>17</b>
3.2.1 Concepto de neurociencia cognitiva .....	18
3.2.2 Bases de la neurociencia cognitiva.....	18
3.2.3 Procesos cognitivos .....	19
3.2.4 Técnicas y métodos de investigación y diagnóstico .....	24
<b>3.3 Neurociencia cognitiva aplicada a la educación.....</b>	<b>26</b>
3.3.1 Una disciplina nueva.....	26
3.3.2 Ámbitos de estudio.....	29
3.3.3 Aportaciones a la pedagogía .....	34
3.3.4 Mitos de la neurociencia educativa.....	36
3.3.5 El futuro de la neurociencia educativa .....	39
<b>3.4 Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas</b>	
<b>lenguas.....</b>	<b>40</b>
3.4.1 Factores fundamentales en el aprendizaje de segundas lenguas .....	41
3.4.2 Principales teorías y paradigmas en el aprendizaje de segundas	
lenguas .....	44

3.4.3	Neurociencia cognitiva: un nuevo enfoque en el estudio del aprendizaje de segundas lenguas .....	47
3.4.4	Aportaciones de los estudios neurocientíficos al aprendizaje y enseñanza de segundas lenguas .....	50
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>LIMITACIONES Y PROSPECTIVA .....</b>	<b>64</b>
6.1	Limitaciones .....	64
6.2	Prospectiva .....	64
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. El cerebro .....	14
Figura 2. La neurona .....	15
Figura 3. Las funciones del sistema nervioso .....	15
Figura 4. La memoria a largo plazo .....	22
Figura 5. Las fases de la neurociencia educativa .....	27
Figura 6. Temas principales en la literatura sobre neuroeducación .....	28

## **1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: OBJETIVOS**

A continuación, se expone la justificación de la elección del tema para el presente trabajo de fin de máster, el planteamiento del problema y los objetivos.

### **1.1 Justificación**

Este trabajo se plantea desde el interés personal de ahondar en las aportaciones que, desde la neurociencia cognitiva, se pueden hacer a la educación y a los procesos de enseñanza-aprendizaje de segundas lenguas. Dichas aportaciones podrían ayudar a enriquecer y facilitar la formación y la labor del docente de segundas lenguas. No obstante, no deben considerarse dogmas indiscutibles, ya que, en la mayoría de los casos, no pueden tener en cuenta los diferentes y variados contextos de las aulas.

### **1.2 Planteamiento del problema**

La neurociencia cognitiva ha experimentado en los últimos años un avance espectacular, depositando una gran parte de sus intereses en el estudio e investigación de procesos cognitivos como el lenguaje, el aprendizaje o la memoria. Estas investigaciones han arrojado luz sobre la manera en que se producen determinados procesos cerebrales que hasta hace poco eran desconocidos.

Como ya se adelantaba en el subapartado anterior, existe una creciente creencia por parte de algunos expertos, tanto educadores como científicos, de que las investigaciones en neurociencia cognitiva pueden ser de utilidad a los intereses educativos, por ello, se ha planteado la necesidad de tender puentes entre estas dos especialidades, de ahí, el surgimiento de la neurociencia educativa como disciplina científica.

Hallazgos recientes en neurociencia cognitiva han sacado a la luz evidencias que pueden contribuir de manera positiva a la mejora de los programas y procesos educativos y a generar un aprendizaje más eficaz por parte de los alumnos. A pesar de ello, siguen existiendo importantes limitaciones para vincular los resultados de muchas de las investigaciones a mejoras o cambios en la práctica educativa real. Con este fin, la neurociencia educativa pretende extraer aquellas aportaciones beneficiosas para las distintas áreas educativas, como por ejemplo, el aprendizaje y la enseñanza de segundas lenguas.

### **1.3 Objetivos**

El objetivo general de este proyecto es realizar un estudio de la actual situación del campo de la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas.

Para ello se intentarán alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un recorrido por los campos de la neurociencia y la neurociencia cognitiva, con el fin de dibujar las principales características de ambas disciplinas científicas.
- Revisar el alcance de la neurociencia educativa como nueva disciplina surgida para unir la neurociencia cognitiva con el campo de la educación.
- Estudiar las aportaciones y postulados de la neurociencia cognitiva en el área del aprendizaje de segundas lenguas.
- Contrastar dichas aportaciones y postulados desde la perspectiva de las teorías clásicas aprendizaje de segundas lenguas, partiendo de los principales factores involucrados su aprendizaje.

## **2. JUSTIFICACIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA EMPLEADA**

La bibliografía utilizada se ha seleccionado de acuerdo con criterios de relevancia y actualidad. Se han intentado escoger aquellas fuentes provenientes de los autores más destacados en cada campo y, considerando que la neurociencia es una disciplina *viva* que evoluciona en poco tiempo de manera notable, a aquellos autores, que se encuentran en la vanguardia de su estudio.

Con este fin, se destaca una búsqueda profusa en publicaciones de investigación, literatura científica y portales de investigación académica. Su selección se ha regido por criterios de pertinencia al objeto de estudio, así como una clara intención divulgativa que sea capaz de trascender el ámbito científico, sin dejar de lado el rigor necesario para ser considerada en un trabajo de este tipo.

Asimismo, además de revisar y extraer las conclusiones más relevantes de las fuentes utilizadas, se pretende realizar, en la medida de lo posible, una evaluación crítica de las principales aportaciones de dichas fuentes.

### **3. MARCO TEÓRICO**

En el marco teórico del presente trabajo, se va a presentar una aproximación a las disciplinas de la neurociencia, la neurociencia cognitiva y la neurociencia cognitiva aplicada a la educación. Posteriormente, se revisarán algunas de las aportaciones realizadas por determinados estudios en neurociencia cognitiva en relación al aprendizaje de segundas lenguas, y se contrastarán con los postulados de las principales teorías clásicas de aprendizaje de segundas lenguas, partiendo del análisis de los factores fundamentales que intervienen en su aprendizaje.

#### **3.1 Neurociencia**

En este apartado se definirá el concepto de neurociencia, se realizará un breve recorrido histórico y se expondrán las bases de esta disciplina. Asimismo, se presentará de manera esquemática el funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso.

##### **3.1.1 Concepto de neurociencia**

Para delimitar el concepto de neurociencia, se ha escogido la siguiente definición: “La neurociencia es el estudio del cerebro y del sistema nervioso, tanto en humanos como en animales y en contextos de enfermedad y de salud” (British Neuroscience Assotiation, s.f.: párr. 1)<sup>1</sup>.

La neurociencia, tal como es entendida en la actualidad, es una disciplina relativamente reciente, que se ha desarrollado de manera portentosa en la última mitad del siglo XX, gracias a las novedosas técnicas de investigación y diagnóstico empleadas y a su carácter de ciencia interdisciplinar. En este sentido, de acuerdo con Cavada (2014):

Hoy estamos en plena revolución de este campo del saber, pues la Neurociencia moderna es el resultado de la convergencia de varias tradiciones científicas: la Anatomía, la Embriología, la Fisiología, la Bioquímica, la Farmacología, la Psicología y la Neurología. Otras disciplinas más modernas, incluyendo las Ciencias de la Computación o la Bioingeniería se han sumado al reto (...). (p. 1)

Por lo tanto, la neurociencia no se considera una única disciplina, sino muchas y tener una perspectiva clara de los orígenes y del desarrollo en cada una de estas áreas, puede ser clave para lograr un mejor entendimiento de los conceptos actuales (Shepherd, 2010).

---

<sup>1</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (British Neuroscience Assotiation, s.f.: párr. 1): “Neuroscience is the study of the brain and nervous system in both humans and non-human animals, and in both health and disease”.

### 3.1.2 Breve historia

De cara a comprender la evolución histórica de esta disciplina, es necesario adelantar que, a lo largo de la historia de la neurociencia, han existido dos grandes debates o problemáticas, cuya discusión perdura hasta la actualidad. En primer lugar, estaría el debate mente-cerebro, cuya discusión reside en la consideración de la mente como entidad separada o unida al cerebro. El segundo gira en torno a la visión localista-holista, es decir, cuestiona si cada función mental reside específicamente en una única área cerebral, o si, por el contrario, el cerebro es responsable, como un todo, de cada función específica (Mangels, 2003; Cavada, 2014; Blanco, 2014).

El nacimiento de la neurociencia moderna data de mediados del siglo XX, sin embargo, los orígenes del estudio del cerebro y de los procesos cognitivos se remontan hasta la época del antiguo Egipto y de la Grecia clásica. Con el fin de hacer un breve repaso a su historia, se van a agrupar los distintos eventos en dos grandes periodos.

El primer período histórico data desde la antigüedad hasta finales del siglo XVIII. El primer escrito médico sobre el cerebro se atribuye a los antiguos egipcios y está fechado en torno a 1700 a.C. (Blanco, 2014). En la Grecia clásica, los filósofos Platón y Aristóteles discrepaban sobre dónde se hallaba la sede de los procesos mentales. El primero creía que se encontraba en el cerebro, mientras que su discípulo pensaba que se hallaba en el corazón y que la función del cerebro era enfriar la sangre calentada por el corazón, lo que dotaba al hombre de su capacidad racional (Mangels, 2003).

En el siglo 2 d. C., el médico romano Galeno postuló que el cerebro era receptor de información sensorial y responsable del movimiento motor del cuerpo. Por medio del sistema nervioso, los fluidos secretados por el cerebro viajaban hacia los músculos y los ponían en movimiento (Gross, 1987). Esta teoría estuvo vigente hasta la época de la Ilustración, respaldada por intelectuales como Descartes, que además defendía que la mente y el cuerpo eran dos entidades totalmente separadas (Hunter, 2009).

En el siglo XVIII se producen dos acontecimientos de gran relevancia. Por un lado, Luigi Galvani descubre que el movimiento de los músculos se produce por estímulos eléctricos, con lo que la teoría propuesta por Galeno queda científicamente descartada (Mangels, 2003). Por el otro, Franz Joseph Gall y su colaborador Johann Spurzheim fundan la frenología e inician el debate localista-holista. La frenología estipulaba que es posible conocer el carácter de una persona conociendo su estructura craneal. Dividieron el cerebro en 35 áreas diferentes y asignaron a cada

área una función cerebral. Según la función que destacara más, suponían que habría un área del cerebro más desarrollada y que sobresaldría modificando la forma del cráneo (Cavada, 2014).

El segundo periodo histórico comprende los siglos XIX y XX. En esta etapa es cuando se producen los hechos que empiezan a dar forma a la neurociencia actual. En el siglo XIX, Johannes Purkinje describe, por primera vez, una célula nerviosa (Mangels, 2003). En este siglo, también, varios descubrimientos hicieron inclinar la balanza hacia la percepción localista del cerebro. En este sentido, el neurólogo Hughlings Jackson, “partiendo de la observación de pacientes epilépticos, (...) dedujo la existencia de una región motora, organizada somatotópicamente, en la corteza cerebral” (Cavada, 2014: p. 3). Asimismo, Pierre Paul Broca demostró que el habla residía en el lóbulo frontal izquierdo, al presentar a varios pacientes con esa zona dañada, que habían perdido la capacidad de hablar. Carl Wernicke, por su parte, presentó las conclusiones de sus estudios, realizados con pacientes que podían hablar pero no entender, y que, en este caso, tenían lesiones en la zona posterior del lóbulo temporal izquierdo. Otros investigadores, tales como Gustav Fritsch, Eduard Hitzig o Korbinian Brodmann, contribuyeron con sus experimentos a apoyar también esta visión (Mangels, 2003; Cavada, 2014).

Además, Santiago Ramón y Cajal, gracias a la técnica de la tinción celular con cromato de plata desarrollada por Camilo Golgi y al desarrollo del microscopio, expuso la doctrina neuronal. Esta teoría, de plena vigencia en la actualidad, establecía que, cada neurona, con sus dendritas y su axon, es una entidad independiente encargada de transmitir los impulsos eléctricos a través del sistema nervioso (Gross, 1987).

En el siglo XX y hasta la actualidad, la neurociencia ha experimentado un gran avance, gracias a la contribución de la neurofarmacología y la bioquímica (Cavada, 2014) y al desarrollo de los equipos de neuroimagen. En cuanto al debate localista-holista, aunque a principios del siglo “dominaron concepciones unitarias de la función cerebral” (Cavada, 2014: p. 3), hoy en día, se tiende más al conectivismo. Esta corriente defiende que las funciones más elementales (por ejemplo, el movimiento) están fuertemente localizadas, mientras que aquellas más complejas (el lenguaje o la memoria) son el resultado de la interconexión de las distintas áreas cerebrales (Mangels, 2003).

### **3.1.3 Bases de la neurociencia**

El objetivo de este subapartado es describir las bases sobre las que se sustenta la neurociencia, que son, el estudio del sistema nervioso y del cerebro. A

modo de puntualización, en el presente trabajo se van a estudiar, exclusivamente, los fundamentos de la neurociencia aplicados a los seres humanos.

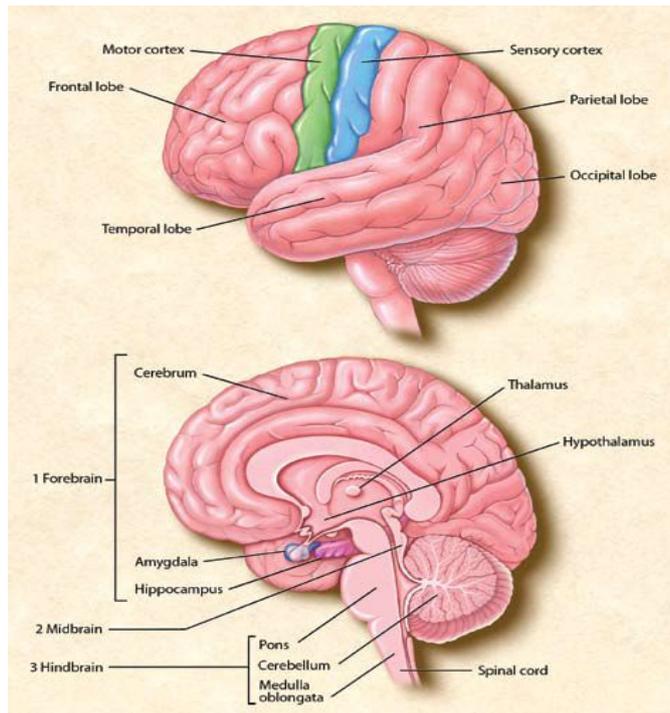
En referencia a su estructura básica, “el sistema nervioso central (...) está compuesto por la médula espinal y el encéfalo. El cerebro envía señales nerviosas a distintas partes del cuerpo, a través de los nervios periféricos, lo que se conoce como sistema nervioso periférico (...)” (Society for Neuroscience, 2016: p. 7)<sup>2</sup>. Este último se compone, por un lado, del sistema somático motor, que conecta los músculos del cuerpo con las células responsables de responder a estímulos, como el tacto o el dolor, para producir el movimiento voluntario. Por otro lado, consta del sistema nervioso autónomo, que es un sistema involuntario, encargado de conectar los órganos internos con el sistema nervioso central. A su vez, este está formado por el sistema simpático, cuya misión es movilizar energía y recursos en momentos de estrés o de alerta, y por el sistema parasimpático, que conserva la energía en momentos de reposo (Society for Neuroscience, 2016).

El encéfalo o cerebro es el órgano principal del sistema nervioso y es lo que diferencia a los seres humanos del resto de especies (Society for Neuroscience, 2012b). Este órgano, de aproximadamente 1,3 kg de peso, es la estructura viva más compleja del universo conocido, y tiene una capacidad de almacenaje y de generación de redes de comunicación mayor que ningún superordenador (Society for Neuroscience, 2012a).

El cerebro consta de tres regiones: el cerebro posterior o rombencéfalo, el mesencéfalo o cerebro medio y el cerebro anterior o prosencéfalo. La parte más grande es el cerebro anterior, a la que se le atribuyen las funciones cerebrales más complejas. Se compone de la corteza cerebral, la amígdala, el hipocampo, el tálamo y el hipotálamo. La corteza cerebral se divide en dos hemisferios asimétricos unidos por el cuerpo calloso y se subdivide en varias secciones o lóbulos, llamados frontal, temporal, parietal y occipital. El cerebro medio está formado por dos pares de colinas o colículos, y está encargado de transmitir información sensorial específica desde los órganos sensoriales al cerebro. El cerebro posterior contiene el cerebelo, que asiste en el control del movimiento y ciertos procesos cognitivos relacionados con el control del tiempo, y el bulbo raquídeo y el puente troncoencefálico (*Pons*), que colaboran con el control de la respiración y el ritmo cardíaco (Society for Neuroscience, 2012b). En la siguiente figura, se puede ver un diagrama ilustrando las distintas zonas cerebrales:

---

<sup>2</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Society for neuroscience, 2016: p. 7): “The (...) central nervous system (...) consists of the brain and the spinal cord. The brain sends nerve signals to specific parts of the body through peripheral nerves, known as the peripheral nervous system (...)”.

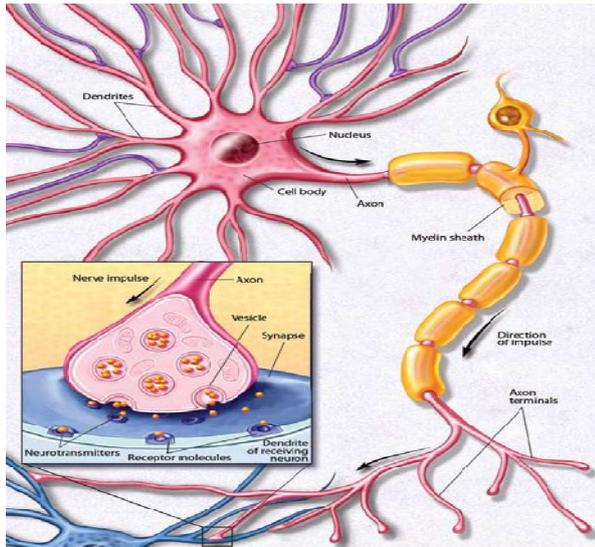


**Figura 1. El cerebro (Society for Neuroscience, 2012b: p. 5)**

El sistema nervioso se compone de aproximadamente 80 billones de neuronas individuales y 1 trillón de células gliales que forman una vasta red de circuitos y sub-circuitos que contienen unos  $10^{14}$  puntos de comunicación (British Neuroscience Association, s.f.). Tal como explica la British Neuroscience Association (2008):

Existen tres tipos fundamentales de neuronas. Las neuronas sensoriales están conectadas con unos receptores especializados en detectar estímulos, internos o externos. (...) Las neuronas motoras controlan la actividad muscular y son responsables de múltiples comportamientos, incluyendo la capacidad de hablar. (...) Las interneuronas intervienen en los reflejos simples, y además, son las responsables de las funciones superiores del cerebro. (p. 2)

La neurona es la unidad de trabajo básica del cerebro. Se compone de un cuerpo celular, que contiene el núcleo y el citoplasma, de las dendritas y del axón. La función de las dendritas es recibir la información transmitida por los axones de otras células, y la del axón, transmitir dicha información a través de sus terminales nerviosos. La actividad de todas las neuronas es de dos tipos: eléctrica y química (British Neuroscience Association, 2008). La siguiente figura sirve para ilustrar las diferentes secciones de la neurona:



**Figura 2. La neurona (Society for Neuroscience, 2012b: p. 7)**

Los puntos de contacto entre neuronas se denominan sinapsis. Las neuronas transmiten la información por medio de impulsos eléctricos que recorren el axón. Al emitir uno de estos impulsos eléctricos, en un momento dado, la carga eléctrica de la neurona cambia repentinamente de negativa a positiva, lo que se conoce como potencial de acción. Al llegar al final del axón, este cambio de voltaje, dispara la emisión de unas sustancias, denominadas neurotransmisores, que son las encargadas de atravesar el espacio inter-sináptico y llegar a los receptores de la célula objetivo (Society for Neuroscience, 2012b).

### 3.1.4 Las funciones del sistema nervioso

En este subapartado, se van a describir, escuetamente, las principales funciones del sistema nervioso en los seres humanos. De cara a abordar esta tarea, se ha realizado el siguiente esquema, basado en la catalogación que hace Belmar (2001):



**Figura 3. Las funciones del sistema nervioso (Belmar, 2001)**

Los sistemas sensoriales se subdividen en: visión, oído, olfato/gusto y tacto/dolor. Tal como explica Belmar (2001: p. 4), “los receptores sensoriales son los órganos capaces de captar los estímulos del medio ambiente (órganos de los sentidos) y del medio interno (receptores viscerales), ambos procesos esenciales para la adaptación y funcionamiento de los organismos”. En los dos casos, se generan señales eléctricas que viajan hacia los centros nerviosos, pero en el primer caso, se tiene conciencia de las sensaciones que generan, mientras que, en el segundo proceso, la conciencia es limitada.

La visión es el sentido más complicado, pero a la vez, el más estudiado, y permite a los seres humanos relacionarse con el mundo que les rodea. La visión de los humanos es binocular y, lo que se percibe por cada campo visual, es procesado en el hemisferio contrario del cerebro. La información recibida discurre por los nervios ópticos, a través de los ganglios geniculados laterales del tálamo y hacia la corteza visual primaria situada en el lóbulo occipital, en la parte posterior del cerebro (Society for Neuroscience, 2012b).

El oído permite a los humanos comunicarse, al percibir sonidos e interpretar el habla, y recibir información clave para la supervivencia. Las señales nerviosas, que le llegan al cerebro desde el nervio auditivo, son procesadas por varios centros cerebrales, antes de llegar finalmente a la corteza auditiva, situada en los lóbulos temporales, donde se percibe e interpreta el sonido. Esto se realiza en ambos lados del cerebro, sin embargo, el área de *Wernicke*, situada en el hemisferio izquierdo, es clave, a la hora de percibir y comprender el lenguaje oral, para la mayoría de las personas (Society for Neuroscience, 2012b).

El olfato y el gusto son dos sentidos que, aunque percibidos en diferentes receptores sensoriales, actúan de manera conjunta, para permitir a las personas distinguir miles de sabores. Los estímulos nerviosos enviados por el bulbo olfatorio se procesan en la corteza olfativa primaria. Las señales enviadas por las papilas gustativas se analizan en diferentes centros del lóbulo temporal y en el tálamo. Ambas informaciones confluyen en la corteza orbitofrontal para formar los sabores (Society for Neuroscience, 2012b).

El tacto se percibe mediante millones de receptores en la piel, que mandan señales al tálamo y a la corteza somatosensorial, a través de la médula espinal. Los receptores de la piel, los mecanorreceptores, no sólo captan el tacto, la temperatura o la posición de un objeto, sino que también perciben el dolor, por medio de un tipo de receptor especial, llamado nociceptor. La corteza somatosensorial hace una representación corporal en función de la información recibida y del número de

receptores que posea la zona de donde proviene la información (British Neuroscience Association, 2008).

Los sistemas motores son aquellos que controlan el movimiento voluntario e involuntario. En el movimiento voluntario, el sistema nervioso central controla la acción de cientos de músculos a través de las neuronas motoras y, a la vez, el *feedback* recibido por los receptores sensoriales de los músculos, con el fin de corregir o adaptar los movimientos producidos. Este movimiento se procesa fundamentalmente en la corteza motora, y por medio de la interacción de otras regiones, como los ganglios basales, el tálamo o el cerebelo. El movimiento involuntario se procesa directamente en la médula espinal (Society for Neuroscience, 2012b).

Los ritmos circadianos marcan los estados de sueño y vigilia en los seres humanos. A lo largo del día, se pasan por tres estados particulares. Según Belmar (2001), la actividad eléctrica del cerebro:

pasa de un período de alta actividad (ondas eléctricas de alta frecuencia aunque de baja amplitud), propias del estado de vigilia, a otro período en el cual las ondas eléctricas se sincronizan y predominan, entonces, ondas lentas características de la etapa de dormir. (p. 127)

Este estado se intercala con etapas de sueño REM y periodos de intensa actividad eléctrica (Belmar, 2001). Los seres humanos pasan aproximadamente un tercio de sus vidas durmiendo, y el sueño es crucial para mantener la concentración, la memoria y la coordinación (Society for Neuroscience, 2012b).

Las funciones superiores del sistema nervioso comprenden los mecanismos más complejos de la mente, como por ejemplo, la memoria, la atención, el aprendizaje, el lenguaje o la percepción. Tal como explica Belmar (2001): “Entender el pensamiento es entender la mente. El pensar tiene que ver con la conciencia, la memoria, el aprendizaje y su estudio y el de esos parámetros acercará a la comprensión de la mente y de la actividad mental” (p. 149). Estas funciones, y otras funciones cognitivas, se estudiarán más a fondo en el siguiente apartado.

### **3.2 Neurociencia cognitiva**

En este apartado se definirá el concepto de neurociencia cognitiva y se explicarán sus bases fundacionales, partiendo de un repaso a su breve historia y de su relación con otras disciplinas. Además, se describirán los procesos cognitivos fundamentales y los principales avances técnicos y métodos de diagnóstico empleados.

### **3.2.1 Concepto de neurociencia cognitiva**

Para entender la neurociencia cognitiva, en el presente trabajo, se va a destacar la definición realizada por Ruiz-Vargas (1999):

(...) la Neurociencia Cognitiva, una empresa que, sirviéndose de las herramientas metodológicas y los marcos teóricos de sus disciplinas constituyentes, la Neurociencia y la Psicología Cognitiva, se ha marcado como objetivo general desarrollar una teoría de la actividad humana basada en las relaciones entre los procesos mentales y la estructura cerebral. (p. 15)

La neurociencia cognitiva está ayudando, también, a esclarecer uno de los grandes debates filosóficos, ya mencionado en un apartado anterior, que acompañan al estudio del cerebro desde los orígenes, la relación mente-cerebro (Redolar-Ripoll, 2014). De hecho, la aparición de nuevas técnicas para estudiar las funciones cognitivas superiores ha supuesto una revolución conceptual en el entendimiento de la conexión entre mente y cerebro, después de que, a lo largo de años de historia, su comprensión haya sido considerada mutuamente irrelevante (Ruz, Acero y Tudela, 2006).

### **3.2.2 Bases de la neurociencia cognitiva**

El término neurociencia cognitiva debe su origen al psicólogo y neurocientífico, Michael Gazzaniga y al psicólogo cognitivo, George A. Miller (Brier, 2009). Entre ambos, escogieron esta nomenclatura, a finales de los años 70, para denominar un nuevo programa de investigación, que tenía como objetivo, estudiar los fundamentos biológicos de la cognición humana, y que unía disciplinas como la neurociencia de sistemas, la neurociencia computacional y la psicología cognitiva. La primera iniciativa, promovida por la *James S. McDonnell Foundation*, que se realizó para impulsar e institucionalizar esta nueva ciencia, fue la celebración en 1988, del primer *Summer Institute in Cognitive Neuroscience*, que reunía a los científicos más renombrados en el campo (Brier, 2009). Desde entonces, se celebra cada año, y cada lustro, se compila un volumen con los artículos de los avances e investigaciones más significativas.

El surgimiento de la neurociencia cognitiva está relacionado con dos logros independientes. Por un lado, la aparición de técnicas de neuroimagen no invasivas, y por el otro, el variado elenco de teorías desarrolladas en más de cinco décadas de psicología cognitiva (Ruz et al., 2006). Tal como comentan Sauleda y Martínez (1995):

La tomografía por emisión de positrones (PET), la formación funcional de imágenes por resonancia magnética (fMRI), la electroencefalografía (EEG), y la magnetoencefalografía (MEG) permiten visualizar la mente en acción, (...) haciendo realidad el sueño utópico de ver la mente en funcionamiento en tiempo real (...). (p. 220)

La psicología cognitiva, como rama de la ciencia cognitiva, se consagra al estudio de la mente, como procesadora de información, y se encarga de construir modelos cognitivos de los procesos que tienen lugar en la mente de los seres humanos (McLeod, 2015). La psicología cognitiva vivió un cambio conceptual a mediados del siglo pasado, al retomar el interés por los procesos internos de la mente humana y con el desarrollo de ordenadores digitales, que supusieron una revolución, en el estudio de los procesos computacionales en personas (Ruz et al., 2006).

Aunque las contribuciones de la neurociencia cognitiva a la psicología y a la ciencia cognitiva también suscitan escepticismo entre algunos autores, lo cierto es que, el estudio de datos biológicos, ya ha permitido comprobar ciertas aportaciones, con evidencias. Entre ellas, la multiplicidad de conjuntos de datos obtenidos, en cada experimento, por parte de las técnicas de neuroimagen, frente a las investigaciones experimentales tradicionales en psicología cognitiva. O, por ejemplo, la resolución de antiguas incógnitas, como el *locus* de selección o la comprobación de que sí se produce un procesamiento inconsciente de la información en los seres humanos (Ruz et al., 2006).

### **3.2.3 Procesos cognitivos**

En el punto 3.1.4, ya se introdujeron las principales funciones del sistema nervioso, entre las que se encuentran, las denominadas funciones superiores. Estas funciones superiores son, principalmente, de tipo cognitivo, y de su estudio se ocupa, entre otras disciplinas, la neurociencia cognitiva.

En este apartado, se va a hacer una aproximación a las principales funciones cognitivas superiores: el lenguaje, el aprendizaje y la memoria, la percepción, la atención, la emoción, la conciencia y las funciones ejecutivas. Pero antes, a modo introductorio, se van a estudiar dos mecanismos o fenómenos de la función cerebral, que son clave para la comprensión del funcionamiento del resto de funciones cognitivas: la plasticidad y el estrés.

Por su parte, la plasticidad consiste en la habilidad del cerebro para cambiar y adaptarse, durante el aprendizaje o como respuesta a cambios en el entorno, y es una de las características más considerables de las funciones cerebrales superiores (Neville y Sur, 2009). Son varios los mecanismos de plasticidad, pero el más relevante es el de plasticidad sináptica, que representa la habilidad de las neuronas de modificar su comunicación entre sí (British Neuroscience Association, 2008). Los estudios sugieren que la plasticidad sináptica tiene dos fases, una de las cuales se produce en la etapa inicial de la sinaptogénesis, durante los primeros estadios del desarrollo. La segunda fase tiene lugar en estadios más avanzados del desarrollo y,

de manera más limitada, a lo largo de la vida adulta, e implica la acomodación a la experiencia, de las conexiones sinápticas ya establecidas (Kandel, 2000a). A través de este mecanismo, y por medio del principio *use it or lose it*, se van eliminando aquellas sinapsis que no se usan o se usan poco, potenciando aquellas más útiles (British Neuroscience Association, 2008). Tal como apuntan Nevile y Sur (2009), las distintas funciones cerebrales tienen variados niveles y periodos de plasticidad máxima y, recientemente, se ha reconocido también, el papel que desempeñan los genes en la neuroplasticidad. Estos periodos de máxima plasticidad están relacionados con los denominados periodos críticos, que son ventanas temporales, en las que el sistema nervioso, debe obtener ciertas experiencias e *inputs* críticos, para desarrollarse adecuadamente; se caracterizan por tasas de alto aprendizaje. Tras estos periodos, las conexiones sinápticas disminuyen, pero las que quedan, son más precisas y fiables (Society for Neuroscience, 2012b).

Por otra parte, de acuerdo con la *Society for Neuroscience* (2012b): “los especialistas ahora definen el estrés como cualquier estímulo externo que amenaza a la *homeostasis* – el equilibrio normal de la función corporal” (p. 31)<sup>3</sup>. El estrés es beneficioso para el cuerpo humano; ante un peligro, el cuerpo se prepara para luchar o huir, y se genera una respuesta fisiológica, que provee de la energía y fuerza extra necesarias, para restablecer el equilibrio. Sin embargo, el estrés, durante periodos prolongados, produce respuestas fisiológicas repetidas, que, a veces, no se desconectan cuando ya no son necesarias. Esto puede perjudicar el equilibrio bioquímico del cuerpo y desencadenar una serie de enfermedades, por ejemplo, problemas cardiovasculares, tensión elevada, obesidad, depresión, problemas de memoria o aceleración del envejecimiento. Hoy en día, las fuentes de estrés son fundamentalmente de base psicológica y social, pero muy abundantes, debido a las características de una sociedad cada vez más compleja (Society for Neuroscience, 2012b).

Habiendo visto ya los mecanismos de plasticidad y estrés, se va a realizar una breve descripción de las principales funciones cognitivas superiores. Las operaciones cerebrales responsables de estas habilidades cognitivas ocurren, fundamentalmente, en la corteza cerebral, la materia gris llena de surcos que recubre los dos hemisferios y que se divide en cuatro lóbulos con funciones especializadas (Kandel, 2000b).

La primera función a destacar es la percepción, que se manifiesta de diversas formas: visual, auditiva, gustativa, olfativa y táctil. Por medio de esta función, la

---

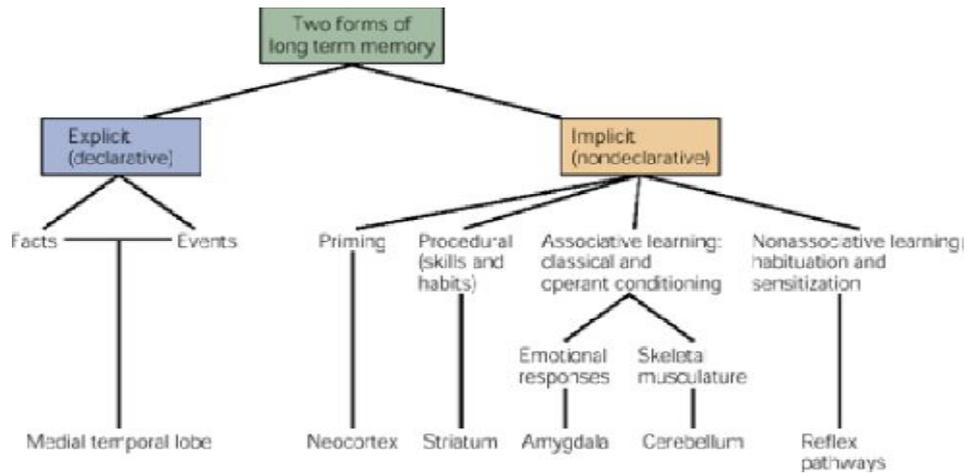
<sup>3</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Society for neuroscience, 2012b: p. 31): “Specialists now define stress as any external stimulus that threatens homeostasis – the normal equilibrium of body function”.

información que se recibe desde los órganos sensoriales, es reconstruida para elaborar una representación interna del objeto. Se analizan las diferentes características de los objetos, olores, sonidos o alimentos (forma, movimiento, color, tacto, timbre, tono, acidez, etc.) y se reúnen en un todo, de acuerdo con la interpretación de los circuitos neuronales (Belmar, 2001). La percepción y la sensación tienen una estrecha relación con la cognición, ya que, estas proveen de información a la cognición y, a su vez, esta trabaja dentro de los límites marcados por la percepción (Movshon y Wandell, 2009).

En segundo lugar, se van a describir las funciones del aprendizaje y la memoria, los dos mecanismos más importantes, mediante los cuales el entorno es capaz de modificar la conducta. La conducta se define, por lo tanto, como el resultado de la interacción entre estímulos ambientales y genéticos (Belmar, 2001; Iversen, Kupfermann y Kandel, 2000b). Mediante el aprendizaje, se adquiere la información, que posteriormente se va a almacenar en el cerebro, y la memoria, se encarga del proceso de retención, almacenaje y recuperación de los contenidos almacenados (Belmar, 2001; Cumpa, 2004).

A raíz de los estudios realizados por Scoville y Milner en los años 50 (Schacter, 2009), en el paciente denominado HM, después de la resección bilateral del lóbulo temporal medial, incluyendo el hipocampo y la región parahipocampal, a causa de una epilepsia severa, se descubrió que, estas zonas son esenciales en el proceso de transformar la memoria a corto plazo, en memoria a largo plazo. El paciente HM, después de la cirugía, mantuvo intacta su memoria de trabajo y su memoria a largo plazo, sin embargo, sufría una severa amnesia, al no ser capaz de transformar las nuevas experiencias en memorias permanentes (Schacter, 2009).

Cuando se tienen nuevas experiencias, la información entra inicialmente en la memoria de trabajo, cuyo procesamiento se realiza en la corteza prefrontal. La capacidad de recuperar recuerdos permanentes se conoce como memoria a largo plazo, que se subdivide en memoria explícita o declarativa (aquella encargada de los hechos y eventos de todos los días) y la memoria implícita o no declarativa (relacionada con las habilidades motoras, los reflejos, las respuestas emocionales, etc.). La memoria declarativa puede ser semántica (datos y hechos) o episódica (experiencias personales). Los estudios realizados en pacientes con amnesias demuestran que existen diferentes sistemas y regiones cerebrales encargados de los distintos tipos de memoria (Society for Neuroscience, 2012b). A continuación, se presenta un esquema de los tipos de memoria a largo plazo y las localizaciones del cerebro a las que se asocian:



**Figura 4. La memoria a largo plazo (Iversen et al., 2000b: p. 1232)**

La tercera función a revisar es el lenguaje, que es una de las habilidades humanas más destacables, y constituye un complejo sistema, que involucra muchos elementos. Aún no se comprenden íntegramente las bases neurales del lenguaje, aunque, en las últimas décadas, se ha llegado a averiguar mucho, mediante el estudio de la afasia, que es un síndrome que abarca diversos trastornos del lenguaje, y también, mediante el uso de las nuevas técnicas de neuroimagen. Anteriormente, se pensaba que todos los aspectos del lenguaje estaban gobernados por el hemisferio cerebral izquierdo. Sin embargo, ahora se sabe que, para el reconocimiento de sonidos y palabras, se usan los lóbulos temporales derecho e izquierdo, que el habla está fuertemente dominada por el hemisferio izquierdo, aunque también involucra zonas cerebrales posteriores, o que, existe un circuito sensoriomotor en el lóbulo temporal posterior, que se encarga de hacer de puente entre el reconocimiento y la producción del habla (Society for Neuroscience, 2012b).

Habitualmente, al referirse al lenguaje, se suelen englobar otras habilidades cognitivas que no son estrictamente lenguaje, no obstante, tal como indican Dronkers, Pinker y Damasio (2000), “el lenguaje es la habilidad de codificar ideas en señales y debe distinguirse del pensamiento, de la alfabetización y de su uso correcto” (p. 1170)<sup>4</sup>. Además, la capacidad cognitiva del lenguaje no es ni estrictamente innata o ni completamente adquirida. El aprendizaje tiene un papel destacado, por lo tanto, se podría decir que, lo que es innato, es la capacidad de aprender lenguaje (Dronkers, Pinker y Damasio, 2000).

En cuarto lugar, se presenta la función de la atención, que consiste en dar un enfoque preferente a un *input* sensorial, en detrimento de otros estímulos. Este mecanismo, estrechamente ligado al proceso de percepción, en particular a la

<sup>4</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Dronkers, Pinker y Damasio, 2000: p. 1170): “Language is the ability to encode ideas into signals and must be distinguished from thought, literacy, and correct usage”.

percepción visual, es un elemento indispensable de la conciencia (Belmar, 2001). De acuerdo con Redolar-Ripoll (2014), hay tres subsistemas atencionales: el control ejecutivo, la orientación atencional y la alerta. Existen varias regiones involucradas en el control de la atención, en particular, amplias zonas subcorticales y de los lóbulos frontal y parietal (Luck y Mangun, 2009).

En quinto lugar, se describirá la función de la emoción. Los procesos emocionales son utilizados por el cerebro, para solucionar los problemas que se encuentran en el camino hacia una adaptación social apropiada. A su vez, la mayor parte de los problemas de adaptación, tienen como origen la interacción con otros seres humanos. Por medio de esta interacción, se producen las emociones, que sirven como guía para el establecimiento de normas de conducta comunes y para garantizar una convivencia satisfactoria (Heatherton y LeDoux, 2009). Los estados emocionales tienen dos componentes diferenciados, por un lado, está la sensación física que se produce, y por el otro, el sentimiento consciente. Estos estados están mediados por una serie de respuestas de tipo periférico, autónomo, endocrino y musculoesquelético, y también involucran a elementos subcorticales como la amígdala, el hipotálamo o el tronco cerebral. El sentimiento consciente se procesa en áreas de la corteza cerebral de los lóbulos frontales y en la corteza cingulada (Iversen et al., 2000a).

En sexto lugar, se revisará la función de la conciencia, cuya naturaleza continúa siendo una parte central del debate mente-cerebro, vigente desde hace tantos años (Koch, 2009; Sapper, 2000). Actualmente, se define como la propiedad de percibirse a uno mismo y su lugar en el entorno. Científicamente, es una propiedad es muy difícil de medir (Sapper, 2000). El estudio de este mecanismo, desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva, es relativamente reciente y, sólo en los últimos años, se han venido realizando investigaciones, para determinar las bases neurales de la conciencia. Hoy en día, sigue siendo un misterio, pero se barajan algunas hipótesis, como la Teoría Biológica, que postula que la conciencia surge de los elementos neuronales del cerebro (Koch, 2009).

Por último, se abordarán las funciones ejecutivas superiores, que engloban una amplia variedad de procesos, mediante los cuales, se utiliza el fruto de las habilidades cognitivas básicas para generar otros conceptos, razonamientos y decisiones, que permitan interactuar con el mundo (Phelps, 2009). Las funciones ejecutivas incluyen la planificación, el razonamiento hipotético-deductivo, el juicio o la resolución de problemas y, en su mayor parte, son responsabilidad del área de asociación anterior situada en la corteza prefrontal (Sapper, Iversen y Frackowiak, 2000).

### 3.2.4 Técnicas y métodos de investigación y diagnóstico

Los métodos de investigación en neurociencia cognitiva son muy variados, aportan conclusiones a distintos niveles y proporcionan resoluciones muy distintas en las dimensiones espacial y temporal. Siguiendo la clasificación de Pereyra (2011), los que se usan en la actualidad se pueden agrupar, fundamentalmente, en tres grandes categorías.

En primer lugar, se presentan los métodos de la neuropsicología cognitiva. En los años anteriores a la década de los 50, la ciencia cognitiva no disponía de técnicas que permitieran medir o registrar la actividad cerebral, a la vez que ejecutaba una tarea. A pesar de ello, la disciplina requería de un trasfondo teórico y, por ello, después de años de investigación, se han llegado a postular teorías que explican cómo los humanos representan y procesan la información, de manera independiente al ámbito biológico (Ruz et al., 2006).

Según informa Pereyra (2011), el método más relevante de la neuropsicología cognitiva, es el método lesión, que “tiene como objetivo predecir, (...), el patrón de alteración en algún aspecto de una ejecución cognoscitiva o conductual y, a la inversa, predecir el sitio de lesión a través de la sintomatología clínica” (Pereyra, 2011: p. 118). Otros métodos de uso actual de esta disciplina son los estudios experimentales con animales y humanos, los métodos psicométricos y los estudios de grupo y de caso. De acuerdo con Bunge y Kahn (2009), una ventaja de algunos métodos neuropsicológicos es que, al contrario que los métodos de neuroimagen, sí pueden demostrar la necesidad de una región cerebral concreta en un proceso cognitivo determinado.

En segundo lugar, están los métodos de registro electrofisiológico, que comenzaron a utilizarse en el siglo XVIII y que consisten en “determinar las propiedades eléctricas que se propagan a lo largo de las células excitables” (Pereyra, 2011: p. 2). Las técnicas más comunes de registro electrofisiológico son las de registro intracelular, los registros en microáreas de membrana (*Patch Clamp*) y las técnicas de registro extracelular, entre las que se encuentran, el registro de potenciales de campo, el electroencefalograma (EEG), el electrocardiograma (ECG), el electromiograma (EMG) y la magnetoencefalografía (MEG) (Pereyra, 2011).

No todos los métodos de registro electrofisiológico pueden aplicarse en humanos, por ser muy invasivos, y deben reservarse para la experimentación con animales (Pereyra, 2011). No obstante, de entre los que sí se utilizan en humanos, el EEG (mide la actividad eléctrica) y el MEG (mide el campo magnético de la actividad eléctrica) proporcionan información importante acerca de los mecanismos cerebrales, gracias a una excelente resolución temporal, ya que miden directamente

la actividad neuronal en tiempo real, a pesar de que la resolución espacial sea muy baja (Bunge y Kahn, 2009). De acuerdo con Pereyra (2001), “lo interesante de los métodos electrofisiológicos es que la misma información puede ser analizada de dos formas diferentes: en el dominio del tiempo (...) y en el dominio de la frecuencia (...)” (p. xi). Los potenciales relacionados con eventos (PRE) son una variante del EEG, que permiten visualizar ventajas incrementadas en la resolución temporal, a costa de la espacial (Pereyra, 2011).

En tercer lugar, tal como ya se apuntaba en apartados anteriores, la verdadera revolución de la neurociencia cognitiva ha venido de la mano del desarrollo, en la segunda mitad del siglo XX, de los métodos de neuroimagen. Dentro de este grupo, se han desarrollado numerosas técnicas con propiedades distintas, aunque, como características generales, se puede decir que tienen un coste relativamente alto y una óptima resolución espacial. Sin embargo, “estos métodos no miden directamente la actividad cerebral, sino los cambios en el flujo y la oxigenación sanguíneos que se asumen como sinónimos de aquella” (Pereyra, 2001: p. 42) y, por consiguiente, no proporcionan información directa sobre los procesos cognoscitivos (Pereyra, 2011). A pesar de esto, tienen una serie de ventajas respecto a otros métodos tradicionales: no dependen de la respuesta conductual, permiten identificar de manera exhaustiva el circuito neural de un proceso cognitivo y no dependen de un número limitado de pacientes (Bunge y Kahn, 2009).

A continuación, se van a indicar las principales técnicas de neuroimagen usadas en la actualidad (Society for Neuroscience, 2012b):

- PET: La tomografía por emisión de positrones consiste en inyectar en la sangre un isótopo radiactivo débil y medir la radioactividad que emiten los positrones al descomponerse en el cerebro. Esta técnica es muy útil para analizar el papel de los neurotransmisores, aunque tiene un coste considerablemente más alto y es algo más invasiva.

- RMN: La resonancia magnética nuclear proporciona nítidas imágenes tridimensionales del interior del cuerpo, sin necesidad de usar radiación u otros métodos invasivos.

- RMf: La resonancia magnética funcional combina la gran resolución espacial de la RMN con la capacidad de detectar los parámetros que se producen con la actividad neuronal. Al combinar una alta resolución espacial y una mejorada resolución temporal, suele ser la técnica preferida en neurociencia cognitiva.

- EMT: La estimulación magnética transcraneana consiste en emitir impulsos electromagnéticos en el cerebro para investigar la actividad de determinadas regiones cerebrales durante las conductas.

- NIRS: La espectroscopia del infrarrojo cercano consiste en iluminar el cráneo con luz láser en la frecuencia del infrarrojo cercano, para observar las diferencias en la reflexión de luz, de los vasos que contienen sangre oxigenada y de aquellos que ya han consumido su oxígeno.

Además de estos métodos, los nuevos estudios en diagnóstico genético están ayudando a localizar los genes responsables de ciertas enfermedades neurológicas y psiquiátricas, contribuyendo a adelantar y mejorar los diagnósticos (Society for Neuroscience, 2012b).

### **3.3 Neurociencia cognitiva aplicada a la educación**

En el primer subapartado, se definirá la neurociencia cognitiva aplicada a la educación o neurociencia educativa y se explicará brevemente su origen y objeto de estudio. Seguidamente, se describirán los principales ámbitos de estudio de la disciplina. En los subapartados 3.3.3 y 3.3.4, se revisarán las aportaciones más concluyentes y relevantes de la neurociencia educativa a la pedagogía, y, por otro lado, aquellas aportaciones en falso o *neuromitos* más extendidos en la práctica educativa. Para concluir, se describirán las oportunidades, retos y limitaciones a los que se enfrenta esta nueva disciplina en el futuro.

#### **3.3.1 Una disciplina nueva**

La neurociencia educativa es una disciplina muy joven, surgida hace menos de 20 años, con el fin de acercar las investigaciones en neurociencia cognitiva a la educación. Para delimitar el marco de esta nueva ciencia, se ha escogido la siguiente definición aportada por *The Royal Society* en un informe:

La educación trata de promover el aprendizaje y la neurociencia trata de entender los procesos mentales involucrados en el aprendizaje. Esta base común apunta a un futuro en el que la práctica educativa pueda ser transformada por la ciencia, de la misma manera que transformó la práctica médica hace un siglo. (The Royal Society, 2011; citado en Centre for Educational Neuroscience, s.f.: párr. 1)<sup>5</sup>

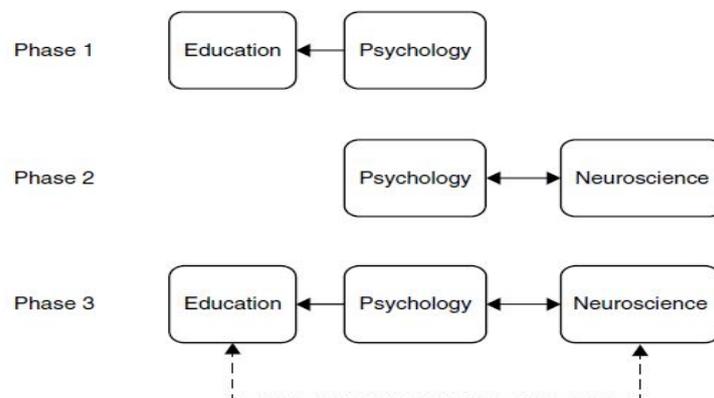
Según apuntan Butterworth y Tolmie (2014), el objetivo de la neurociencia aplicada a la educación es conseguir que los estudiantes logren un aprendizaje más eficaz y consigan alcanzar su potencial de aprendizaje. Con este propósito en mente, la ciencia educativa ya se había venido preguntando por los mejores contextos de

---

<sup>5</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (The Royal Society, 2011; citado en Centre for Educational Neuroscience, s.f.: párr. 1):

Education is about enhancing learning, and neuroscience is about understanding the mental processes involved in learning. This common ground suggests a future in which educational practice can be transformed by science, just as medical practice was transformed by science about a century ago.

aprendizaje y por el origen de las diferencias individuales en el aprendizaje. Para poder responder a estas preguntas, la neurociencia educativa ha ido evolucionando a lo largo de distintas fases, tal como se puede ver en la siguiente figura:



**Figura 5. Las fases de la neurociencia educativa (Butterworth y Tolmie, 2014: p. 2)**

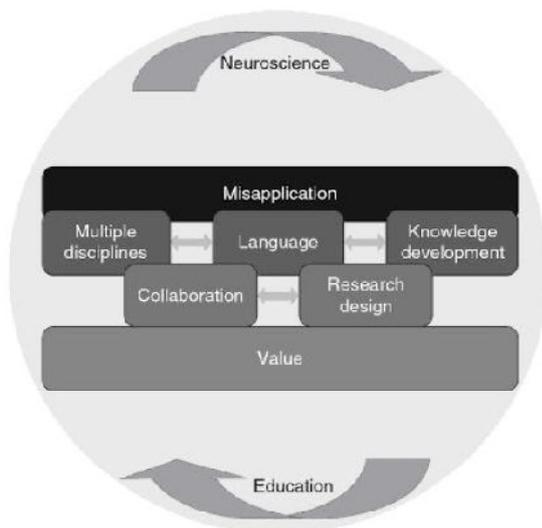
En una primera fase, la investigación educativa cooperó de manera amplia con la psicología para intentar dar respuesta a las incógnitas planteadas. Posteriormente, se inició una fase de colaboración entre la neurociencia y la psicología cognitiva, en cuestiones educativas y en otras de índole más general, dando lugar a la neurociencia cognitiva. En la actualidad, la neurociencia educativa, se hallaría en la tercera fase, en la que se pretende una interacción directa entre neurociencia y educación, para servir a los propósitos educativos antes mencionados (Butterworth y Tolmie, 2014).

A pesar de esto, no existe consenso sobre cómo se ha de articular la relación entre la neurociencia y la educación, ni sobre cuáles pueden ser, si las hay, las verdaderas aportaciones de la neurociencia a la práctica educativa. Por ejemplo, hay muchos autores que creen que, una relación directa, sin ser mediada por otra disciplina, no es posible. Como es el caso de Bruer (1997), que afirma que, sólo la psicología cognitiva, a través de su relación, bien asentada, con la ciencia educativa, y de su relación, más incipiente, con la neurociencia, tiene la capacidad de hacer de nexo de unión entre educación y neurociencia. De la misma opinión son Anderson y Della Sala (2012), que creen que la brecha entre neurociencia y educación no puede ser llenada por la interacción entre profesores y neurocientíficos, sino por el desarrollo de una educación basada en evidencias en cuya base esté la psicología cognitiva.

Por otra parte, aunque parece que, en general, existe un interés floreciente por estudiar los postulados de la neurociencia educativa y sus posibles contribuciones, tanto por parte de los ámbitos político y académico, como del ámbito más popular, no todo el mundo comparte el mismo entusiasmo. Por ejemplo,

el simposio sobre educación temprana y desarrollo cerebral, celebrado en Santiago de Chile en 2007, condujo a 136 de los científicos participantes a firmar una declaración, en la que manifestaron que la neurociencia no está, actualmente, en condiciones de proporcionar una guía científica a la política y práctica educativas y tampoco a las familias (Howard-Jones, 2014b).

De cara a visualizar un panorama general sobre la nueva disciplina, es muy interesante la lectura del artículo publicado por Beauchamp y Beauchamp (2012), que pretende realizar una revisión sistemática de la literatura publicada acerca de la relación entre neurociencia y educación, desde 1970 a 2011, y extraer los temas centrales de dichas publicaciones y las perspectivas de los principales autores en el campo. Tras el análisis, agrupan los temas en varias categorías, dando lugar al esquema temático que se presenta a continuación:



**Figura 6. Temas principales en la literatura sobre neuroeducación (Beauchamp y Beauchamp, 2012: p. 17)**

El tema que definen como *Misapplication* se refiere a la creencia, por parte de numerosos científicos, de que las investigaciones en neurociencia han sido malinterpretadas y simplificadas en exceso por parte de la comunidad educativa. Esta cuestión está presente en un 49% de las publicaciones analizadas. Se sugieren tres posibles orígenes de esta incorrecta aplicación. En primer lugar, la nueva disciplina involucra a varias áreas científicas, cada una con sus teorías, postulados, historia y filosofía (41% de las obras). En segundo lugar, se refieren al diferente lenguaje de comunicación que emplean cada una de estas disciplinas (34% de las obras). Por último, se alude al desarrollo del conocimiento, en referencia a las brechas de conocimiento existentes entre las dos disciplinas (28% de los trabajos) (Beauchamp y Beauchamp, 2012).

En el lado positivo de la balanza, se encuentran los temas agrupados bajo el epígrafe *Value*, que aglutina a todos aquellos autores y trabajos (43% de la literatura), que creen en una relación provechosa y útil entre neurociencia y educación. En este sentido, se posicionan también aquellos autores que apoyan el desarrollo de una relación de colaboración entre científicos y educadores (36% de las obras) y aquellos que creen conveniente promover una mayor implicación por parte de los educadores en el diseño de investigaciones (16% de las publicaciones) (Beauchamp y Beauchamp, 2012).

### **3.3.2 Ámbitos de estudio**

La neurociencia aplicada a la educación se sustenta en la investigación y el estudio de determinados procesos cognitivos que pueden ser de utilidad para la comprensión y mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje. En este subapartado, se van a revisar las siguientes áreas de estudio, que se consideran fundamentales: desarrollo cerebral, lenguaje y lectura, atención y control ejecutivo, capacidad matemática y emoción.

En primer lugar, el conocimiento de cómo y en qué fases se desarrolla el cerebro, es clave para la comprensión de la mayoría de los procesos cognitivos. Al nacer, un niño posee una vasta red de conexiones neuronales o sinapsis, pero durante la infancia, se pierden un 50% de ellas, por medio de procesos de muerte neuronal y poda sináptica (Anderson y Della Sala, 2012). Esta tendencia se va agudizando hasta la etapa adulta. No obstante, se ha demostrado que, mediante el mecanismo de plasticidad neuronal, que ya se mencionó en apartados anteriores, la generación de nuevas sinapsis se sigue produciendo durante toda la vida, aunque, cada vez a un ritmo más lento. Esta habilidad permite que sean los propios aprendizajes, tanto formales como no formales, los que den forma a la arquitectura cerebral. De esta manera, cuanto más se aprenda, en la actualidad, en un área determinada, mayor podrá ser el aprendizaje potencial futuro en ese mismo área (Hinton, Fischer y Glennon, 2012).

Este mecanismo está también relacionado con los denominados periodos críticos, que alimentan, precisamente, uno de los mitos más extendidos en neurociencia cognitiva. De acuerdo con Goswami (2006), los periodos críticos se habrían interpretado, erróneamente, como ventanas de oportunidad, en las que se deben recibir unos estímulos concretos, para generar determinados aprendizajes, tras lo cual se cierran. Ahora se los prefiere denominar periodos sensibles, ventanas de tiempo durante las cuales, determinados aprendizajes son más sencillos, y

aunque no sean imposibles más adelante, generalmente requerirán más esfuerzo (Anderson y Della Sala, 2012).

Otro factor a considerar en el curso del desarrollo cerebral es la influencia genética. Los genes son responsables de importantes diferencias individuales en cuanto a habilidad y predisposición para afrontar determinados aprendizajes. No obstante, la interacción con el mundo y las experiencias derivadas de esa interacción, podrán determinar si la predisposición genética se refuerza o se contrarresta. Lo que parece estar claro es que, el conjunto de capacidades innatas y su interacción con las experiencias, hace que cada estudiante tenga un perfil único y complejo de fortalezas y debilidades (Hinton et al., 2012).

Por último, además de la plasticidad, en la adolescencia se da también, un segundo proceso de desarrollo cerebral, denominado mielinización. Significa que los axones se recubren de una sustancia llamada mielina, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia y la rapidez de la comunicación neural (Howard-Jones, 2007).

En segundo lugar, se van a exponer algunas de las principales averiguaciones realizadas por la neurociencia cognitiva, en relación a dos procesos cognitivos clave en la enseñanza-aprendizaje, el lenguaje y la lectura. Hoy en día, parece estar demostrado, que la capacidad humana del lenguaje tiene una clara base biológica de reciente evolución y que, en la herencia genética que reciben los seres humanos, se encuentra un fuerte instinto para adquirir el lenguaje, corroborando las teorías, acerca de la adquisición del lenguaje, realizadas por Noam Chomsky (Fitch, 2009; Hinton et al., 2012; Kuhl, 2009) a finales de los 50. En palabras de Fitch (2009): “Los seres humanos (...) son únicos en muchos aspectos, pero el lenguaje es la joya de la corona cognitiva” (p. 873)<sup>6</sup>.

Aunque la base neural del lenguaje aún no se comprende completamente, se ha averiguado, por medio de estudios conductuales, y se ha corroborado más adelante por medio de estudios con PRE, que los niños nacen con una capacidad universal para aprender cualquier lengua. Esta capacidad natural se ve fuertemente alterada por la experiencia, y ya desde los 6 meses de edad se empieza a modificar, produciéndose un fenómeno, denominado compromiso neural con la lengua materna. Este fenómeno viene a significar, que los circuitos neurales específicos del lenguaje se especializan altamente en el idioma materno u otros idiomas a los que se ha sido expuesto y que, ya desde el año de edad, la capacidad universal para el lenguaje se pierde (Kuhl, 2009).

---

<sup>6</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Fitch, 2009: p. 873): “Humans (...) are unique in many ways, but language is the jewel in our cognitive crown”.

La primera destreza que se pierde, y que experimenta su punto óptimo desde el nacimiento hasta el año de edad, es la que permite distinguir cualquier sonido. De 1 a 3 años, el aprendizaje de la gramática de una lengua extranjera se sigue procesando de la misma manera que en el cerebro de los hablantes nativos. A partir edades más avanzadas, el cerebro debe recurrir a circuitos neuronales alternativos, que no han sido genéticamente determinados para este fin. Pero, a pesar de las evidencias, esto no significa que no se pueda aprender un idioma de manera correcta a lo largo de la vida, particularmente si se dan condiciones de inmersión lingüística. Y además, es necesario tener en cuenta, que las diferencias individuales también van a determinar, en gran medida, la duración y el grado de estos periodos sensibles y, por consiguiente, la capacidad particular de cada persona para aprender idiomas (Hinton et al., 2012).

En lo referente al procedimiento de la lectura, y aunque todavía se sigue investigando para esbozar correctamente la base neural, se sabe que se procesa en las áreas cerebrales genéticamente destinadas al lenguaje (Hinton et al., 2012). En concreto, por medio de la interacción entre las áreas encargadas de la producción y comprensión del lenguaje y dos componentes del sistema visual, el área ventral occipitotemporal y la región dorsal occipitoparietal (Cohen y Dehaene, 2009).

La lectura, al igual que las matemáticas, es producto de una evolución cultural relativamente reciente, por lo que, contrariamente a la función del lenguaje, forjada por millones de años de evolución biológica, no tiene una base genética. Por este motivo, no existe ningún área cerebral que se dedique a procesar en exclusiva la lectura, al contrario, el cerebro debe acomodar la región del lenguaje y reclutar otras áreas adicionales para este fin (Hinton et al., 2012).

Diferentes mecanismos neuronales se pueden evidenciar, por ejemplo, al comparar los procesos de aprendizaje de la lectura en distintos idiomas. De acuerdo con la teoría de la doble ruta (Anderson y Della Sala, 2012; Hinton et al., 2012), para lograr la lectura y comprensión de palabras completas, se puede utilizar, bien la ruta fonológica, que consiste en la conversión de grafemas a fonemas, o bien, la ruta visual, que implica el reconocimiento visual de la palabra completa y su transferencia directa a significado. En idiomas como el inglés, que tiene una correspondencia inconsistente entre grafema y fonema, lo más eficiente, es utilizar una combinación de ambas rutas. Por el contrario, en idiomas como el español o el italiano, con una fuerte correspondencia entre grafema y fonema, es más eficiente utilizar la ruta fonológica. De acuerdo con Hinton et al. (2012), una implicación de esta teoría es que al aprender una lengua extranjera, un estudiante usará los mismos

mecanismos que ha construido para leer en su lengua materna, por lo que habrá que tenerlo en cuenta para adaptar las técnicas de instrucción de lectura.

Son muy interesantes, también, los avances realizados en torno al origen de la dislexia, que es un trastorno que afecta a la lectura y a la escritura, en ausencia de déficits visuales, neurológicos o psiquiátricos. Desde hace tiempo, sin embargo, se ha creído que se originaba debido a un sutil trastorno del lenguaje, denominado déficit fonológico. Algunos estudios en neurociencia realizados en los últimos años, aunque no son concluyentes, consideran que la dislexia está relacionada con interrupciones de la migración neuronal, que se acumularían, en determinados individuos, en la región perisilviana izquierda, vinculada al procesamiento fonológico y verbal y utilizada en el proceso de lectura. Al parecer, algunas personas poseen determinadas variantes de algunos genes, que tenderían a incrementar dichas interrupciones en la migración neuronal (Ramus y Fischer, 2009). Esto implica que, en el futuro, y al mejorar las técnicas de estudio y la comprensión de la dislexia, pueda ser posible identificar a aquellos niños en riesgo de padecer el trastorno y permitir una intervención mucho más temprana (Howard-Jones, 2007).

En tercer lugar, estudios recientes han demostrado, que los seres humanos nacen con circuitos neuronales específicos, que les permiten manifestar un sentido numérico. La gestión de esta capacidad está relacionada con áreas de la corteza parietal, prefrontal y cingulada y con el segmento horizontal del surco bilateral intraparietal (Goswami, 2006). A pesar de esto, las matemáticas, al igual que la lectura, son una creación cultural, que se genera en el cerebro por medio de la interacción entre la experiencia y la biología. Por este motivo, al aprender matemáticas, el cerebro debe recurrir a áreas cerebrales adicionales, que sean lo suficientemente plásticas como para transformarse a partir de la experiencia (Hinton et al., 2012).

Según Goswami (2006), investigaciones neurocientíficas realizadas en personas con dificultades aritméticas o discalculia han indicado anomalías parietales, por lo que, se establece una relación causal entre anatomía cerebral y comportamiento, que podría ser útil para valorar o predecir posibles dificultades en este área del aprendizaje. Además, de acuerdo con Hinton et al. (2012), los resultados de determinados estudios, realizados en pacientes con daño parietal, han revelado dos principios acerca del aprendizaje matemático. Por un lado, que las matemáticas se pueden disociar, al menos en parte, de otro tipo de capacidades cognitivas, lo que apoyaría la teoría de inteligencias múltiples de Gardner (Hinton et al., 2012). Y por otro lado, que las diferentes destrezas matemáticas, también se

pueden separar unas de otras. Esto plantea una incógnita acerca de cómo se deben ser evaluadas las competencias matemáticas de los alumnos.

En cuarto lugar, conocer los avances en neurociencia educativa en el área de la atención y el control ejecutivo es clave para tener una mejor comprensión y poder mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. La atención está vinculada con las habilidades de discriminación de estímulos, anticipación y resolución de conflictos (Goswami, 2006). El control ejecutivo, gestionado por la corteza prefrontal, tiene como misión la fijación de objetivos, la selección óptima de estrategias de aprendizaje, la monitorización de los progresos y la valoración de resultados (Fuster, 2008; citado en Hinton et al., 2012).

Siguiendo a Goswami (2006), todos los niños manifiestan, en momentos determinados, dificultad para mantener la atención y controlar los impulsos, y podrían beneficiarse de los programas de entrenamiento cognitivo que están siendo investigados en la actualidad. Los sistemas de autocontrol y de inhibición de impulsos no terminan de desarrollarse, ni estructural ni funcionalmente, hasta avanzada la década de los veinte. No obstante, existen diferencias individuales importantes, que perduran durante toda la vida. En este sentido, varios estudios realizados en niños de 3 años han revelado, que una mejor capacidad para resistirse a la tentación y optar por recompensas aplazadas sugiere mayores logros académicos en el futuro (The Royal Society, 2011).

Sin embargo, los niños que padecen Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), que tiene una incidencia de entre 3-6% de la población escolar, manifiestan una conducta generalizada que se caracteriza por la impulsividad, la falta de atención y la hiperactividad. En los últimos años, la prescripción del medicamento Ritalin para tratar este trastorno se ha disparado. No obstante, no debería ser considerado, en exclusiva, un problema médico, ya que la escolarización y determinadas prácticas en la enseñanza tienen un efecto muy positivo en estos menores (Howard-Jones, 2007). Asimismo, aunque la base neural del trastorno no se entiende del todo aún, de acuerdo con *The Royal Society* (2011), la neurociencia es capaz de proporcionar evidencias que demuestran diferencias biológicas entre los niños que padecen TDAH y otros. A pesar de esto, es preciso tener en cuenta, que hoy en día se puede estar produciendo un sobrediagnóstico, ya que se utilizan únicamente métodos conductuales.

Finalmente, en quinto lugar, los procesos emocionales involucran una amplia red de regiones cerebrales, que también están implicadas en el aprendizaje. La emoción es especialmente útil para lograr reducir el impacto de las experiencias negativas y para optimizar las positivas. El desarrollo de esta capacidad no termina

hasta entrada la etapa adulta, sin embargo, es fundamental para el éxito académico (The Royal Society, 2011). La emoción, asimismo, actúa como tractor de otro factor clave en el aprendizaje, la motivación, ya que los individuos tienden a sentirse motivados por situaciones emocionalmente positivas y a evitar las negativas (Cain y LeDoux, 2008; Lang, 2010; Lang y Davis, 2006; OECD, 2007; citados en Hinton et al., 2012).

### **3.3.3 Aportaciones a la pedagogía**

En este apartado, se va a presentar una selección de las aportaciones que ha realizado la neurociencia a la pedagogía:

- El cerebro es plástico: las diferentes experiencias de aprendizaje tienen la capacidad de modificar y generar, a lo largo de la vida, nuevas conexiones neuronales en el cerebro, que, a su vez, facilitan aprendizajes adicionales. Las habilidades no son fijas, sino que están en constante desarrollo. Conocer esta información tiene un importante valor motivador, tanto para los alumnos, que desarrollan mayor compromiso, resistencia y motivación, como para los docentes, al evitar hacer valoraciones simplistas sobre la capacidad de los alumnos (Dubinsky, Roehrig y Varma, 2013; The Royal Society, 2011; Hinton et al., 2012; Sousa, 2011; Howard-Jones, P. A., Varma, S., Ansari, D., Butterworth, B., De Smedt, B., Goswami, U., Laurillard, D. y Thomas, M. S. C., 2016; Willis, 2010).

- Un compromiso activo es necesario para generar aprendizajes más consistentes y duraderos: los cambios neuronales que subyacen a los procesos de aprendizaje están condicionados a un compromiso activo con lo que se aprende (Ruytjens, Albers, van Dijk, Wit y Willemsen, 2006; Weinberger, 2008; Winer y Schreiner, 2011; citados en Hinton et al., 2012; Bavelier, Green y Dye, 2009).

- Las emociones son fundamentales en el aprendizaje: las emociones son indisolubles del ser humano y, por consiguiente, de los procesos cognitivos, la toma de decisiones, el funcionamiento social o la motivación. Comprender las reacciones de los sistemas de recompensa y ayudar a canalizar la respuesta frente al error es vital para lograr el éxito académico y personal (Hinton et al., 2012; Sousa, 2011; Immordino-Yang y Damasio, 2011; Tiching, 2015; The Royal Society, 2011; Willis, 2010).

- Los altos niveles de estrés sostenido y la ansiedad dificultan el aprendizaje: el estrés y la ansiedad deterioran los sistemas atencionales, reducen la capacidad cognitiva y afectan al estado emocional (Goswami, 2006; Sousa, 2011; Hinton et al., 2012; Tiching, 2015).

- Un sueño adecuado y el bienestar físico mejoran la memoria y el aprendizaje: el sueño ayuda a consolidar la memoria y a hacerla más robusta. El ejercicio físico, por su parte, favorece la memoria a largo plazo y produce una sustancia que preserva las neuronas, e incluso, promueve la neurogénesis (Sousa, 2011; Howard-Jones, 2007, 2014a; Centre for Educational Neuroscience, s.f.).

- Los genes y la experiencia interactúan para dar lugar a las diferencias individuales: la predisposición genética, por sí sola, no es suficiente para explicar las diferentes habilidades o la inteligencia; el conjunto de experiencias, el entorno escolar y familiar o el nivel socio-económico influyen, también, de manera decisiva. Los alumnos aprenden de manera más eficaz cuando se tienen en cuenta y se atienden sus diferencias individuales (Hinton et al, 2012; Sousa, 2011; The Royal Society, 2011).

- La función ejecutiva es determinante para el logro académico y personal: aunque existen notables diferencias individuales en la maduración de esta función, en general, el entrenamiento y la enseñanza de estrategias para desarrollar habilidades como el autocontrol, la fijación y seguimiento de objetivos, la inhibición de impulsos o la toma de decisiones, son esenciales para alcanzar un buen desempeño en el aprendizaje y en las relaciones sociales (Howard-Jones, 2014a; The Royal Society, 2011; Sousa, 2011; Greenstone, 2011).

- La realización de frecuentes evaluaciones sobre lo aprendido y la comunicación de *feedback* corrector tienen notables beneficios sobre el aprendizaje, promoviendo el desarrollo de la memoria a largo plazo y de las funciones ejecutivas de análisis y razonamiento (Willis, 2010; Howard-Jones, 2014a).

- El *neuroconstructivismo* implica el fortalecimiento y la corrección de las redes neurales que fomentan el aprendizaje, a través de los procesos de reconocimiento de patrones y de asociación de nuevos conocimientos a los previamente almacenados (Willis, 2010; Dubinsky et al., 2013; Thomas y Laurillard, 2014).

- El aprendizaje por medio de tareas que incrementen progresivamente los niveles de dificultad y que supongan un reto alcanzable para el individuo, influyen en el sistema de recompensa cerebral, estimulando la motivación y la eficiencia (Bavelier et al. 2009; Willis, 2010).

- Las experiencias multisensoriales de aprendizaje estimulan más áreas cerebrales, agilizan la asociación de nuevo conocimiento a conocimiento ya almacenado en diferentes áreas y mejoran la eficiencia de la recuperación de memoria (Willis, 2010; Tiching, 2015).

Aunque en la bibliografía revisada, hay más aportaciones que las que se han presentado en este trabajo, se han escogido sólo aquellas respaldadas por estudios neurocientíficos y citadas de manera generalizada en las fuentes.

#### **3.3.4 Mitos de la neurociencia educativa**

El término popular al que se suele recurrir para referirse a todas aquellas malas interpretaciones o concepciones equivocadas, acerca de los hallazgos de la neurociencia, se denomina *neuromito*. Fue inicialmente acuñado por el neurocirujano Alan Crockard (Howard-Jones, 2014b), en la década de los 80. Posteriormente, fue redefinido en el proyecto *Brain and Learning* de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, de la siguiente manera:

(...) concepción errónea generada por una mala interpretación, una lectura equívoca o un citado incorrecto de hechos científicamente establecidos (por medio de investigaciones sobre el cerebro), con el fin de respaldar el uso de la investigación sobre el cerebro en el ámbito educativo y en otras áreas. (OECD Publications, 2002; citado en Howard-Jones, 2014b: p. 817)<sup>7</sup>

A continuación, se van a exponer algunos de los mitos, con mayor repercusión popular, relacionados con la neurociencia:

- El mito del hemisferio izquierdo *versus* el hemisferio derecho: este mito se basa en dos interpretaciones incorrectas, por un lado, que hay diferencias entre el procesamiento cerebral con el hemisferio izquierdo y con el derecho, y por el otro, que todos los individuos tenderían a usar de manera preferente uno de los hemisferios. En este sentido, se ha animado a algunos profesores a catalogar a sus alumnos según su hemisferio predominante, suponiendo que el hemisferio izquierdo es analítico, lógico y verbal, y el derecho, creativo, emocional y visual-espacial. De igual manera, se les propone incorporar, en sus clases, actividades que tengan un equilibrio entre el procesamiento cerebral izquierdo y derecho. El origen de este mito se hallaría en la incorrecta interpretación de las conclusiones de los estudios de lateralidad, realizados en pacientes a los que se les había practicado la extirpación del cuerpo caloso, en casos de epilepsia severa. La realidad es que, aunque algunas funciones estén fuertemente lateralizadas, en la mayoría de las actividades, trabajan los dos hemisferios a la vez (Geake, 2008; Howard-Jones, 2007; Howard-Jones, 2014b; Goswami, 2006; Centre for Educational Neuroscience, 2016).

---

<sup>7</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (OECD Publications, 2002; citado en Howard-Jones, 2014b: p. 817):

(...) misconception generated by a misunderstanding, a misreading or a misquoting of facts scientifically established (by brain research) to make a case for use of brain research in education and other contexts.

- El mito de los estilos de aprendizaje: se fundamenta sobre la creencia de que los alumnos tienen preferencia sobre el formato en el que se les presenta el material de aprendizaje, y además, al utilizar su formato de preferencia, el grado de aprendizaje del alumno es mayor. Se han descrito hasta la fecha hasta 170 estilos de aprendizaje (Geake, 2008), aunque el modelo más conocido (VAK) incluye tres categorías, la visual, la auditiva y la kinestésica. De acuerdo con Willingham (2005), los estudios en ciencia cognitiva, sí han demostrado que los alumnos manifiestan distintas habilidades en función de la modalidad de instrucción, pero que, realizar la instrucción en la modalidad preferida, no afecta en absoluto a su rendimiento académico. Hoy en día, hay un interés creciente en adaptar la enseñanza a las diferencias individuales de los alumnos, pero aún no hay evidencias suficientes para adoptar la enseñanza basada en estilos de aprendizaje. Además, se podrían perder buenas prácticas pedagógicas tradicionales, como, por ejemplo, el procesamiento bimodal de la información (Geake, 2008; Howard-Jones, 2007; Goswami, 2006; Centre for Educational Neuroscience, 2016; Willingham, 2005).

- El mito del 10%: el mito de que los humanos sólo utilizan un 10% del cerebro, siendo el 90% restante capacidad potencial, está bastante extendido. Se desconoce el origen exacto, pero se cree que surgió a finales del siglo XIX, a raíz de unos experimentos en los que se extirpaba materia cerebral a ciertos pacientes. En realidad, en términos evolutivos, es impensable que un órgano que supone sólo un 2% de la masa corporal, pero que consume un 20% de la energía total, se hubiera desarrollado de tal manera para no usarse. El verdadero potencial de la inteligencia y razonamiento humanos se basa, realmente, en la plasticidad neuronal (Geake, 2008; Centre for Educational Neuroscience, 2016; Howard-Jones, 2014b).

- El mito de las inteligencias múltiples: la teoría de las inteligencias múltiples de Howard Gardner de 1983 (Willingham, 2004) ha reclutado un considerable apoyo e interés de la comunidad educativa. Esta teoría sostiene que existen múltiples inteligencias, no una general, y que, además, estas son independientes entre sí. En realidad, desde mediados del siglo pasado, la mayoría de los psicólogos no apoyan un modelo de inteligencia general, sino un modelo jerarquizado, en el que las diferentes habilidades (inteligencias) se relacionan entre sí, y, a su vez, con la inteligencia general. Esta visión de la inteligencia es la que goza de mayor popularidad, desde el meta-análisis realizado por John Carroll en 1993 (Geake, 2008). La diferencia estriba, por lo tanto, en una divergencia terminológica; un modelo denomina inteligencia a lo que el otro designa habilidad o destreza. En cuanto a la afirmación de la independencia de las inteligencias entre sí, varios estudios de neuroimagen sostienen que diferentes pruebas cognitivas relacionadas

con el lenguaje, la lógica, las matemáticas y la memoria, involucran zonas similares de la corteza frontal (Duncan, 2001; citado en Geake, 2008) y existen evidencias de vías de procesamiento neural compartidas y superpuestas (Waterhouse, 2006; citado en Geake, 2008). Por este motivo, es muy improbable que estas inteligencias sean independientes, cuando comprometen regiones cerebrales similares (Howard-Jones, 2014b; Geake, 2008; Willingham, 2004).

- El mito del cerebro masculino *versus* cerebro femenino: según este mito, existen diferencias cognitivas importantes entre hombres y mujeres, como por ejemplo, una mayor habilidad de las mujeres en el ámbito del lenguaje o que los hombres destaquen en áreas científicas y matemáticas. Aunque está demostrado que sí existen ciertas diferencias entre géneros, en estudios recientes se concluye que las diferencias no son, en general, tan grandes como se pensaba, y que además, pueden estar influidas por otro tipo de factores, como la actitud o las preferencias hacia las actividades, el distinto uso de estrategias de aprendizaje o las expectativas sociales (Centre for Educational Neuroscience, 2016). Asimismo, el patrón de desarrollo neural parece ser muy similar en los dos géneros, aunque se aprecia una maduración cerebral ligeramente más lenta en los hombres, lo que podría sugerir que la educación separada en la adolescencia podría ser beneficiosa. Aunque, por supuesto, el género es sólo una de las muchas variables que influyen en las diferencias individuales (The Royal Society, 2011).

- El mito de los 3 años: se basa en la idea de que los primeros tres años de vida de un niño constituyen un periodo crítico para el desarrollo cerebral, y que, el abandono o la vivencia de carencias en esa etapa tendrían secuelas en el desarrollo cognitivo, emocional y físico del niño. De acuerdo con las investigaciones realizadas en los años 90, esta aseveración ha demostrado ser correcta; lo que sí es incorrecto, es la interpretación que insinúa que este periodo es el único que permite ciertos aprendizajes. Tal como se comentó en un apartado anterior, la denominación de periodo crítico sugiere un margen de tiempo en el que, si no se llega a producir un aprendizaje, ya no será posible en el futuro. Sin embargo, se tratan, más bien, de periodos sensibles, en los que el cerebro es más receptivo a cambios del entorno. Igualmente, no hay que olvidar que el cerebro está cambiando durante toda la vida. De hecho, en investigaciones realizadas con niños criados en instituciones, en la Rumanía de los 90, se comprobó que las condiciones físicas y las capacidades cognitivas alcanzaban el nivel normal, al de poco tiempo de ser acogidos en hogares normales; los déficits emocionales persistían en mayor medida. Otra convicción derivada de este mito es la creencia de que, si un entorno carenciado tiene implicaciones negativas en el desarrollo cognitivo durante los periodos sensibles, un

entorno enriquecido tendrá, por consiguiente, repercusiones positivas. Sin embargo, esto no parece funcionar así, ya que, de acuerdo con los expertos, el mejor estímulo para un niño de esa edad es el desarrollo de su estabilidad emocional, en un entorno normal, por medio del juego y del apego seguro (Anderson y Della Sala, 2012; Centre for Educational Neuroscience, 2016; Goswami, 2006; Howard-Jones, 2014b).

Estos son, sólo, algunos de los mitos que se han extendido durante la transferencia de conclusiones de investigaciones sobre el cerebro a la práctica educativa. Una mayor colaboración interdisciplinar es indispensable para ayudar a identificar, corregir y aclarar las creencias erróneas cuando se produzcan. De todos modos, hay que indicar que la mayoría de estas investigaciones están abiertas, y su veracidad, por el momento, no puede ser categóricamente afirmada ni desmentida.

### **3.3.5 El futuro de la neurociencia educativa**

En este subapartado, se van a exponer los principales retos y oportunidades a los que se enfrenta la neurociencia educativa en los años venideros.

A lo largo de la lectura de la bibliografía sobre el tema, hay una cuestión polémica que ha predominado sobre todas las demás y que, por consiguiente, se va a presentar como desafío prioritario en el futuro de la neuroeducación. En definitiva, reside en cómo se ha de articular la relación interdisciplinar entre neurociencia y educación para conseguir, en palabras de Howard-Jones (2007), que exista un diálogo bidireccional que pueda informar a ambas disciplinas.

Para poder conseguir ese entendimiento, es necesario sentar las bases de varias áreas de confluencia en la relación. Por un lado, está la problemática relativa a la divergencia de objetivos y filosofía de ambas disciplinas (Willingham, 2009, Beauchamp y Beauchamp, 2012). Por otro lado, en lo referente a los niveles o métodos de análisis, la investigación en educación y la investigación neurocientífica se encuentran en lugares muy dispares. Mientras que, para la primera, las unidades de análisis pueden ser el aula o un alumno, para la segunda, lo son áreas concretas de la corteza cerebral o las sinápsis neuronales (Varma, McCandliss y Schwartz, 2008; Willingham, 2009). Asimismo, está la cuestión del lenguaje, es decir, cómo lograr traducir los datos de las investigaciones neurocientíficas a un lenguaje que pueda ser interpretado por la teoría educativa y viceversa (Varma et al., 2008; Willingham, 2009; The Royal Society, 2011; Beauchamp y Beauchamp, 2012; Butterworth y Tolmie, 2014). Por último, se encuentra la controversia de cómo orquestar la colaboración entre los dos campos científicos y, a su vez, con otras disciplinas (Bruer, 1997; Anderson y Della Sala, 2012; Howard-Jones, 2014b; The

Royal Society, 2011; Howard-Jones et al., 2016; Butterworth y Tolmie, 2014; Hruby, 2012; Hinton et al., 2012).

Además de este desafío principal, la neurociencia educativa se enfrenta a otros retos adicionales. En primer lugar, cómo conseguir redimirse de las acusaciones de ejercer con una visión excesivamente reduccionista (The Royal Society, 2011; Varma et al., 2008) o determinista (The Royal Society, 2011; Howard-Jones, 2007). En segundo lugar, cómo evitar la generación y propagación de mitos e interpretaciones simplistas (Varma et al., 2008; The Royal Society, 2011; Hruby, 2012; Howard-Jones, 2014b; Geake, 2008; Anderson y Della Sala, 2012). Y por último, cómo hacer frente a la preocupación sobre la escasez de resultados prácticos en comparación con los costes asumidos (Snook, 2012; Varma et al., 2008).

Las posibles oportunidades o nuevas ventanas a la investigación residen, principalmente, en la solución de alguno de los desafíos anteriormente planteados. No obstante, también se pueden mencionar otras adicionales, por ejemplo, la investigación con *píldoras inteligentes* o medicamentos potenciadores de la cognición, que actúan sobre determinados neurotransmisores, para fortalecer aspectos como la atención o la memoria, tanto en pacientes con algún tipo de déficit, como en alumnos que buscan una mayor capacidad cognitiva (Howard-Jones, 2007). O, por ejemplo, los estudios en *neurofeedback*, que consiste en la monitorización, por parte de los propios alumnos, de su actividad cerebral por medio de EEG, durante un proceso cognitivo, con la intención de mejorar sus capacidades (Howard-Jones, 2007). Otra oportunidad podría surgir de las investigaciones que se están realizando en genética, sobre todo con el estudio de gemelos, que podrían contribuir a predecir y corregir debilidades cognitivas y a mejorar los aprendizajes (Anderson y Della Sala, 2012; Kovas y Plomin, 2012).

### **3.4 Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas**

En el último apartado del marco teórico, se pretende realizar un estudio del actual escenario de la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas. Para ello, se partirá, en primer lugar, de un análisis de los principales factores que intervienen en el aprendizaje de segundas lenguas. Posteriormente, se revisarán las principales teorías sobre aprendizaje de segundas lenguas impulsadas por los paradigmas lingüísticos más representativos. A continuación, se presentarán las contribuciones teóricas más destacadas de la neurociencia cognitiva al aprendizaje de segundas, resaltando aquellas posibles confluencias o divergencias con respecto de las teorías clásicas. Por último, se expondrán algunas de las aportaciones de los estudios en neurociencia cognitiva al aprendizaje y la enseñanza de segundas lenguas.

### 3.4.1 Factores fundamentales en el aprendizaje de segundas lenguas

Partiendo del enfoque planteado por Ellis (1986), se evidencia que el aprendizaje de segundas lenguas es un proceso complejo, que involucra muchos factores interconectados entre sí. En este subapartado, se van a exponer algunos de ellos. Así, en primer lugar, se va a presentar una selección de factores internos o individuales, entendidos como aquellos factores que surgen en el ámbito personal del individuo que aprende. En este sentido, se analizarán, brevemente, el género, la edad, la aptitud y la inteligencia, la motivación, la personalidad, las estrategias de aprendizaje y, finalmente, el lenguaje del aprendiz. En segundo lugar, se presentarán algunos de los factores que se originan fuera del ámbito personal del aprendiz, o factores externos, como el *input* y la interacción, el contexto social y la situación de aprendizaje.

El primer factor individual a señalar es el género: “esta variable tiene connotaciones biológicas, sin embargo, el factor género hace, a menudo, referencia a los roles asumidos y representados por los alumnos y alumnas, a las actitudes y comportamientos mostrados en la clase de inglés” (Madrid, 1995: p. 62)<sup>8</sup>. Varios estudios han corroborado la hipótesis planteada por Ellis de que las alumnas, en general, muestran mayor interés, manifiestan una actitud más abierta y tienen mejores resultados en el estudio de segundas lenguas (Ellis, 1994; citado en Madrid, 1995).

El segundo factor interno, la edad, es uno de los más analizados en relación con la adquisición de segundas lenguas y, sin embargo, es uno de los que ha suscitado, en general, menos consenso (Ellis, 1986). Además, existe una tendencia a investigar, en aislamiento, los distintos mecanismos que influyen en el aprendizaje de segundas lenguas, y esta práctica simplifica en exceso los fenómenos y tiende a polarizar las opiniones (Birdsong, 2006).

A pesar de lo confuso y contradictorio de los distintos estudios sobre el efecto de la edad, Ellis (1986) encuentra un patrón común, siempre que se tengan en cuenta, de manera separada, los efectos *on route*, *on rate* y el éxito en el aprendizaje. *Route* hace referencia a los distintos estadios que atraviesa un estudiante de segundas lenguas en su proceso de aprendizaje, mientras que *rate* representa la rapidez con la que atraviesa cada estadio (Johnson y Johnson, 1999) y el éxito en el aprendizaje se refiere al nivel de competencia que alcanzará, finalmente, el alumno (Ellis, 1986). Según el patrón mencionado, la edad a la que se comienza el estudio de

---

<sup>8</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Madrid, 1995: p. 62): “This variable has biological connotations but considered as gender it is often referred to the roles assumed and performed by male and female students, the attitudes and behaviours that they show in the English class”.

una segunda lengua no tendría efectos *on route*, pero sí, efectos *on rate*. Además, tanto la edad de comienzo, como el número de años de exposición a la lengua, tendrían efectos sobre el éxito del aprendizaje, afectando, sobre todo, a la fluidez comunicativa y a la pronunciación (Ellis, 1986).

En cuanto al tercer factor interno, es complicado precisar, de manera exacta, las definiciones de aptitud e inteligencia, así como determinar, el papel que tiene cada una en la adquisición de una segunda lengua. El papel de la inteligencia, entendida como inteligencia general, resulta difícil de concretar en la adquisición de lenguas, ya que, prácticamente la totalidad de las personas, independientemente de su nivel de inteligencia general, llegan a adquirir un dominio razonable de la primera lengua (Lenneberg, 1967; citado en Ellis, 1986). Ellis (1986) se apoya en la propuesta de Cummins para arrojar luz sobre el asunto (1979; citado en Ellis, 1986), indicando que existen dos tipos de habilidad lingüística, una que mide los resultados cognitivos y académicos, y otra, las destrezas interpersonales y comunicativas. En este caso, la primera podría estar relacionada con la inteligencia general, y la segunda, con la aptitud. La mayoría de los test diseñados para medir la aptitud evalúan, en realidad, las habilidades cognitivas y académicas, por lo que, según esta interpretación, sería necesario volver a diseñarlos. Lo que no se puede negar, es que hay determinados estudiantes, que muestran mayores habilidades innatas para aprender segundas lenguas que otros (Neufel, 1978; citado en Madrid, 1995).

El cuarto factor individual, la motivación, es un factor fundamental en el aprendizaje de segundas lenguas (Madrid, 1995; Ellis, 1986). Algunos autores han conceptualizado la motivación del alumno hacia el aprendizaje de segundas lenguas de la siguiente manera: manifestar interés y deseo por aprender, así como una actitud positiva, realizar un esfuerzo regular y, al mismo tiempo, experimentar satisfacción y placer en el aprendizaje (Madrid et al. 1993a, 1993b, 1994; citados en Madrid, 1995). Según Ellis (1986), la influencia de la motivación se vería en el *rate* y en el éxito del aprendizaje, pero no en el *route*. Por otra parte, no está claro aún, cómo es el mecanismo de influencia.

En referencia al quinto factor interno, no se ha podido demostrar, en ninguna investigación realizada hasta la fecha, que los distintos rasgos de la personalidad, extroversión-introversión, habilidades sociales o inhibición, tengan una influencia clara sobre el aprendizaje de segundas lenguas (Ellis, 1986; Madrid, 1995), aunque, a veces, la observación en clase pueda llevar a sacar otro tipo de conclusiones (Madrid, 1995).

Las estrategias de aprendizaje, como sexto factor interno, tienen una importancia clave en el aprendizaje de segundas lenguas y hay una gran variedad de

técnicas (Ellis, 1986). Las estrategias de aprendizaje pueden ser entendidas como: “acciones concretas que realiza el alumno para que su aprendizaje sea más fácil, más rápido, más eficaz, más personal, más autónomo, y consecuentemente, más agradable” (Oxford, 1990; citado en Palacios, 2006: p. 4).

Como último factor individual, el lenguaje del aprendiz o *interlenguaje*, entendido como el lenguaje que va construyendo el individuo en su proceso de aprendizaje. Este producto contiene errores que constituyen una fuente de información muy importante en el proceso de aprendizaje de segundas lenguas. El análisis de estos errores indica que los alumnos no se limitan a memorizar las reglas del idioma que aprenden, sino que, individualmente, construyen sus propias reglas en función del *input* (Ellis, 1986).

La variabilidad de *interlenguaje* y el papel del *input*, que se analizará más adelante, se han interpretado, históricamente, desde distintos enfoques o concepciones del aprendizaje de segundas lenguas. De manera muy resumida, en el enfoque *behaviorista*, los factores en el entorno del alumno y la influencia del primer idioma tienen una importancia clave en la formación de hábitos y en la producción del segundo idioma. Desde la perspectiva *mentalista o nativista*, los factores ambientales o individuales del alumno, por sí solos, no pueden sino desencadenar los mecanismos internos de aprendizaje, que sigue una ruta natural de desarrollo (Hurtado y Hurtado, 1992; Ellis, 1986). Existe también una postura intermedia o interaccionista, como la de Ellis (1986; citado en Hurtado y Hurtado, 1992), que apuesta por un equilibrio en la importancia de variables externas e internas.

Entre los factores que surgen fuera del ámbito personal del alumno, se mencionan, en primer lugar, el *input* y la interacción. El *input* está formado por todo aquel producto lingüístico dirigido al alumno de segundas lenguas. Puede ser oral o escrito, producido por un hablante nativo, un docente u otro alumno y estar enmarcado en un contexto natural o de instrucción formal. Es necesario distinguir el *input* del *intake*, que es la porción del *input* finalmente asimilada por el alumno. La interacción es el discurso construido conjuntamente por el aprendiz y sus interlocutores (Ellis, 1986).

En segundo lugar, el contexto social del alumno viene determinado por una serie de variables como el nivel socioeconómico, el nivel cultural, el grupo étnico o la confesión religiosa (Madrid, 1995), y tiene relación con el nivel de competencia en la adquisición de segundas lenguas (Preston, 1989; Burstall, 1975, 1979; citados en Madrid, 1995). Considerando el nivel socioeconómico, Ellis (1994; citado en Madrid, 1995) sugiere que los alumnos de clase media logran una mayor competencia y

motivación que los de clase trabajadora, en contextos de instrucción formal. El entorno cultural del alumno también tiene una influencia importante, ya que define las expectativas académicas, moldea actitudes y hábitos e influye en el contexto escolar (Madrid, 1995). Por último, la distancia cultural o social percibida por el alumno, en relación a la lengua a aprender, suele ser inversamente proporcional a la motivación y competencia que se alcanza (Giles, 1979; citado en Ellis, 1986).

En tercer lugar, la situación de aprendizaje se puede dar en un contexto formal o de aula o en un contexto natural. Ambas situaciones influyen tanto en el *input* lingüístico que recibe el alumno, como en las estrategias de aprendizaje a utilizar, generando productos lingüísticos diferentes. Según Krashen (1979; citado en Johnson y Johnson, 1999), la situación de aprendizaje define lo que se considera adquisición de segundas lenguas, un proceso inconsciente en un contexto natural, frente a aprendizaje de segundas lenguas, un proceso consciente en un contexto formal. En este trabajo, sin embargo, se utilizan indistintamente los términos de adquisición y aprendizaje, siguiendo la terminología de Ellis (1986).

### **3.4.2 Principales teorías y paradigmas en el aprendizaje de segundas lenguas**

Como ya se adelantó en el punto anterior, el aprendizaje de segundas lenguas y los distintos factores que lo determinan se han analizado desde distintos enfoques o paradigmas, que han dado lugar a diversas teorías sobre su aprendizaje. En este subapartado, se va a realizar un breve recorrido por algunas de las principales teorías de aprendizaje o adquisición de segundas lenguas planteadas desde mediados del siglo XX.

Desde la perspectiva *behaviorista* o conductista, impulsada por Skinner en los años 50 del pasado siglo (Malone, 2012), se planteaba que cualquier comportamiento humano, y en consecuencia, también el aprendizaje de lenguas, podía ser aprendido a través de un proceso de estímulo-respuesta y refuerzo positivo o negativo, logrando que el comportamiento se convirtiera en un hábito espontáneo. Desde este enfoque, los mecanismos internos del individuo no tienen ninguna relevancia en el proceso de aprendizaje, cediendo todo el protagonismo a los estímulos externos. Este modelo dio lugar al nacimiento del *análisis contrastivo* y al comienzo del estudio del *interlenguaje* (Menezes, 2013). El *análisis contrastivo* estaba basado en la creencia de que es posible predecir las dificultades de aprendizaje de un individuo, por medio del análisis de errores de transferencia entre su lengua materna (L1) y segunda lengua (L2). Los estudios empíricos realizados hasta la fecha parecen rechazar esta hipótesis por diversas razones (Ellis, 1986).

La perspectiva *mentalista, nativista o innatista* tiene a Chomsky como exponente más influyente (Menezes, 2013; Malone, 2012) y supone el contrapunto al

enfoque *behaviorista*, ya que sostiene que la capacidad humana del lenguaje es innata y minimiza la relevancia del *input* externo. Siguiendo este principio, Chomsky postuló su teoría de la *gramática universal*, que defiende la presencia de un *dispositivo de adquisición de lenguaje*, responsable de la capacidad innata para el lenguaje (Menezes, 2013; Malone, 2012; Hulin y Na, 2014; Ellis, 2016), y la existencia de un conjunto de reglas o principios lingüísticos universales, que limitan o restringen las opciones del aprendiz, a la hora de construir una gramática central (Ellis, 1986). Chomsky no aplicó su teoría al estudio de los procesos de aprendizaje de L2, sino al estudio de la adquisición de L1, desde la perspectiva infantil, sin embargo, varios lingüistas e investigadores han aplicado sus tesis al estudio de segundas lenguas (Ellis, 1986; Malone, 2014). En este sentido, los principios lingüísticos universales que regulan el proceso de adquisición de L1, también son relevantes en el estudio de la adquisición de segundas lenguas, en tanto que restringen el formato del *interlenguaje* y ayudan a los aprendices a seleccionar patrones que cuadran con dichos principios (Ellis, 1986).

Bajo la influencia de las tesis de Chomsky, el lingüista Stephen Krashen (Menezes, 2013; Malone, 2012) planteó otra influyente teoría de adquisición de segundas lenguas. Esta teoría se conoce, a menudo, por el nombre de las diferentes que sostiene, pero en este trabajo, siguiendo la terminología de Ellis (1986), se la va a denominar, el modelo de *monitor*. Esta teoría se compone de 5 hipótesis principales (Ellis, 1986; Talaber, 2011):

- La hipótesis de *aprendizaje-adquisición*: la distinción entre los dos términos se aplica, en primer lugar, al proceso de interiorización de la lengua, ya mencionado en el subapartado anterior; en segundo lugar, al proceso de almacenaje, implicando que el conocimiento *adquirido* y el *aprendido* se almacenan separadamente; y por último, al uso de dicho conocimiento, siendo el *adquirido*, el que inicia tanto la comprensión como la producción de lenguaje, quedando el *aprendido* para uso exclusivo del *monitor*.
- La hipótesis del *orden natural*: la hipótesis sugiere que hay un orden, bastante invariable, de adquisición de estructuras gramaticales formales.
- La hipótesis de *monitor*: el *monitor* es el dispositivo que tiene el aprendiz de L2 para modificar su producción lingüística. En este sentido, el *monitor* utilizará el conocimiento *aprendido* para corregir la producción lingüística realizada por el conocimiento *adquirido*.
- La hipótesis del *input*: para que se produzca la adquisición, es necesario que se ofrezca al aprendiz un *input* de un nivel comprensible, pero más avanzado que el

que tiene en la actualidad, el nivel  $i+1$ , con el fin de que se produzca un avance en conocimiento, mediado por la capacidad de deducción del aprendiz.

- *La hipótesis del filtro afectivo*: los factores afectivos del aprendiz, es decir, la confianza, la motivación o la ansiedad, conforman un filtro que controla cuánto *input* se convierte finalmente en *intake*.

El paradigma sociocultural, impulsado por Lev Vygotsky (Menezes, 2013; Malone, 2012; Johnson y Johnson, 1999), postula que el aprendizaje, en general, y el aprendizaje de lenguaje, en particular, es un proceso de interiorización mediado socialmente. En este enfoque se encuadran un grupo de teorías de aprendizaje de segundas lenguas. Por ejemplo, la *hipótesis de la interacción* de Long (Menezes, 2013; Johnson y Johnson, 1999), que sostiene que para alcanzar un buen nivel de competencia en L2, es necesario participar en procesos de interacción lingüística y no sólo experimentar *input*. O, el *modelo de aculturación* de Schumann (Ellis, 1986), en el que se contempla el lenguaje como uno de los exponentes más relevantes de una cultura, así, el grado en el que un individuo se integra en la cultura de la comunidad de la L2, determinará, también, su nivel de competencia en esa lengua. Una mayor distancia social y psicológica conducirá a un proceso de *pidginización* de la lengua del sujeto, es decir, compartirá los errores lingüísticos propios de las lenguas *pidgin* y podría llevar a la *fossilización* o mantenimiento permanente de dichos errores (Ellis, 1986). Las lenguas *pidgin* constituyen aquellas variedades lingüísticas simplificadas que surgen de la comunicación entre individuos que no poseen una lengua común (Johnson y Johnson, 1999).

El enfoque cognitivo en el estudio de segundas lenguas pretende: “esclarecer los mecanismos psicológicos que subyacen a la comprensión y a la producción y el medio a través del cual se desarrolla dicha competencia en la mente del aprendiz” (Harrington, 2002: p. 125)<sup>9</sup>. El enfoque cognitivo se ha relacionado, también, con el paradigma de *procesamiento de información* (McLaughlin y Heredia, 1996; citados en Harrington, 2002), que intenta explicar los *procesos de información* o los medios por los que un sistema realiza respuestas sistemáticas en determinadas condiciones ambientales (Harrington, 2002). En el enfoque cognitivo se dan dos perspectivas de la cognición y del lenguaje. Por un lado, “la perspectiva clásica contempla la mente como una máquina computacional no probabilística que lleva a cabo operaciones discretas sobre símbolos” (Fodor y Pylyshyn, 1988; citados en Harrington, 2002: p.

---

<sup>9</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Harrington, 2002: p. 125): “explicate the psychological mechanisms that underlie comprehension and production and the means by which that competence develops in the mind of the learner”.

126)<sup>10</sup>. Un ejemplo de esta perspectiva sería el modelo de *control adaptativo de pensamiento (ACT model)* de Anderson (Malone, 2012), que se basa en la hipótesis de que todo el conocimiento del ser humano puede dividirse en dos tipos de representaciones, el conocimiento *declarativo* y el *procedimental*. Ellis (1994) afirma que este modelo contempla la adquisición de lenguaje, al igual que otros procesos de aprendizaje, como el proceso de *procedimentar* el conocimiento *declarativo* (almacenado en forma de datos y hechos). Por otro lado, la perspectiva *conexionista* interpreta los fenómenos mentales, por medio de redes de unidades interconectadas con un enfoque de procesamiento distribuido en paralelo (Menezes, 2013; Harrington, 2002). Según Menezes (2013), en el *conexionismo*, “la adquisición del lenguaje se entiende como el procesamiento de la experiencia, cuya repetición, ocasiona el fortalecimiento de las conexiones” (p. 406)<sup>11</sup>.

Tal como resume Ellis (1986), en la literatura hay un abundante número de teorías, enfoques, modelos, principios y leyes, y es debatible, que incluso se haya podido llegar a teorizar de manera superflua. En la revisión de literatura de este trabajo, se ha encontrado la misma problemática. Por eso, este subapartado no pretende ofrecer un inventario exhaustivo de teorías de adquisición de segundas lenguas, sino exponer los principales marcos filosóficos subyacentes y proponer una selección de aquellas teorías o modelos más representativos dentro de cada uno.

### **3.4.3 Neurociencia cognitiva: un nuevo enfoque en el estudio del aprendizaje de segundas lenguas**

El trascendental desarrollo de la neurociencia cognitiva en las últimas dos décadas ha supuesto un avance importante a la hora de determinar y explicar los procesos cognitivos en el cerebro humano. La neurociencia cognitiva es una ciencia interdisciplinar, que involucra disciplinas muy dispares según el objeto de estudio y, debido a esto, presenta múltiples problemas en la transferencia, comunicación y generalización de resultados, tal como se adelantaba en apartados anteriores.

La neurociencia cognitiva del lenguaje no es ninguna excepción a esta problemática. Involucrando áreas como la neurociencia, la psicología, las ciencias computacionales, la lingüística, la filosofía y la antropología, la disciplina “padece cuestiones metodológicas y epistemológicas sin resolver y carece de un programa de

---

<sup>10</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Harrington, 2002: p. 126): “The classical view sees the mind as a non-probabilistic computational machine that carries out discrete operations on symbols”.

<sup>11</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Menezes, 2013: p. 406): “Language learning is understood as the processing of experience and the repetition of experiences causing the strengthening of the connections”.

investigación coherente” (Grimaldi, 2012: p: 4)<sup>12</sup>. La relación entre la lingüística y la neurociencia cognitiva, en particular, es ciertamente complicada, ya que parten de modelos científicos muy diferentes. En el primer caso, la investigación teórica ocurre a un alto nivel de abstracción, verificada posteriormente mediante datos empíricos. La neurociencia cognitiva, por el contrario, alcanza el conocimiento por medio de la observación de datos empíricos. Además, los niveles de análisis utilizados en las investigaciones de las dos disciplinas son, también, muy distintos; en lingüística, se describe la fonética, la sintaxis, la morfología o la semántica; en neurociencia cognitiva, las diferentes arquitecturas cerebrales reclutadas para procesar las funciones del lenguaje (Hagoort, 2006). Por lo tanto, las dos disciplinas son, por el momento, ontogenéticamente inconmensurables (Grimaldi, 2012).

En contraste con el apartado anterior, en la literatura revisada no abundan los modelos teóricos sobre el aprendizaje del lenguaje, realizados desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva, aunque sí son muy numerosos los estudios aislados sobre diversos aspectos de la adquisición del lenguaje. En este sentido, Grimaldi (2012) afirma que los estudios realizados en neurociencia cognitiva han aportado una gran cantidad de evidencia relativa a la neuroanatomía funcional del procesamiento del lenguaje, sin embargo, la mera localización de estas áreas no es capaz de explicar las operaciones computacionales subyacentes a los fenómenos observados. Para poder hacerlo, es necesario construir una teoría neural del lenguaje, que tenga una base biológica, y pueda formular hipótesis acerca de las operaciones lingüísticas representadas en la arquitectura anatómico-funcional (Grimaldi, 2012).

A pesar de esta escasez, se han localizado dos modelos teóricos que pretenden esclarecer los procesos de adquisición de las primeras y segundas lenguas. El primero se conoce como el modelo declarativo/procedimental (modelo DP) y está formulado por Michael Ullman (Ullman, 2005, 2016). El segundo se denomina el enfoque neurolingüístico (NLA) y lo proponen Joan Netten y Claude Germain (Netten y Germain, 2012).

El modelo DP, según su autor, pretende llenar los vacíos teóricos dejados por la falta de estudios empíricos que relacionen los niveles neurales, cognitivos y computacionales. De acuerdo con Chomsky y Pinker (1965; 1994; citados en Ullman, 2005), el lenguaje depende de dos habilidades mentales. Por un lado, el lexicón mental, que aglutina aquellas palabras con relación arbitraria entre sonido y significado, toda aquella información irregular específica de cada palabra (objetos

---

<sup>12</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Grimaldi, 2012: p. 4): “suffers from unresolved epistemological and methodological questions, and a coherent research program has not yet been formulated”.

directos, conjugaciones irregulares, etc.) y estructuras lingüísticas complejas que no pueden interpretarse analizando sus partes. Por otro lado, está la habilidad que gestiona los aspectos regulares e implícitos del lenguaje, es decir, las reglas gramaticales combinatorias. Ullman (2005, 2016) afirma que hay extensa evidencia empírica para demostrar que el *sistema de memoria declarativa* subyace al lexicón mental y que el *sistema de memoria procedimental* está detrás de la habilidad mental para la gramática. Estos dos sistemas interactúan entre sí de manera cooperativa y competitiva, de manera que, en momentos determinados, desempeñarán papeles análogos o redundantes. A lo largo de la infancia, la adolescencia y hasta entrar en la etapa adulta, estos sistemas de memoria experimentan periodos de mayor o peor rendimiento. Así, por ejemplo, el menor nivel de competencia gramatical alcanzado en la L2 en la adolescencia, en comparación con la L1 o una L2 temprana, se debería a un menor rendimiento de su sistema procedimental, ocasionado por el aumento de capacidad de la memoria de trabajo y por un mayor rendimiento del sistema declarativo, causado por el aumento de estrógenos experimentado en la pubertad. Estos cambios podrían explicar, en parte, los efectos de la edad en el aprendizaje de lenguas (Ullman, 2005, 2016).

El modelo NLA, que proponen Netten y Germain, se basa en la teoría neurolingüística del bilingüismo de Michel Paradis (1994, 2004, 2009; citado en Netten y Germain, 2012). Paradis, en su estudio de pacientes con afasia y alzheimer, concluyó que la competencia lingüística implícita está gobernada por la memoria procedimental, mientras que, la competencia lingüística explícita está gestionada por la memoria declarativa. Además, sostuvo que no hay conexión entre estos dos sistemas y, por lo tanto, la competencia explícita no se convierte en implícita. La competencia explícita es necesaria para la comunicación escrita, mientras que la competencia implícita, se necesita para comunicarse oralmente; ambas, en conjunto, conforman la habilidad para comunicarse. Estas implicaciones han llevado a los autores a proponer un modelo de aprendizaje y pedagogía de segundas lenguas, cuyas propuestas se verán en el siguiente apartado (Netten y Germain, 2012).

Tal como explica Ullman (2005), hay semejanzas importantes entre los dos modelos aquí presentados, por ejemplo, ambos describen una mayor dependencia hacia la memoria declarativa en los aprendices con poca competencia en L2, frente a los aprendices de L1 o de L2 más aventajados. Sin embargo, Paradis asume que el conocimiento almacenado en la memoria declarativa es sólo explícito (Ullman, 2005), mientras que Ullman afirma que la memoria declarativa puede ser tanto explícita como implícita. Además, parten de una definición del lexicón mental diferente y también manifiestan divergencias neuroanatómicas (Ullman, 2005).

Ullman (2005), asimismo, realiza una breve comparación de su modelo con otros marcos teóricos. Por un lado, comparte la visión de una teoría *dual*, en la que el lexicon y la gramática están regidos por sistemas distintos (Chomsky, 1995; Fodor, 1983; Grodzinsky, 2000; Levelt, 1989; Pinker, 1994; citados en Ullman, 2005), pero discrepa de la creencia de que cada sistema neural gestiona únicamente una capacidad. Esta postura la comparte, igualmente, con el *conexionismo*, pero, por otro lado, disiente de la afirmación conexionista de que las dos capacidades están relacionadas con un mecanismo computacional único, con amplia distribución anatómica (Bates y MacWhinney, 1989; Elman et al., 1996; MacDonald, Pearlmutter y Seidenberg, 1994; Rumerlhart y McClelland, 1986; Seidenberg, 1997; citados en Ullman 2005).

#### **3.4.4 Aportaciones de los estudios neurocientíficos al aprendizaje y enseñanza de segundas lenguas**

Las limitaciones comentadas en el anterior apartado, unidas a lo incipiente de la disciplina, hacen que sea difícil contar con modelos teóricos completos acerca del aprendizaje y enseñanza de segundas lenguas, desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva. No obstante, el amplio campo para la investigación, junto con el creciente interés que despierta la disciplina en muchas áreas de la educación, podrían aportar, en el futuro, conclusiones más definitivas y enriquecedoras.

Por el momento, a la luz de la literatura revisada, las aportaciones de la neurociencia en el campo del estudio de la adquisición y enseñanza de segundas lenguas, se limitan, fundamentalmente, a conclusiones aisladas sobre los distintos fenómenos o factores que influyen en el aprendizaje. En este apartado, se va a presentar una selección de aquellos mencionados con mayor frecuencia y consistencia en los estudios revisados.

En relación a las aportaciones de la neurociencia cognitiva al aprendizaje de segundas lenguas, en primer lugar, está la cuestión concerniente a la representación neuronal y a los patrones de activación que se observan en el cerebro de hablantes monolingües, bilingües o multilingües. Según Reiterer (2010), hay poco consenso sobre este asunto, ya que existen tres posturas divergentes que predominan entre la mayoría de los investigadores:

- La representación cerebral de la L1, L2 y siguientes lenguas es común.
- La L1, L2 y siguientes lenguas se almacenan y procesan desde diferentes centros cerebrales.
- La representación de las distintas lenguas está sólo parcialmente solapada.

Sin embargo, de acuerdo con un meta-análisis sobre estudios de patrones de activación en la L1 y L2, realizado por Indefrey (2006), la mayoría de las investigaciones no informaba acerca de diferencias entre las dos lenguas. Los estudios que sí lo hacían, reportaban una mayor activación durante el procesamiento de L2, pero sólo, entre los grupos de hablantes con una adquisición de L2 tardía, con bajo nivel de competencia o reducida exposición a la lengua. Esta tesis viene a apoyar la noción de *convergencia*, planteada por Green, Crinion y Price (2006), que sostiene que la adquisición de una nueva lengua tendrá, necesariamente, consecuencias funcionales y estructurales, y que la representación de una L2 tenderá a converger con la de los hablantes de la L1, según se avance en nivel de competencia. En esta tesitura, no sería necesario diferenciar de manera tan categórica la adquisición de una L1 y de una L2, sobre todo, asumiendo que la adquisición de lenguas es una característica innata del ser humano, expresada en su material genético (Reiterer, 2010).

En segundo lugar, se encuentra el factor de la edad, unido a la noción de periodos *sensibles*. La edad de adquisición ha desempeñado un papel central en el estudio del aprendizaje del lenguaje y, hasta la fecha, hay tanta literatura que le asigna un papel protagonista, como literatura que no lo hace (Reiterer, 2010). En lo referente a los periodos *sensibles*, no parece haber mucho acuerdo, ni respecto a su verdadera existencia, ni respecto a su edad de aparición, aunque, lo que sí estaría claro es que, generalmente, existen diferencias claras en el nivel de competencia y automatización de la L2 en adultos y la L1 en niños (Birdsong, 2006; Kuhl, 2011; Knowland y Donlan, 2014). Según Birdsong (2006), la edad de adquisición es el factor que, aisladamente, mejor predice el nivel de competencia lingüística, y es inversamente proporcional, tanto a la competencia morfosintáctica, como a la consecución de una pronunciación más semejante a la nativa.

Para evaluar la influencia de la edad, es necesario tener en cuenta el proceso ontogénico de adquisición del lenguaje (Knowland y Donlan, 2014). El desarrollo fonológico manifiesta su punto álgido durante el primer año de vida. En este momento, los niños pasan de ser capaces de distinguir cualquier fonema a especializarse en aquellos relevantes a su lengua materna, mediante la identificación de patrones de frecuencia distribuidos, produciéndose el denominado *compromiso neural* con la lengua materna (Kuhl, 2011). En el caso de los niños bilingües, esta especialización se produciría en un momento más tardío, al tener que identificar distribuciones estadísticas diferentes en cada idioma. A partir de los 18 meses, se produce un rápido incremento en la adquisición de vocabulario y, entre los 18 y los 36 meses, florece el aprendizaje sintáctico (Kuhl, 2011). Antes de comenzar el

periodo escolar, hacia los 5 o 6 años, ya se ha producido un desarrollo considerable del lenguaje receptivo y productivo. Durante la etapa de primaria, la discriminación fonética y el procesamiento auditivo siguen progresando, a la par que la capacidad de comprensión de sintaxis compleja. En la adolescencia, el desarrollo lingüístico no se da por concluido, al contrario, se despliegan las habilidades pragmáticas y metapragmáticas, y la exigencia lingüística aumenta (Knowland y Donlan, 2014).

En general, parece más sencillo precisar los periodos *sensibles* para los procesos perceptivos de bajo nivel, como la discriminación fonológica (Huttenlocher, 2002; citado en Knowland y Donlan, 2014), cuyo periodo óptimo se establece en el primer año de vida, para después decaer de forma gradual (Kuhl, 2011). Sin embargo, su determinación se complica en las funciones más complejas, como la sintaxis o la semántica. Muchos estudios sitúan el final del periodo *sensible* relacionado con la competencia gramatical o léxica, en el final de la etapa madurativa, al concluir la pubertad, pero un meta-análisis sobre niveles de competencia morfosintáctica y de pronunciación, realizado por Birdsong (2005; citado en Birdsong, 2006), situó el final del periodo sensible, y, en consecuencia, el comienzo del declive, en un rango de edad que abarcaba hasta los 27,5 años. De acuerdo con este mismo autor, las razones de este declive vendrían dadas por una disminución en la velocidad de procesamiento, los déficits en la memoria de trabajo y la disminución de la habilidad de enfocar la atención en lo relevante, propias del envejecimiento cerebral que se produce a partir de la segunda década de vida. También podría estar relacionado el declive volumétrico de ciertas áreas cerebrales y con la disminución de la dopamina (Birdsong, 2006).

En tercer lugar, parece que la neurociencia cognitiva ha logrado demostrar que el papel del *input*, tanto en cantidad, como en calidad, es determinante en el desarrollo del lenguaje en la infancia (Kuhl, 2011; Knowland y Donlan, 2014). Los factores de tipo socioeconómico en el entorno del niño (formación y ocupación de los padres y nivel de ingresos) son los que más influencia tienen en el tipo de *input* que recibe. Siendo, por lo general, los entornos de menor nivel socio-económico los que producen *inputs* con menor riqueza léxica y variabilidad sintáctica. El *input* influye, de manera incontestable, pero variable, en el desarrollo de los distintos aspectos del lenguaje, teniendo más efecto sobre la percepción fonológica, el desarrollo léxico y la producción de sintaxis compleja, y menos, en la competencia de sintaxis simple. Al parecer, la riqueza y variabilidad del *input* permitirían que broten las diferencias inherentes al individuo, mientras que, un *input* empobrecido actuaría como factor limitador en el desarrollo (Knowland y Dolan, 2014). El *input* que reciben los bebés por parte de sus madres, se denomina *motherese* y se define

como un tipo de lenguaje acústicamente exagerado y lingüísticamente simplificado, de suma importancia para el desarrollo de la percepción fonética y sucesivo desarrollo lingüístico (Kuhl, 2011). En este contexto, la capacidad de aprendizaje de lenguaje de los bebés se determina en un entorno eminentemente social, de manera que es la interacción social, la que permite el desarrollo de habilidades computacionales en la infancia (Kuhl, 2001; Knowland y Dolan, 2014).

En cuarto lugar, durante los primeros meses de vida, la combinación de factores externos, como el *input* o el entorno socioeconómico, con determinados factores individuales, tiene una gran relevancia y es capaz de predecir la habilidad lingüística que puede alcanzar el niño con hasta 5 años de edad. Los dos factores individuales más trascendentales son la sensibilidad a transiciones auditivas rápidas y la categorización fonética apropiada (Kuhl, 2001; Knowland y Dolan, 2014). Estas dos habilidades cognitivas, unidas a la velocidad de procesamiento general y a las capacidades de la memoria de trabajo y de la memoria a largo plazo, podrían definir la aptitud lingüística individual (Dien, Weinberg, Blok, O'Rourke, Kayton y Hamedani, 2012).

En quinto lugar, la adquisición de una segunda, o más lenguas, incrementa la capacidad de control ejecutivo, asociada a dos propiedades diferenciadas: la habilidad de filtrar información irrelevante del entorno y la capacidad de inhibir respuestas inapropiadas (Rodríguez-Fornells, De Diego Balaguer y Münte, 2006). Esta mayor capacidad, definida inicialmente por Bialystok (Rodríguez-Fornells et al., 2006; de Bot, 2006; Green et al., 2006; Reiterer, 2010), sería consecuencia de los múltiples cambios de código y del incremento de control de atención requerido en los individuos bilingües. Según de Bot (2006), los efectos positivos percibidos en el bilingüismo no constituirían, en realidad, una mejor capacidad cognitiva, si no es en comparación con individuos monolingües, que poseen una menor capacidad en ese área, al estar *infrautilizando* su capacidad lingüística cerebral innata. En cualquier caso, esta capacidad optimizada también protegería de la pérdida de habilidades en la vejez y disminuiría el riesgo de demencia (Green et al., 2006).

Una vez comentadas las aportaciones de la neurociencia cognitiva concernientes al aprendizaje de segundas lenguas, en lo relativo a las contribuciones realizadas a la enseñanza, son pocos los autores que se aventuran a realizar recomendaciones específicas, o a plantear modelos pedagógicos concretos, por lo menos, en la literatura a la que se ha tenido acceso. Además, bastantes autores realizan recomendaciones que, en realidad, no son específicas del aprendizaje de segundas lenguas, sino aplicables a cualquier materia educativa, ya revisadas en el apartado 3.3.3.

No obstante, en el apartado anterior se presentó un modelo, denominado enfoque neurolingüístico (NLA), planteado por Netten y Germain, que, basándose en la teoría sobre el bilingüismo de Paradis (1994, 2004, 2009; citado en Netten y Germain, 2012), propone 5 principios pedagógicos específicos para mejorar las habilidades comunicativas de los alumnos de L2. Por medio del modelo NLA, los autores desarrollaron un nuevo programa curricular, llamado *Intensive French*, para sustituir al tradicional *Core French*, que ofrecía 90-120 horas anuales de instrucción. En el momento de la presentación del modelo (2012), el nuevo programa ya se estaba aplicando en dos centros escolares de Canadá, con muy buenos resultados, cercanos a los obtenidos por los alumnos de inmersión (metodología AICLE).

Los principios que plantean Netten y Germain (2012) están enfocados a la adquisición de la habilidad comunicativa, por medio de la competencia implícita y el conocimiento explícito de la lengua (Netten y Germain, 2012: p. 93)<sup>13</sup>:

- Principio 1: Adquisición de una gramática interna – creación de competencia implícita.
- Principio 2: Uso de una pedagogía basada en la alfabetización – priorizar el desarrollo del lenguaje oral.
- Principio 3: Uso de una pedagogía basada en proyectos – enfoque en el significado y no en la forma.
- Principio 4: Uso de situaciones comunicativas auténticas – crear situaciones comunicativas auténticas en el aula.
- Principio 5: Uso de estrategias de enseñanza interactivas – interacción de los alumnos en el aula.

Aparte de este modelo, la recomendación más extendida para la enseñanza de segundas lenguas, es la de priorizar, en las primeras fases, el lenguaje oral sobre el lenguaje escrito, con el fin de fomentar la capacidad comunicativa y seguir los patrones naturales de adquisición de la lengua (Knowland y Donlan, 2014; Netten y Germain, 2012; Talukder, 2001).

---

<sup>13</sup> Traducción de la autora del trabajo. Texto original (Netten y Germain, 2012: p. 93):

- Creation of implicit competence – acquisition of an internal grammar.
- Primacy of oral development – use of a literacy-based pedagogy.
- Focus on meaning rather than form – use of a project-based pedagogy.
- Authenticity of language and communication situations – creation of authentic communicative situations in the classroom.
- Interaction between students in the classroom – use of interactive teaching strategies.

#### 4. DISCUSIÓN

El fin último de este trabajo es ofrecer una perspectiva del escenario actual de la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas. Para poder lograrlo, ha sido necesario construir el conocimiento siguiendo un itinerario que avanza desde lo más amplio a lo más específico. Por este motivo, el recorrido realizado discurre entre lo estrictamente biológico, la neurociencia, y el estudio de los procesos mentales humanos, la neurociencia cognitiva. De este modo, se parte de su aplicación a una disciplina general y amplia, como es la educación, hasta alcanzar una perspectiva mucho más específica, la adquisición de segundas lenguas.

El estudio de la neurociencia permite entender las bases biológicas de los sistemas sensoriales y motores, así como de las funciones cerebrales superiores. Además, explica los procesos fisiológicos subyacentes a determinados mecanismos, como la plasticidad neuronal, esenciales para el desarrollo y el aprendizaje. La evolución histórica de la disciplina ofrece un relato de los hitos más importantes, así como una descripción de sus debates filosóficos inherentes, que son, la polémica mente-cerebro y la cuestión localista-holista, que continúan vigentes en la actualidad (Cavada, 2014; Blanco, 2014).

La relación entre la estructura cerebral y los procesos mentales, lo biológico y lo inmaterial, es el objeto de estudio de la neurociencia cognitiva (Ruiz-Vargas, 1999; Redolar-Ripoll, 2014; Ruz et al., 2006). La nueva disciplina, surgida formalmente a finales de los 70, se sirve de los instrumentos y teorías de la psicología cognitiva y de la neurociencia para estudiar los fundamentos biológicos de la cognición (Bauer, 2009). Entre los acontecimientos más importantes para la evolución de la disciplina, se encuentra el desarrollo de los métodos de diagnóstico no invasivos basados en la neuroimagen, que permitieron, por primera vez, observar la actividad mental en vivo (Ruz et al., 2006; Saulea y Matínez, 1995). No obstante, tampoco hay que olvidar los métodos de registro electrofisiológico, que, aunque de tecnología menos sofisticada, proporcionan información muy importante y tienen ventajas sobre los anteriores, en cuanto a coste y resolución temporal (Pereyra, 2011).

La neurociencia cognitiva profundiza en el rol de la plasticidad cerebral y del estrés en los procesos cognitivos, intentando explicar el nexo de unión entre las redes neurales o la arquitectura cerebral y las denominadas funciones cognitivas superiores. El conocimiento de estas funciones (percepción, memoria, lenguaje, atención, emoción, función ejecutiva) es clave para interpretar y comprender los procesos de aprendizaje. Así, por ejemplo, la percepción moldea los límites de la cognición (Movshon y Wandell, 2009); la memoria permite la retención, almacenaje y recuperación de lo aprendido (Belmar, 2001; Cumpa, 2004); el lenguaje posibilita

la codificación de ideas (Dronkers et al., 2000); la atención inhibe los estímulos superfluos en detrimento de los relevantes (Belmar, 2001); la emoción guía hacia la adquisición de normas de conducta para asegurar una adaptación social adecuada (Heatherton y LeDoux, 2009); la conciencia permite la autopercepción en el entorno (Sapper, 2000); y las funciones ejecutivas engloban un conjunto de habilidades complejas que facilitan la interacción (Phelps, 2009).

La neurociencia cognitiva es un campo científico interdisciplinar, en tanto que el estudio de los procesos mentales es pertinente a casi cualquier campo de la actividad humana. En las últimas décadas, una de las aplicaciones de la neurociencia se ha visto materializada en una nueva disciplina, denominada neuroeducación, que pretende conseguir la transformación de la práctica educativa por medio de las aportaciones de la neurociencia (The Royal Society, 2011). No obstante, la relación entre ambos campos científicos no está exenta de polémica, ya que existen muchos puntos de vista sobre cómo deberían integrarse, o incluso, acerca de si esa integración es realmente viable hoy por hoy (Howard-Jones, 2014b). Tal como comentan Beauchamp y Beauchamp (2012) en su artículo sobre revisión de literatura acerca de neuroeducación, prácticamente la mitad de las publicaciones sugieren una incorrecta interpretación y aplicación de las averiguaciones neurocientíficas por parte de la comunidad educativa. Si bien, hay casi otras tantas publicaciones que son optimistas sobre las bondades de una interrelación.

De cara a investigar esta cuestión en detalle y poder realizar una valoración personal, se ha procedido a examinar un número significativo de fuentes sobre el tema. En primer lugar, se han estudiado las averiguaciones de la neurociencia sobre los principales procesos cognitivos involucrados en los procesos de enseñanza-aprendizaje: desarrollo cerebral, lenguaje y lectura, capacidad matemática, atención y control ejecutivo y emoción. En segundo lugar, se ha revisado qué aportaciones específicas se realizan a la pedagogía y pueden ser trasladadas a la práctica en el aula. Por último, se han presentado los *neuromitos* o interpretaciones erróneas más extendidas sobre los estudios neurocientíficos.

Lo primero que se puede señalar es que, a pesar de tratarse de un campo científico, no se dan verdades incuestionables, ya que existen varios factores que obstaculizan la obtención de conclusiones determinantes y globales. Algunos de estos factores son los siguientes: la complejidad y el variado planteamiento de las investigaciones, la gran diversidad y posibilidades de combinación de elementos genéticos y ambientales, el reto de extrapolar y traducir datos entre disciplinas y, por último, la dificultad de establecer relaciones causales entre la arquitectura cerebral o los patrones de activación neuronal y las conductas humanas resultantes. Por otra

parte, los resultados de los estudios sobre neuroeducación no ofrecen, hoy por hoy, recetas pedagógicas universales, pero sí ayudan a la comprensión del proceso de desarrollo cerebral y de las funciones cognitivas, sirviendo de guía en el proceso educativo y aportando nociones de utilidad aplicables en el aula.

Algunas de estas contribuciones instruyen sobre el valor de las emociones en el proceso educativo (Hinton et al., 2012; Sousa, 2011; Immordino-Yang y Damasio, 2011; Tiching, 2015; The Royal Society, 2011; Willis, 2010) y el papel negativo del estrés (Goswami, 2006; Sousa, 2011; Hinton et al., 2012; Tiching, 2015), emplazando a generar climas beneficiosos para el aprendizaje en el aula. Otras aportaciones ratifican teorías tan asentadas como el proceso de construcción del conocimiento de Piaget (Willis, 2010; Dubinsky et al., 2013; Thomas y Laurillard, 2014) o las tesis sobre el aprendizaje en la zona de desarrollo próximo de Vygotsky (Bavelier et al. 2009; Willis, 2010). Las contribuciones en neurociencia educativa también contribuyen a desmontar mitos tan extendidos como la creencia de que los seres humanos sólo usan el 10% del cerebro, siendo el 90% restante capacidad potencial (Geake, 2008; Centre for Educational Neuroscience, 2016; Howard-Jones, 2014b) o la catalogación de los alumnos según su hemisferio dominante, en función de las habilidades que manifiestan (Geake, 2008; Howard-Jones, 2007; Howard-Jones, 2014b; Goswami, 2006; Centre for Educational Neuroscience, 2016).

La neurociencia cognitiva enfocada al aprendizaje de segundas lenguas constituye una aplicación aún más específica de la disciplina y un nuevo área disciplinar, que involucra campos como la psicología, la lingüística, la filosofía, las ciencias computacionales, la antropología y, por supuesto, la neurociencia (Grimaldi, 2012). La relación entre todos ellos es muy compleja, ya que parten de modelos científicos muy distintos y operan con niveles de análisis incomparables (Hagoort, 2006). El propósito de este apartado ha sido conocer el actual escenario de esta nueva disciplina y sus aportaciones específicas a los procesos de adquisición y enseñanza de segundas lenguas. Antes de profundizar en ello, se ha tomado como punto de partida la enumeración de los principales factores que participan en el aprendizaje de lenguas, ya que conforman el andamiaje a partir del cual se puede ir construyendo el conocimiento sobre dicho aprendizaje. También se han estudiado los principales paradigmas y teorías sobre aprendizaje de segundas lenguas surgidas fuera del ámbito de la neurociencia cognitiva.

Tal como adelanta Ellis (1986), el aprendizaje de segundas lenguas es un proceso de gran complejidad, en el que intervienen multitud de factores, tanto internos, como externos al individuo. Entre los factores que surgen dentro de la esfera del aprendiz, la edad es uno de los más estudiados, ya que tiene una especial

repercusión en la rapidez del aprendizaje y la competencia finalmente alcanzada (Ellis, 1986). En cuanto a los factores que se dan fuera del ámbito personal del aprendiz, el *input* desempeña un rol prominente. En lo referente a las principales teorías de aprendizaje de segundas lenguas, éstas se enmarcan en cuatro paradigmas o enfoques distintos. El enfoque *conductista* postula que cualquier conducta es susceptible de ser aprendida por medio de los estímulos del entorno (Malone, 2014), y se contrapone al enfoque *mentalista o nativista*, que minimiza la importancia del estímulo externo, defendiendo el innatismo del lenguaje (Menezes, 2013; Malone, 2014). El paradigma sociocultural defiende que el aprendizaje del lenguaje es un proceso de interiorización mediado socialmente (Menezes, 2013; Malone, 2014; Johnson y Johnson, 1999), mientras que el enfoque cognitivo busca conocer los mecanismos psicológicos que apuntalan las funciones mentales (Harrington, 2002).

Desde el enfoque de la neurociencia cognitiva, no se ha formulado aún una teoría concluyente sobre el aprendizaje del lenguaje (Grimaldi, 2012), de hecho, ni siquiera se comprenden aún del todo sus bases neurales (Society for Neuroscience, 2012b). Sin embargo, durante la revisión, se han localizado dos modelos que proponen una teoría sobre el aprendizaje de segundas lenguas: el modelo DP (Ullman, 2005, 2016) y el modelo NLA, basado en la teoría neurolingüística del bilingüismo de Michel Paradis (Netten y Germain, 2012). Ambos modelos comparten características comunes, como el planteamiento de dependencia hacia la memoria declarativa por parte de los aprendices de L2 tardíos o un mayor uso de la memoria procedural en los hablantes de L1 o de L2 temprana (Ullman, 2005). Pero también divergen en bastantes aspectos, como la definición del lexicón mental o diferencias a nivel neuroanatómico (Ullman, 2005). Desde una óptica personal, el modelo DP ahonda más en variables internas como la edad o las diferencias de género, mientras que el modelo NLA profundiza más en factores como el *input* o las estrategias de aprendizaje. Además, este último plantea principios pedagógicos concretos, por lo que, resulta de mayor utilidad en el aula.

A pesar de que el campo teórico es aún incipiente, el creciente interés por parte de la comunidad educativa en la neurociencia cognitiva ha suscitado la publicación de numerosos estudios que han aportado variedad de conclusiones, también en el área del aprendizaje de segundas lenguas. A continuación, se van a presentar algunas de ellas. En primer lugar, en cuanto a la representación cerebral de las lenguas, aunque hay diferentes opiniones, cada vez se tiende más a la noción de *convergencia*, que implica que la representación de la L2 tenderá a ser más parecida a la de la L1, a mayor nivel de competencia (Green et al, 2006). Según Reiterer (2010), esto plantearía una acepción común en la adquisición de lenguas, ya

sea L1, L2 o siguientes. En segundo lugar, en lo referente al factor edad, aunque, según Birdsong, (2006) es el que mejor predice el nivel de competencia lingüística, también es el que menos consenso suscita. Parece relativamente sencillo determinar el periodo *sensible* de procesos de bajo nivel como la discriminación fonológica (Hutten locher, 2002; citado en Knowland y Donlan, 2014), pero resulta más complicado para funciones más complejas, como el procesamiento sintáctico y semántico. En tercer lugar, en cuanto al *input*, se ha comprobado que tanto su cantidad, como su calidad, son determinantes en el desarrollo de lenguaje en la infancia (Kuhl, 2011; Knowland y Donlan, 2014), ya que su escasez limita el desarrollo, mientras que su abundancia y riqueza hacen germinar las aptitudes individuales (Knowland y Donlan, 2014). En cuarto lugar, en lo que concierne a la aptitud lingüística individual, se ha averiguado que es posible predecirla, en función de una interacción de las siguientes habilidades: la sensibilidad a transiciones auditivas rápidas, la categorización fonética apropiada, la velocidad de procesamiento general y las capacidades de memoria de trabajo y de memoria a largo plazo (Dien et al., 2012). Estas aptitudes, en combinación con factores externos, son definitorias en la habilidad lingüística que se puede alcanzar desde la infancia más temprana (Kuhl, 2011; Knowland y Donlan, 2014). Por último, se señalan algunas conclusiones en referencia a los beneficios del bilingüismo. La competencia en dos o más lenguas tiene efectos positivos sobre el control ejecutivo, relacionado con la habilidad de filtrar información superflua y de inhibir respuestas inconvenientes (Rodríguez-Fornells et al., 2006). También podría suponer ventajas a largo plazo, como la protección contra la demencia y la pérdida de habilidades en la vejez (Green et al., 2006).

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo ha sido realizar un estudio sobre la actual situación del campo de la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas. Para ello, se han tenido en cuenta diferentes objetivos específicos.

Con el fin de alcanzar el primer objetivo específico, dibujar las características principales de la neurociencia y la neurociencia cognitiva, se han seguido distintos pasos. En lo referente a la neurociencia, se ha tratado de definir y delimitar la disciplina, comprender su evolución histórica y los hitos principales de su desarrollo. Además, se han descrito las bases sobre las que se sustenta, que son el estudio del sistema nervioso y del cerebro, describiendo sus principales componentes, los sistemas sensoriales y motores, así como las características del sueño y la vigila. Esta revisión ha permitido conocer, de forma sucinta, las particularidades de una de las disciplinas fundacionales de la neurociencia cognitiva y delinear la base fisiológica sobre la que se apoya. De este modo, se puede concluir que el conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro, las funciones del sistema nervioso y mecanismos cerebrales, como la plasticidad o el estrés, pueden ser de gran relevancia en la función docente, ya que ayudan a entender muchos aspectos del proceso de aprendizaje y a promover una reflexión sobre la práctica pedagógica.

En cuanto a la neurociencia cognitiva, continuando con el primer objetivo específico, se ha procedido a conceptualizar la disciplina, describiendo su nacimiento y su relación con sus disciplinas constituyentes, la neurociencia y la psicología cognitiva. También se han enumerado y explicado, brevemente, las técnicas y métodos de investigación más usados, incidiendo en las técnicas de neuroimagen, por considerarse una de las claves de la evolución de este campo científico. De la misma manera, se ha precisado su objeto de estudio, que es analizar los fundamentos biológicos de las funciones cognitivas humanas, y se han esbozado las características básicas de dichas funciones. Esto ha permitido entender la mecánica básica de los procesos cognitivos involucrados en las situaciones de enseñanza-aprendizaje, sentando las bases para los siguientes objetivos específicos. Se ha podido comprobar que, tanto la neurociencia, como la neurociencia cognitiva, son disciplinas muy complejas y prolíficas, con un lenguaje propio diferente del utilizado por la comunidad educativa. A pesar de ello, se espera haber logrado el objetivo de perfilar, de forma somera, las características de ambas disciplinas. Asimismo, aún estando en un estadio inicial de desarrollo, se puede anticipar que, gracias al empleo de nuevos métodos diagnósticos, las dos especialidades podrían realizar aportaciones muy beneficiosas a otras áreas de actividad, siempre que se superen los obstáculos de comunicación existentes.

En el segundo objetivo, se proponía revisar el alcance de la neurociencia educativa como nueva disciplina surgida para unir la neurociencia cognitiva en el campo de la educación. Para conseguir este objetivo, se ha descrito el surgimiento de la neuroeducación, dando cuenta de la relación e interacción entre los distintos campos científicos que la componen: educación, psicología cognitiva y neurociencia. Además, para realizar un dibujo completo, se ha recogido tanto la opinión de las voces críticas con la disciplina, como la de las favorables. Se han analizado, también, las premisas de la neuroeducación acerca de los procesos cognitivos más relevantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Y, por último, se han reunido las aportaciones más extendidas y concluyentes de la neurociencia educativa a la práctica pedagógica, así como los *neuromitos* más arraigados. A este respecto, se puede concluir que la neurociencia cognitiva ha realizado contribuciones muy beneficiosas en el área educativa, tanto en forma de sugerencias prácticas, como a la hora de desmontar creencias infundadas o insuficientemente demostradas. Al estar en una fase todavía incipiente, se puede conjeturar que, siempre que se hagan frente a las limitaciones filosóficas, interpretativas, lingüísticas o de conocimiento que obstaculizan la comunicación, la neurociencia educativa podrá realizar aportaciones cada vez más valiosas. En un futuro, podría ser tenida en cuenta, por ejemplo, para desarrollar modelos pedagógicos o planes curriculares o, incluso, llegar a emplearse, de manera sistemática, para la detección temprana de dificultades o para el diagnóstico de potenciales de aprendizaje en los alumnos.

En cuanto al tercer objetivo específico, estudiar las aportaciones y postulados de la neurociencia cognitiva en el área del aprendizaje de segundas lenguas, se han considerado diferentes aspectos para alcanzarlo. Por un lado, se han investigado las teorías sobre el aprendizaje de segundas lenguas en el marco de la neurociencia cognitiva, área que no ha resultado ser muy productiva, encontrando únicamente dos modelos que aborden la cuestión. Y, por el otro, se han repasado algunas de las investigaciones más recientes, buscando extraer las principales contribuciones efectuadas por esta disciplina a los procesos de aprendizaje o adquisición de segundas lenguas. Así, en primer lugar, se ha podido concluir que los problemas de comunicación y transferencia, que padece la neuroeducación, son aún más problemáticos en la neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje de segundas lenguas, ya que involucra un número todavía mayor de campos científicos, como pueden ser las ciencias computacionales, la lingüística o la psicología. En consecuencia, la labor teórica está, aún, en una fase muy prematura. En segundo lugar, se ha evidenciado una ingente labor de investigación en esta área, sin que, por el momento, se haya podido construir una teoría neural que informe, de manera

concluyente, sobre las operaciones computacionales lingüísticas. En tercer lugar, se ha apreciado que, en ocasiones, y desde la perspectiva de una persona inexperta, los resultados de los diferentes estudios sobre una misma temática parecen apuntar en distintas direcciones. Se puede suponer que, quizás, las variables tenidas en cuenta en los estudios seleccionados sean ligeramente distintas o que no se utilicen exactamente las mismas técnicas diagnósticas. En definitiva, esta tesitura permite entrever las dificultades que surgen a la hora de abordar un estudio de estas características. En cualquier caso, a pesar de esta dificultad, no se pueden desdeñar las importantes contribuciones realizadas en relación a los diferentes factores involucrados en el aprendizaje de segundas lenguas, como la importancia del *input* o el impacto del factor edad.

En el cuarto objetivo específico, se pretendía contrastar las aportaciones y postulados de la neurociencia cognitiva en el aprendizaje de segundas lenguas, desde la perspectiva de las teorías clásicas, partiendo de los principales factores involucrados en el aprendizaje de una lengua. Para llegar a ello, en primer lugar, se han presentado los principales factores, internos y externos, que participan en el aprendizaje de lenguas, con el fin de ser utilizados como base para el contraste. En segundo lugar, se han expuesto las principales teorías clásicas sobre aprendizaje de segundas lenguas impulsadas por los paradigmas lingüísticos más representativos. Se considera que este objetivo se ha alcanzado sólo en parte, por una serie de motivos. En primer lugar, como ya se ha comentado, no abundan los marcos teóricos sobre el aprendizaje de segundas lenguas basados en la neurociencia cognitiva y, además, no se ha hallado información crítica acerca de los dos modelos teóricos encontrados, por lo que se desconoce la aceptación que puedan tener entre el público especialista. En segundo lugar, hay un número muy elevado de teorías clásicas, planteadas desde enfoques muy dispares, que, además, se centran sobre aspectos distintos, por lo que resulta muy complejo realizar una comparativa. En tercer lugar, los modelos científicos de las teorías clásicas y de las teorías planteadas en el marco de la neurociencia son muy diferentes, por lo tanto, los niveles de análisis resultan muy difíciles de comparar, sobre todo, para una persona que carece del conocimiento suficiente. Por último, aún teniendo en cuenta las limitaciones especificadas en el párrafo anterior, sería más razonable centrarse en contrastar, de manera individual, los aportes realizados en relación a los distintos factores que intervienen en el aprendizaje.

Mediante el desarrollo de estos cuatro objetivos, se ha intentado conseguir el objetivo general del trabajo. Se espera haber logrado alcanzarlo, al menos, en parte, aunque sería necesaria una profundización mucho mayor en algunos aspectos de la

investigación. Del estudio realizado, se puede concluir que la neurociencia cognitiva aún no ha alcanzado todo su potencial, al menos en lo referente a la instrucción a disciplinas paralelas, como la educación o la lingüística. Para lograrlo, sería necesario desarrollar modelos científicos que permitan cerrar las brechas existentes entre la neurociencia cognitiva y los campos científicos afines. Con este fin, sería conveniente formar un elenco de investigadores con conocimientos, tanto en investigación educativa o lingüística, como en técnicas y métodos neurocientíficos, para poder extraer las conclusiones relevantes y transferirlas a un lenguaje inteligible para la comunidad educativa. Con todo, en la mayoría de los tipos de actividad humana intervienen siempre factores variados, tanto individuales, como sociales, que no son reproducibles en un laboratorio. Por este motivo, es posible que la neurociencia no sea nunca capaz de tener en cuenta todos los condicionantes y administrar recetas de aplicación universal.

## **6. LIMITACIONES Y PROSPECTIVA**

En este apartado, se van a comentar las principales limitaciones surgidas durante la realización de este trabajo fin de máster y las líneas de investigación futura detectadas.

### **6.1 Limitaciones**

Durante la realización de este trabajo, se han presentado varios tipos de limitaciones o dificultades, algunas de tipo personal, otras de planteamiento y otras derivadas de las particularidades del tema elegido.

Se va a comenzar presentando la principal limitación referente al planteamiento del trabajo:

- Considerando la extensión requerida en un trabajo de este tipo, el planteamiento de objetivos ha sido excesivamente ambicioso, dando lugar a una revisión bibliográfica muy amplia y resultando en una exposición de determinados apartados del marco teórico excesivamente escueta.

Las dificultades de tipo personal han consistido en lo siguiente:

- Falta de experiencia en la realización de un trabajo académico de estas características.
- Escasez de conocimiento científico apropiado para abordar algunos de los temas planteados.
- A pesar de que el tiempo previsto para la realización del trabajo era razonable, un planteamiento del trabajo inadecuado, unido a la necesidad de conciliar con otro tipo de actividades personales, ha supuesto que, finalmente, el tiempo disponible no haya resultado tan provechoso.

En cuanto a las limitaciones derivadas de las particularidades del tema elegido, se señalan las siguientes:

- Dadas las características de las disciplinas a investigar, la información disponible para consulta ha resultado abrumadora, tanto en cantidad, como en extensión.
- La mayor parte de la literatura disponible está dirigida a un público especialista, por lo que, su comprensión exhaustiva queda fuera del alcance de un público inexperto en determinadas ocasiones.

### **6.2 Prospectiva**

Una línea de investigación futura podría ir encaminada a profundizar en uno o varios de los aspectos tratados en el marco teórico de este el trabajo, en especial,

los referentes a las aportaciones de la neurociencia cognitiva a la educación y al aprendizaje o adquisición de segundas lenguas.

Otra línea de investigación podría estar relacionada con la ampliación del marco teórico, mediante la investigación sobre contribuciones de la neurociencia cognitiva a la práctica pedagógica de las segundas lenguas.

Finalmente, podría ser interesante realizar una propuesta de intervención para la enseñanza de segundas lenguas, basada en las aportaciones de la neurociencia cognitiva. Una vez diseñada, sería fundamental llevarla a la práctica para poder evaluarla y observar su aplicabilidad, sus fallos y sus aciertos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, M. y Della Sala, S. (2012). Neuroscience in education: an (opinionated) introduction. En M. Anderson y S. Della Sala (Edits.), *Neuroscience in Education. The good, the bad and the ugly* (pp. 3-12). New York: Oxford University Press.
- Bavelier, D. C., Green, S. y Dye, M. W. (2009). Exercising Your Brain: Training-related Brain Plasticity. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 153-164). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Beauchamp, M. y Beauchamp, C. (2012). Understanding the neuroscience and education connection: themes emerging from a review of the literature. En M. Anderson y S. Della Sala (Edits.), *Neuroscience in Education. The good, the bad and the ugly* (pp. 13-30). New York: Oxford University Press.
- Belmar, J. (2001). *Estructura, desarrollo y funciones del sistema nervioso*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/neurociencias/html/frame01.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/neurociencias/html/frame01.html)
- Birdsong, D. (2006). Age and Second Language Acquisition and Processing: A Selective Overview. En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 9-49). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Blanco, C. (2014). *Historia de la Neurociencia*. Madrid: Siglo XXI.
- British Neuroscience Association (2008). *Neurociencias. La ciencia del cerebro*. British Neuroscience Association. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de [https://www.bna.org.uk/static/uploads/resources/BNA\\_Spanish.pdf](https://www.bna.org.uk/static/uploads/resources/BNA_Spanish.pdf)
- British Neuroscience Assotiation (s.f.). *About Neuroscience. The British Neuroscience Association*. Recuperado el 4 de Otubre de 2016, de <https://www.bna.org.uk/about-neuroscience/>
- Bruer, J. T. (1997). Education and the Brain: A Bridge too Far? *Educational Researcher* , 26 (8), 4-16.
- Bruer, J. T. (2009). Mapping Cognitive Neuroscience: Two-dimensional perspectives on twenty years of cognitive neuroscience research. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 1221-1234). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Bunge, S. A. y Kahn, I. (2009). Cognition: An overview of Neuroimaging Techniques. En L. R. Squire (Ed.), *Encyclopedia of Neuroscience* (Vol. 2, pp. 1063-1067). Elsevier Ltd.

- Butterworth, B. y Tolmie, A. (2014). Chapter 1. Introduction. En D. Mareschal, B. Butterworth y A. Tolmie (Edits.), *Educational Neuroscience* (pp. 1-13). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Cavada, C. (2014). *Historia de la Neurociencia. Sociedad Española de Neurociencia*. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de [http://www.senc.es/sites/default/files/Historia\\_de\\_La\\_Neurociencia\\_CC.pdf](http://www.senc.es/sites/default/files/Historia_de_La_Neurociencia_CC.pdf)
- Centre for Educational Neuroscience (2016). *Neuro-hit or Neuro-myth? Centre for Educational Neuroscience*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016, de <http://www.educationalneuroscience.org.uk/?p=1069>
- Centre for Educational Neuroscience (s.f.). *What is educational neuroscience. Centre for Educational Neuroscience*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2016, de [http://www.educationalneuroscience.org.uk/?page\\_id=169](http://www.educationalneuroscience.org.uk/?page_id=169)
- Cohen, L. y Dehaene, S. (2009). Ventral and Dorsal Contributions to Word Reading. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 789-804). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Cumpa, J. G. (2004). *Neurociencia Cognitiva y Educación*. Lambayeque: Fondo Editorial FACHSE.
- de Bot, K. (2006). The Plastic Bilingual Brain: Synaptic Pruning or Growth? Commentary on Green, et al. En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 127-132). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Dien, J., Weinberg, A., Blok, S., O'Rourke, P., Kayton, K. y Hamedani, N. (2012). *Cognitive neuroscience of second language acquisition. The Department of Defense research landscape*. University of Maryland.
- Dronkers, N. F., Pinker, S. y Damasio, A. (2000). Language and the Aphasias. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 1170-1186). New York: McGraw Hill.
- Dubinsky, J. M., Roehrig, G. y Varma, S. (2013). Infusing Neuroscience into Teacher Professional Development. *Educational Researcher*, 42 (6), 317-329. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4485447/pdf/nihms-691020.pdf>.
- Ellis, R. (1994). *The Study of Second Language Acquisition*. Oxford: Oxford University Press.
- Ellis, R. (1986). *Understanding Second Language Acquisition*. Oxford: Oxford University Press.

- Fitch, W. T. (2009). The Biology and Evolution of Language: "Deep Homology" and the Evolution of Innovation. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 873-880). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. *Educational Research*, 50 (2), 123-133. Recuperado el 21 de Noviembre de 2016 de, <http://amyalexander.wiki.westga.edu/file/view/neuromythologies-p.pdf>.
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: from research to practice? *Nature Reviews. Neuroscience*, 7, 406-413. Recuperado el 11 de Septiembre de 2016, de <http://www.educationalneuroscience.org.uk/wordpress/wp-content/uploads/2016/01/Goswami-2006-neuromyths.pdf>.
- Green, D. W., Crinion, J. y Price, C. J. (2006). Convergence, Degeneracy, and Control. En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 99-125). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Greenstone, H. (2011). Executive Function in the Classroom: Neurological Implications for Classroom Intervention. *LEARning Landscapes*, 5 (1), 101-113. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de <http://www.learninglandscapes.ca/images/documents/ll-no9-final-lr-2.pdf>.
- Grimaldi, M. (2012). Toward a neural theory of language: Old issues and new perspectives. *Journal of Neurolinguistics*, XXX, 1-24. Recuperado el 11 de Diciembre de 2016, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.7983&rep=rep1&type=pdf>.
- Gross, C. G. (1987). Early History of Neuroscience. En G. Adelman, *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 843-847). Boston: Birkhäuser.
- Hagoort, P. (2006). What We Cannot Learn From Neuroanatomy About Language Learning and Language Processing. Commentary on Uylings. En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 91-97). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Harrington, M. (2002). Cognitive perspectives on second language acquisition. En R. B. Kaplan (Ed.), *The Oxford Handbook of Applied Linguistics* (pp. 125-140). New York: Oxford University Press.
- Heatherton, T. F. y LeDoux, J. E. (2009). VIII. The Emotional and Social Brain. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 887-888). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Hinton, C., Fischer, K. W. y Glennon, C. (2012). *Mind, Brain and Education*. Boston: Jobs for the Future.

- Howard-Jones, P. A., Varma, S., Ansari, D., Butterworth, B., De Smedt, B., Goswami, U., Laurillard, D. y Thomas, M. S. C. (2016). The Principles and Practices of Educational Neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*, 123 (5), 620-627. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de [https://static1.squarespace.com/static/520e383ee4b021a19fa28bf7/t/580f8565d1758ebb6aad8b6c/1477412197899/rev\\_123\\_5\\_620.pdf.pdf](https://static1.squarespace.com/static/520e383ee4b021a19fa28bf7/t/580f8565d1758ebb6aad8b6c/1477412197899/rev_123_5_620.pdf.pdf).
- Howard-Jones, P. (2007). *Neuroscience and Education. Issues and Opportunities. A Commentary by the Teaching and Learning Research Programme*. London: TLRP-ERSC.
- Howard-Jones, P. (2014a). *Neuroscience and Education: A Review of Educational Interventions and Approaches Informed by Neuroscience*. Millbank: Education Endowment Foundation.
- Howard-Jones, P. (2014b). Neuroscience and Education: myths and messages. *Nature Reviews. Neuroscience*, 15, 817-824. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de [https://www.researchgate.net/publication/266945518\\_Neuroscience\\_and\\_education\\_Myths\\_and\\_messages](https://www.researchgate.net/publication/266945518_Neuroscience_and_education_Myths_and_messages).
- Hruby, G. G. (2012). Three requirements for justifying an educational neuroscience. *Educational Psychology*, 82, 1-23. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de [http://www.academia.edu/1479066/Three\\_Requirements\\_for\\_Justifying\\_a\\_n\\_Educational\\_Neuroscience](http://www.academia.edu/1479066/Three_Requirements_for_Justifying_a_n_Educational_Neuroscience).
- Hulin, R. y Na, X. (2014). A Study of Chomsky's Universal Grammar in Second Language Acquisition. *International Journal on Studies in English Language and Literature (IJSELL)*, 12 (2), 1-7. Recuperado el 6 de Diciembre de 2016, de <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijSELL/v2-i12/1.pdf>.
- Hunter, A. (2009). *A (very) brief history of neuroscience*. *Brain World Magazine*. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de <http://brainworldmagazine.com/a-very-brief-history-of-neuroscience/>
- Hurtado, P. y Hurtado, M. (1992). Teorías sobre el aprendizaje y adquisición de una segunda lengua. Influencia del español en el aprendizaje del inglés. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 7, 183-192.
- Immordino-Yang, M. H. y Damasio, A. (2011). We Feel, Therefore We Learn: The Relevance of Affective and Social Neuroscience to Education. *LEARNING Landscapes*, 5 (1), 115-131. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de <http://www.learninglandscapes.ca/images/documents/ll-no9-final-lr-2.pdf>.

- Indefrey, P. (2006). A Meta-analysis of Hemodynamic Studies on First and Second Language Processing: Which Suggested Differences Can We Trust and What Do They Mean? En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 279-304). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Iversen, S., Kupfermann, I. y Kandel, E. R. (2000a). Emotional States and Feelings. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 983-995). New York: McGraw-Hill.
- Iversen, S., Kupfermann, I. y Kandel, E. R. (2000b). Learning and Memory. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 1128-1248). New York: McGraw-Hill.
- Johnson, K. y Johnson, H. (Edits.) (1999). *Encyclopedic Dictionary of Applied Linguistics*. Oxford: Blackwell Publishing. Recuperado el 4 de Diciembre de 2016, de <http://www.stibamalang.com/uploadbank/pustaka/MKLINGUISTIK/ENCY%20APPLIED%20LING.pdf>.
- Kandel, E. R. (2000a). Cellular Mechanisms of Learning and the Biological Basis of Individuality. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 1247-1277). New York: McGraw-Hill.
- Kandel, E. R. (2000b). The Brain and Behaviour. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 6-18). New York: McGraw-Hill.
- Koch, C. (2009). X. Consciousness. Introduction. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 1107-1109). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Kovas, Y. y Plomin, R. (2012). Genetics and genomics: good, bad and ugly. En M. Anderson y S. Della Sala (Edits.), *Neuroscience in Education. The good, the bad and the ugly* (pp. 155-212). New York: Oxford University Press.
- Knowland, V. y Donlan, C. (2014). Chapter 6. Language Development. En D. Mareschal, B. Butterworth y A. Tolmie (Edits.), *Educational Neuroscience* (pp. 135-166). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kuhl, P. (2011). Early Language Learning and Literacy: Neuroscience Implications for Education. *Mind, Brain and Education* , 5 (3), 128-142. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3164118/>.

- Kuhl, P. K. (2009). Early Language Acquisition: Neural Substrates and Theoretical Models. En G. S. Michael (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 837-850). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Luck, S. J. y Mangun, G. R. (2009). III. Attention. Introduction. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 185-187). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Madrid, D. (1995). Internal and external factors affecting foreign language teaching and learning. *Actas de las II Jornadas de Estudios Ingleses. Universidad de Jaén, 2 (2)*, pp. 59-82. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de <http://www.ugr.es/~dmadrid/Publicaciones/Individual%20differences.pdf>.
- Malone, D. (2012). *Theories and Research of Second Language Acquisition. SIL International*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de [https://www.sil.org/sites/default/files/files/theories\\_and\\_research\\_of\\_second\\_language\\_acquisition.pdf](https://www.sil.org/sites/default/files/files/theories_and_research_of_second_language_acquisition.pdf)
- Mangels, J. (2003). *History of Neuroscience. Columbia University*. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de <http://www.columbia.edu/cu/psychology/courses/1010/mangels/neuro/history/history.html>
- McLeod, S. (2015). *Cognitive Psychology. Simply Psychology*. Recuperado el 24 de Octubre de 2016, de <http://www.simplypsychology.org/cognitive.html>
- Menezes, V. (2013). Second Language Acquisition: Reconciling Theories. *Open Journal of Applied Sciences, 3*, 404-412. Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de [http://file.scirp.org/pdf/OJAppS\\_2013110516150917.pdf](http://file.scirp.org/pdf/OJAppS_2013110516150917.pdf).
- Movshon, A. J. y Wandell, B. A. (2009). IV. Sensation and Perception. Introduction. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 305-307). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Netten, J. y Germain, C. (2012). A new paradigm for the learning of a second or foreign language: the neurolinguistic approach. *Neuroeducation, 1 (1)*, 85-114. Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de <http://www.francaisintensif.ca/media/acc-01a-a-new-paradigm-2012.pdf>.
- Neville, H. y Sur. M. (2009). II. Plasticity. Introduction. En M. S. Gazzaniga, *The cognitive neurosciences* (pp. 89-90). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Palacios, I. (2006). Aprendiendo a aprender en el aula de lenguas extranjeras. Las estrategias de aprendizaje y su tratamiento en el aula. En *El Portfolio Europeo de Lenguas* (pp. 129-170). Madrid: Ministerio de Educación.

- Pereyra, J. S. (2011). *Métodos en Neurociencias Cognoscitivas*. Ciudad de México: El Manual Moderno.
- Phelps, E. A. (2009). IX. Higher Cognitive Functions. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 1003-1004). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Ramus, F. y Fischer, S. E. (2009). Genetics of Language. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 855-872). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Redolar-Ripoll, D. (2014). *Neurociencia cognitiva*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www3.uji.es/~gonzalez/Separata%20Panamericana.pdf>.
- Reiterer, S. (2010). The cognitive neuroscience of second language acquisition and bilingualism: Factors that matter in L2 acquisition - A neuro-cognitive perspective. En M. Kail y M. Hickman (Edits.), *Language Acquisition across Linguistic and Cognitive Systems* (pp. 307-321). Amsterdam, Philadelphia: John Benjamins.
- Rodriguez-Fornells, A., De Diego Balaguer, R. y Münte, T. F. (2006). Executive Control in Bilingual Language Processing. En M. Gullberg y P. Indefrey (Edits.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 133-190). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Ruiz-Vargas, J. M. (1999). Psicología experimental versus neurociencia cognitiva: hacia una relación convergente. *Escritos de Psicología*, 3, 13-19. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2876638>.
- Ruz, M., Acero, J.J. y Tudela, P. (2006). What does the brain tell us about the mind? *Psicológica*, 27, 149-167. Recuperado el 4 de Noviembre de 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=16927201>.
- Sapper, C. B. (2000). Brain Stem Modulation of Sensation, Movement, and Consciousness. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 890-910). New York: McGraw Hill.
- Sapper, C. B., Iversen, S. y Frackowiak, R. (2000). Integration of Sensory and Motor Function: The Association Areas of the Cerebral Cortex and the Cognitive Capabilities of the Brain. En E. R. Kandel, T. M. Jessell y J. H. Schwartz (Edits.), *Principles of Neural Science* (pp. 350-380). New York: McGraw Hill.

- Sauleda, N. y Martínez, M. A. (1995). La neurociencia de la cognición: Proa persistente hacia una nueva frontera en la enseñanza de las ciencias experimentales. *Revista universitaria de Formación del Profesorado* (24), 219-234. Recuperado el 13 de Octubre de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/11377>.
- Schacter, D. L. (2009). VI. Memory. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 655-657). Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.
- Shepherd, G. M. (2010). *Creating Modern Neuroscience. The revolutionary 1950's*. New York: Oxford University Press.
- Snook, I. (2012). Educational Neuroscience: A plea for radical scepticism. *Educational Pilosophy and Theory*, 44 (5), 445-448. Recuperado el 7 de Noviembre de 2016, de <http://biblioteca.unir.net/documento/educational-neuroscience-a-plea-for-radical-scepticism/FETCH-LOGICAL-p1711-11aa1f262853ad592ddcdd7360e1c27ab827033f2180177d43c75266cefoafe33>.
- Society for Neuroscience (2012a). *Society for Neuroscience. Advancing the understanding of the brain and the nervous system*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, de s.f.: <http://www.sfn.org/>
- Society for Neuroscience (2012b). *Brain facts. A primer on the brain and the nervous system. Society for Neuroscience*. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de [https://web.archive.org/web/20120414171453/http://www.sfn.org/skins/main/pdf/brainfacts/2008/brain\\_facts.pdf](https://web.archive.org/web/20120414171453/http://www.sfn.org/skins/main/pdf/brainfacts/2008/brain_facts.pdf)
- Society for Neuroscience (2016). *Neuroscience core concepts. The essential principles of neuroscience. BrainFacts.org*. Recuperado el 13 de Octubre de 2016, de <http://www.brainfacts.org/about-neuroscience/core-concepts/>
- Sousa, D. A. (2011). Mind, Brain, and Education: The Impact of Educational Neuroscience on the Science of Teaching. *LEARNing Landscapes*, 5 (1), 37-43. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de <http://www.learninglandscapes.ca/images/documents/ll-no9-final-lr-2.pdf>.
- Talaber, J. (2011). *The neurobiological factors in Second Language Learning and Acquisition*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, de <http://www.grin.com/en/e-book/172998/the-neurobiological-factors-in-second-language-learning-and-acquisition>.
- Talukder, G. (2001). *How the Brain Learns a Second Language. Brain Connection*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de <http://brainconnection.brainhq.com/2001/01/27/how-the-brain-learns-a-second-language/>

- The Royal Society (2011). *Neuroscience: implications for education and lifelong learning*. London: The Royal Society.
- Thomas, M. S. y Laurillard, D. (2014). Computational Modeling of Learning and Teaching. En D. Mareschal, B. Butterworth y A. Tolmie (Edits.), *Educational Neuroscience* (pp. 46-62). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Tiching. (2015). *Neurociencia y educación: ¿cómo se puede aprender mejor?* *Tiching Blog*. Recuperado el 2016 de Septiembre de 02, de <http://blog.tiching.com/neurociencia-y-educacion-como-se-puede-aprender-mejor/>
- Ullman, M. T. (2005). A Cognitive Neuroscience Perspective on Second Language Acquisition: The Declarative/Procedural Model. En C. Sanz (Ed.), *Mind and Context in Adult Second Language Acquisition* (pp. 141-178). Washington DC: Georgetown University Press.
- Ullman, M. T. (2016). The Declarative/Procedural Model: A Neurobiological Model of Language Learning, Knowledge, and Use. En G. Hickok y S. Small (Edits.), *The Neurobiology of Language* (pp. 953-968). Elsevier.
- Varma, S., McCandliss, B. D. y Schwartz, D. L. (2008). Scientific and Pragmatic Challenges for Bridging Education and Neuroscience. *Educational Researcher*, 37 (3), 140-152. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de [https://aaalab.stanford.edu/papers/Challenges\\_for\\_Ed\\_Neuro%5B1%5D.pdf](https://aaalab.stanford.edu/papers/Challenges_for_Ed_Neuro%5B1%5D.pdf).
- Willingham, D. T. (2005). *Do Visual, Auditory, and Kinesthetic Learners Need Visual, Auditory, and Kinesthetic Instruction?* *American Federation of Teachers*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de <http://www.aft.org/ae/summer2005/willingham>
- Willingham, D. T. (2004). Reframing the Mind. Howard Gardner and the theory of multiple intelligences. *Education Next*, 4 (3), 19-24. Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, <http://educationnext.org/reframing-the-mind/>.
- Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 45 (4), 544-545. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016, de <http://amyalexander.wiki.westga.edu/file/view/3+problems-p.pdf>.
- Willis, J. (2010). Current Impact of Neuroscience in Teaching and Learning. En D. A. Sousa (Ed.), *Mind, Brain and Education: Neuroscience Implications for the Classroom* (pp. 45-68). Bloomington: Solution Tree Press.