



# VNiVERSIDAD D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS CASTILLA Y LEÓN (INCYL) Y UNIVERSIDAD DE SALAMANCA.

MÁSTER TRASTORNOS DE LA COMUNICACIÓN: NEUROCIENCIA DE LA AUDICIÓN Y EL LENGUAJE.

**TRABAJO FIN DE MÁSTER:**

## **El correlato morfológico y funcional de la dislexia evolutiva.**

Autora

Marina Gutiérrez Moronta

Tutor

Ricardo Gómez Nieto

Salamanca, 2017/2018



## Declaración de autoría

**Declaro** que he redactado el trabajo ““El correlato morfológico y funcional de la dislexia evolutiva” para la asignatura de Trabajo Fin de Máster en el curso académico 2017/2018 de forma autónoma, con la ayuda de las fuentes bibliográficas citadas en la bibliografía, y que he identificado como tales todas las partes tomadas de las fuentes indicadas, textualmente o conforme a su sentido.

En Salamanca, a 21 de junio de 2018.

Firmado:

Marina Gutiérrez Moronta

## RESUMEN:

En presente trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos con relación a la anatomía cerebral de los procesos de lectoescritura y las anomalías cerebrales que presenta los disléxicos frente a los normolectores. Para dicho fin se han analizado exhaustivamente 62 artículos de 2003 hasta la actualidad, seleccionados a través de bases de datos Eric, Cinahl, Csic, Google Scholar, Psicodoc, Psycinfo, Scielo Y Pubmed.

Se ha encontrado constancia de que la dislexia evolutiva tiene un correlato neurológico y este es el que determina las dificultades de la persona, pero aún tenemos que establecer con mayor exactitud las anomalías. Conocemos que esta neuroanatomía atípica se localizaría principalmente en el lóbulo temporal, parietal y occipital. El origen dichas alteraciones está en la genética, los procesos embrionarios y en la exposición a la lectura y la escritura, ya que el entrenamiento modifica la estructura anatómica. Ampliar los conocimientos sobre los procesos que componen la lectura y la escritura elaboraría un nuevo tipo de diagnóstico mediante la evaluación de procesos lingüísticos y procesos no lingüísticos, que culminaría en un diagnóstico centrado en la causa y no en los signos

La neurociencia aporta la posibilidad de crear técnicas objetivas de evaluación y diagnóstico, así como intervenciones más eficientes y eficaces. Un diagnóstico temprano de la patología ayudaría a que los problemas se acusaran en menos medida.

**Palabras clave:** cerebro, dislexia evolutiva, escritura, evaluación, intervención, lectura, neuroanatomía, procesos cognitivos, resonancia magnética.

## ABSTRACT

This final master thesis aims to review the current knowledge in the functional neuroanatomy of the reading and writing processes, focusing on the brain anomalies of people with dyslexia. A total of 62 scientific papers, published in the recent years, were selected using the search engines and data bases Eric, Cinahl, Csic, Google Scholar, Psicodoc, Psycinfo, Scielo Y Pubmed.

The results of the analysis indicated that the evolutionary dyslexia has a neurological correlate that might be associated with the difficulties in reading and writing processes. Although the neuroanatomical correlate of evolutionary dyslexia is still unclear, the main affected brain areas included the temporal, parietal and occipital lobes. The cause of these alterations are genetics, abnormalities at embryonic stages and exposure to reading and writing. Increasing knowledge on the reading and writing processes and the corresponding morphological and functional correlates is essential to develop new diagnoses that will be focused on the cause rather than on symptoms of the disorder.

Neuroscience offers the possibility of creating objective techniques for evaluation, diagnosis and better interventions. An early diagnosis of the pathology might help to lessen the problems accusing.

**Keywords:** brain, cognitive processes, evaluation, evolutionary dyslexia, intervention, magnetic resonance. neuroanatomy, reading, writing.

## ÍNDICE:

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Criterios diagnósticos para la dislexia</i>	3
1.2	<i>Proceso de lectura y escritura basado en el “Modelo de la doble vía”</i>	3
1.3	<i>Tipos de dislexia evolutiva fundamentados en “El modelo de la doble vía”.</i>	5
<b>II.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>7</b>
<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>IV.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>8</b>
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS BIBLIOGRÁFICOS</b>	<b>9</b>
5.1	<i>Lectura y escritura: subprocesos funcionales que los componen y posible localización neuroanatómica.</i>	9
5.1.1	SISTEMA DE ANÁLISIS AUDITIVO.	11
5.1.2	LÉXICO DE ENTRADA AUDITIVA. (Exclusivo de la ruta léxica en la escritura).	11
5.1.3	SEMÁNTICA. (Exclusivo de la ruta léxica en escritura y lectura).	12
5.1.4	LÉXICO DE PRODUCCIÓN GRAFÉMICA. (Exclusivo de la ruta léxica de la escritura).	13
5.1.5	CONVERSIÓN FONEMA-GRAFEMA. (Exclusivo de la ruta subléxica en la escritura).	13
5.1.6	NIVEL GRAFÉMICO	13
5.1.7	PATRONES GRAFOMOTORES.	14
5.1.8	NIVEL ALOGRÁFICO	15
5.1.9	ANÁLISIS VISUAL	15
5.1.10	LÉXICO DE ENTRADA VISUAL. (Exclusivo de la ruta léxica en la lectura).	16
5.1.11	CONVERSIÓN GRAFEMA-FONEMA (exclusivo de la ruta subléxica en la lectura).	17
5.1.12	LÉXICO DE PRODUCCIÓN DE HABLA. (Exclusivo de la ruta léxica en la lectura).	17
5.1.13	NIVEL FONÉMICO.	18
5.2	<i>La lectoescritura en el cerebro disléxico.</i>	20
5.2.1	PARIETOTEMPORAL: REPRESENTACIONES FONOLÓGÍAS.	20
5.2.2	OCCIPITOTEMPORAL: ALMACEN LÉXICO.	24
5.2.3	EL CUERPO CALLOSO: COMUNICACIÓN INTERHEMISFÉRICA.	26
5.2.4	LAS EXPERIENCIAS DEFICIENTES PRECEDEN A LAS ANOMALÍAS NEUROANATÓMICAS O LAS ANOMALÍAS NEUROANATÓMICAS DAN LUGAR FUNCIONES ANORMALES.	30
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>35</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXO I: RESULTADOS BIBLIOGRÁFICOS: IMÁGENES RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS ANALIZADOS.</b>	<b>41</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXO II. TABLA 3. RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS: EL CEREBRO DISLÉXICO (ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>48</b>

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio de las bases neuroanatómicas de los trastornos de la lectoescritura en el desarrollo se inició en 1968 por Drake realizando exámenes post mortem de cerebros y posteriormente Galaburda ahondaría en ese tipo de exámenes. En los años 90 esos estudios pasaron a realizarse con resonancia magnética, haciendo uso de distintos tipos de secuencias y métodos de uso.

Los estudios post mortem son ventajosos en el sentido que los cerebros pueden observarse al microscopio y aportan información de tipo histológico. Estos análisis son los que nos habla de alteraciones en neuronas ectópicas, heterotópicas y displasias, ideas que llevan a pensar que la migración celular está alterada ( Drake, 1968; Galaburda et al., 1985; Humphreys et al., 1990). Estas estructuras darían lugar a conexiones anormales en la corteza, las cuales podrían ser responsables de dar una respuesta demasiado débil. Estas alteraciones se encontraron de manera predominante en regiones perisilvianas izquierdas, zona asociada a funciones lingüísticas. Dichas hipótesis se han confirmado con las actuales técnicas de resonancia magnética de alto contraste y resolución.

La teoría planteada por Galaburda plantea una alteración originada en el desarrollo del feto por un fallo en el programa genético. Dicha hipótesis la trató de confirmar en 1999 replicando las ectopias de manera quirúrgica en ratas, practicando microincisiones en la primera capa de la corteza cerebral, de tal manera que las neuronas migraran a zonas donde no debían establecerse. Sucedió que cuerpo articulado medial izquierdo del tálamo, contenía escasas neuronas magnocelulares. En condiciones normales dichas células están especializadas en discriminar sonidos de corta duración, lo que se puede llamar conciencia fonológica. Esto concordaría con la idea de que la mayoría de los problemas de los disléxicos derivan de una pobre conciencia fonológica.

La dislexia es uno de los trastornos más estudiado, no obstante, todavía siguen existiendo numerosas incógnitas alrededor del mismo. La idea clásica dice que un trastorno específico del aprendizaje. Las nuevas tendencias indican que tiene un componente biológico y como tal una base neurológica que explicaría mejor los problemas de lectoescritura. En el presente trabajo se pretende ahondar en la idea de que los trastornos de la lectoescritura tienen un correlato cerebral.

La visión cognitiva de la lectoescritura nos habla de que los trastornos en la lectura y la escritura se basan en una neuropatología cognitiva. Nuestra mente tiene procesos cognitivos que se organizan en módulos, dichos módulos tienen un funcionamiento autónomo y son específicos de dominio. Estos módulos tienen un carácter obligatorio en los módulos de respuesta (cuando se dan unas condiciones estos se ejecutan siempre) y carácter innato. Igualmente, existe un isomorfismo siendo esto una analogía entre la organización de los procesos cognitivos y las estructuras neuronales. El sistema cognitivo es transparente, conociendo los síntomas podemos inferir los módulos afectados y los intactos. Asimismo, los módulos cerebrales son universales, ya que todos tenemos los mismos a priori, pero podemos hacer uso de ellos de manera distinta.

El lenguaje oral requiere una base neurológica, se desarrolla con relativa facilidad y un porcentaje menor presenta problemas en la adquisición. Por otro lado, la adquisición de la lectura requiere de un prerrequisito cognitivo y transmisión social, se adquiere por instrucción explícita y un porcentaje significativo de niños presenta problemas en la

adquisición. Llegar a la lectoescritura depende de la plena adquisición previa del lenguaje oral, elemental para culminar el sistema perceptivo. Las habilidades metalingüísticas dependen del desarrollo auditivo y posibilitan la lectoescritura, siendo el conocimiento fonológico fundamental para operar con los fonemas.

Actualmente carecemos de un número exacto de personas con dislexia, el porcentaje varía en función de que criterios sigamos para su diagnóstico y como de rigurosos seamos con ellos. En multitud de estudios no se tiene en cuenta que la dislexia es un problema exclusivamente de lectoescritura que no se explica mejor por otra patología superior, esto hace que los porcentajes respecto a la población en general estén aumentados dado que los criterios son inexactos. En el manual DSM-5-TR (Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, 2014), habla de un 5-15% de casos de niños en edad escolar que presentan dificultades en lectura, escritura y/o matemáticas conjuntamente. Es especialmente llamativo que siendo el español un idioma transparente y más sencillo que otros, los porcentajes aproximados que tenemos de personas afectadas sean similares a otros idiomas más complejos. Esto nos puede llevar a pensar que la dislexia se da independientemente del grado de transparencia de la lengua, pero no podemos estar seguros ya que no hay estadísticas oficiales y criterios claros. Sería importante conocer la prevalencia exacta del problema y la relevancia que tiene la transparencia de la lengua.

Los problemas de lectoescritura vaticinan dificultades en la consecución de aprendizajes escolares, siendo estos los que posibilitan el desarrollo global de la persona y la inclusión en la sociedad. Los aprendizajes autónomos se fundamentan en textos de manera aproximada desde los 12 años. Si la persona no tiene un dominio suficiente de los procesos, puede llegar a darse el abandono escolar. Dotar de un diagnóstico precoz, claro y objetivo, así como, una intervención individualizada y efectiva, favorecería subsanar las dificultades que se dan en este colectivo.

Según un estudio de Mercado, Suarez, Ramírez, Kort y Zendejas (1976), un estudiante universitario normal lee en español una media de 237 palabras por minuto, se puede considerar un tiempo breve para realizar una gran variedad de tareas cognitivas. La lectura se inicia al entra en contacto con el texto y de manera automática se inician operaciones cognitivas, todo lo que se sucede es primordial, desde los movimientos sacaditos hasta el acceso al léxico de palabras. En la lectoescritura hay varios procesamientos implicados. Los procesos descendentes de la semántica al texto y ascendente de la fonética a la semántica, los segundos son más problemáticos en disléxicos.

Es importante apuntar que el español es un idioma fonético y casi transparente. Esto lo dota de unas características particulares. La lectura es transparente ya que se rige por un conjunto de reglas simples y contextuales, que permiten a la persona hacer las tareas de lectura y escritura con éxito. Por reglas simples, entendemos que un grafema tendrá un mismo fonema y por reglas contextuales, entendemos que algunas letras tienen dos sonidos y dependiendo del contexto se determina sin excepción que sonido corresponde. Por otro lado, la escritura del español no es totalmente transparente ya que además de existir reglas simples y contextuales, existen ciertas irregularidades, un fonema puede corresponder con varios grafemas y el contexto no rige cual debe ir. De manera simplificada por irregularidades en escritura entendemos los grafemas “b-v”, “ll-y”, “c-z” “h” y “g-j” correspondientes a los fonemas /b/, /j/, /θ/ y /x/. Las particularidades del lenguaje o el nivel

de transparencia determinaran la manifestación de los problemas, que dará lugar a los subtipos disléxicos.

### **1.1 Criterios diagnósticos para la dislexia**

El trastorno disléxico evolutivo lo consideramos una afectación central, las variables léxicas si generan diferencias significativas en la conducta lectora del sujeto. Además, entendemos por trastorno evolutivo el disturbio en una capacidad no adquirida, la capacidad nunca se desarrolló o fue adquirida de manera plena. El término de dislexia evolutiva se acuña concretamente en 1968, año en el que la Federación Mundial de la Neurología da lugar a una definición de dislexia. La definición que da es la siguiente “Un problema caracterizado por un déficit en el aprendizaje de la lectura a pesar de recibir una educación normal, poseer una inteligencia normal y oportunidades socioculturales”.

Según los dos principales sistemas diagnósticos: el CIE-10 (Clasificación Internacional de Enfermedades, 1992) y el DSM-5-TR (Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, 2014) para diagnosticar dislexia existen cinco condiciones básicas que deben darse:

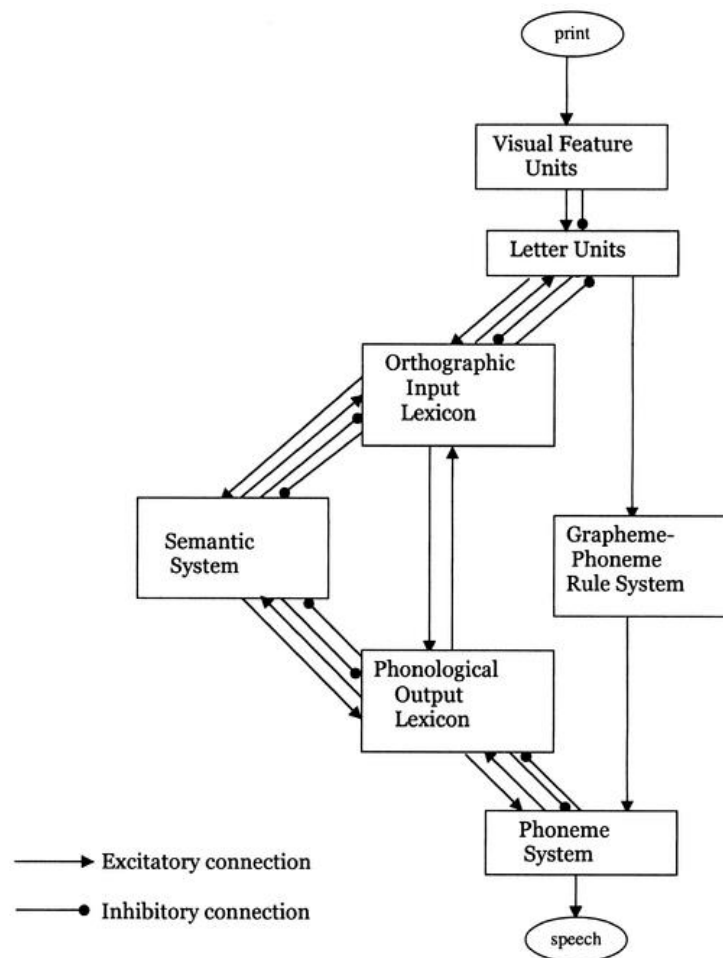
1. Retraso de dos años en las habilidades lectoescritoras respecto a la edad cronológica. Este desfase se determina mediante pruebas estandarizadas para el idioma y la edad cronológica de la persona. Los fallos se miden en precisión y tiempo. Las pruebas estandarizadas más fiables y validas en castellano son:
  - TALE: test de análisis de lectoescritura de 6 a 10 años (Toro, J. y Cervera, M. 1984).
  - PROESC. Batería de Evaluación de los Procesos de Escritura de 8 a 15 años (Cuetos, F., Ramos, J. L., y Ruano, E. 2002)
  - PROLEC-R. Batería de Evaluación de los Procesos Lectores – Revisada de 6 a 12 años (Cuetos, F., Rodríguez, B., Ruano, E., y Arribas, D. 2007).
  - PROLEC-SE. Evaluación de los Procesos Lectores en Secundaria. de 10 a 16 años (Ramos, J. L., y Cuetos, F. 1999)
2. Inteligencia adecuada, por encima de 85 puntos de cociente intelectual.
3. El medio le ha dado las condiciones y oportunidades necesarias para aprender.
4. No existen problemas emocionales severos.
5. Carece de trastornos neurológicos que puedan justificar por sí mismo las dificultades en la lectoescritura.

### **1.2 Proceso de lectura y escritura basado en el “Modelo de la doble vía”**

El modelo de la doble vía es una teoría que explica cómo se accede a las palabras de manera más global y automática (ruta léxica) o segmentada y no global (fonética). Coltheart (1978) en su modelo solo plantea el proceso de lectura por lo que el proceso de escritura

no queda descrito, sin embargo, se puede deducir. A continuación, se expone cada vía en los procesos de lectura y escritura:

1. LECTURA: RUTA FONÉTICA (también llamada subléxica o indirecta). Se da mediante la conversión grafema-fonema, a esto se le llama análisis grafonémico. Permite la pronunciación de la palabra sin que tenga que llegar a accederse al significado, como puede verse en la figura 1. No opera con las palabras como conjuntos sino en unidades más pequeñas como sílabas o letras, es un análisis más lento. Es un sistema que es usado para la lectura de pseudopalabras y palabras no familiares. Las variables que la afectan son la longitud y la complejidad de los grafemas.
2. LECTURA: RUTA LÉXICA (también llamada léxica o directa). Se da por un acceso global a la palabra. El estímulo visual que nos lleva a un léxico visual almacenado previamente. Se reconocen los grafemas que se corresponden con los fonemas sin esfuerzo. Se accede a la semántica, como se puede observar en la figura 1. Esto solo sucede con palabras familiares, de las cuales tenemos una “huella mental” previa por haber sido leídas con esfuerzo por la ruta fonética en ocasiones previas. Es un sistema para leer las palabras irregulares sin errores, las palabras familiares de modo rápido, comprensión de homófonos e identificar pseudopalabras. Una variable que afecta al reconocimiento es la frecuencia léxica.



**Figura 1.** Modelo de la doble ruta [Coltheart y Rastle (1994, 2001)].

1. ESCRITURA: RUTA FONÉTICA (también llamada subléxica o indirecta). Por esta ruta se procesan las reglas simples y las contextuales. Es un sistema para escribir las

palabras regulares y las pseudopalabras. No hay una variable que incida de manera clara por la característica transparente del español.

2. ESCRITURA: RUTA LÉXICA (también llamada léxica o directa). Por esta ruta se procesan las arbitrariedades almacenadas en un léxico previamente. Es un sistema para escribir las palabras irregulares y las regulares que son familiares de manera rápida. La variable que incide en esta ruta es la frecuencia léxica.

### **1.3 Tipos de dislexia evolutiva fundamentados en “El modelo de la doble vía”.**

El modelo de la doble vía sostiene que para leer hacemos uso de dos mecanismos independientes. Estos mecanismos, explican los trastornos evolutivos y adquiridos de la lectura pudiendo diferenciar tres subtipos principalmente: dislexia fonológica, dislexia léxica y dislexia mixta, que serán explicados más adelante en la tabla 1. Esta clasificación se hace según el tipo de error que muestra la persona.

La comprensión de textos es un proceso superior al de la lectura mecánica. Se trata de un proceso simultáneo de extracción y construcción transaccional entre las experiencias y conocimientos del lector, con el texto escrito en un contexto de actividad según nos dice Ronsenblatt, (1978). El lector debe de dotar de significado el texto aunando los conocimientos previos con los conocimientos que el propio texto aporta. Este procesamiento se realiza en la memoria de trabajo, la cual es limitada en cuanto a ítems de procesamiento y tiempo. Si los procesos de lectura mecánica no están automatizados, serán estos los que ocupen dicha memoria y focalicen la atención. Si dicha atención se centra en la mecánica lectora está no tiene capacidad para la actividad comprensiva.

En algún momento se pensó que la dislexia que tenía que ser un invento de los psicólogos, Orton (1925, 1930, 1937) sugirió problemas de lateralización hemisférica y la dominancia hemisférica del occipital. Pavlidis (1981) planteó que era causa de movimientos sacaditos anormales. John Stein y Fowler (1982) hablaron de una dominancia ocular vacilante. Todas estas teorías han sido rebatidas con datos experimentales, pero en su momento se tomaron como ciertas.

Existieron dos teorías predominantes entorno a los setenta del siglo XIX. La primera y menos seguida habla de un problema perceptivo visual. Frostig (1973) plantea una rehabilitación en base a esta teoría y fue refutada por numerosos autores como Vellutino, Steger, Desetto, y Phillips (1975), Vellutino, (1977) Arter y Jenkins (1979). La segunda teoría plantea que la causa está en problemas psicolingüísticos, son la fonología, siendo esta la hipótesis dominante y más seguida actualmente, planteada primeramente por Tomatis (1969) y seguida por otros autores como Liberman (1974).

Según el “Modelo de Frith” (1997, 1999) hay que pasar por una serie de etapas para aprender a leer y a escribir, si una etapa no se supera completamente no se puede acceder a la siguiente. La primera etapa es la logográfica, la segunda es la alfabética y la tercera la ortográfica. La etapa alfabética consiste en una conversión constante de grafemas y fonemas individuales, es una etapa análoga a la ruta fonética. Tras esta etapa se pasaría a la etapa ortográfica, la lectura es global, análoga a la ruta léxica. Según este planteamiento la dislexia es el fracaso en la superación de una de las etapas, no existirían módulos independientes. No explicaría porque hay disléxicos fonéticos que realizan bien la ruta léxica, siendo el procesamiento léxico consecuencia del fonético.

**TIPOS DE DISLEXIA EVOLUTIVA FUNDAMENTADOS EN “EL MODELO DE LA DOBLE VÍA”**

<i>Tipo de dislexia</i>	<i>Ruta afectada</i>	<i>Lectura</i>		<i>Escritura</i>	
		<i>Problemas específicos</i>	<i>Errores característicos</i>	<i>Problemas específicos</i>	<i>Errores característicos</i>
<b>DISLEXIA DE LA RUTA FONÉTICA.</b>	Los problemas selectivos están en la ruta subléxica	Las dificultades están fundamentalmente en las pseudopalabras y las palabras no familiares.	Los errores son problemas en el sistema de análisis visual, en el conversor grafema-fonema (que lleva a sustituciones) y a nivel fonémico (que lleva a mezclar mal los fonemas y realizar inversiones y/u omisiones).	Las dificultades aparecen en pseudopalabras y palabras no familiares.	Los fallos característicos son sustituciones, inversiones o conversiones de letras, y pueden ser por afectaciones fonémicas (segmentación de sílabas y fonos y metalenguaje) y/o del conversor fonema-grafema.
<b>DISLEXIA DE LA RUTA LÉXICA.</b>	Los problemas selectivos están en la ruta léxica.	Las dificultades están en las palabras irregulares. La lectura se caracteriza por ser lenta y silabeada, hace uso constante de la ruta fonética.	Los errores son problemas de regularización, silabeo, lectura lenta y sustituciones de palabras.	Las dificultades están en las palabras irregulares.	Los errores son problemas de regularización y faltas de ortografía.
<b>DISLEXIA MIXTA O PROFUNDA.</b>	Tanto en la LECTURA como en la ESCRITURA es el fracaso de ambas rutas y los errores se suman y se combinan.				

**Tabla 1.** Características de la dislexia evolutiva en función del “modelo de la doble vía (elaboración propia).

Marie-Line Bosse, Marie-Josèphe Tainturier, Sylviane Valdois (2007) sostienen que la dislexia en algunos casos puede estar originada por un déficit en la atención visual. En este estudio se enfrentaba a los sujetos disléxicos a tareas de análisis fonológico y de atención visual. Se llevó a cabo en dos grupos, uno de niños franceses y otro de niños británicos. Los resultados obtenidos en dicho estudio nos hablan de que tanto la variable fonológica como la de atención visual explican la varianza de las pruebas de lecturas de modo independiente. En general, estos hallazgos apoyan una visión multifactorial de la dislexia del desarrollo. Peyrin, Lallier, Demonet, Pernet, Baciú, Le Bas y Valdois (2012) usaron los resultados del estudio anterior para valorar los patrones de activación cerebral comparando disléxicos que solo mostraban déficit exclusivamente fonológico con disléxicos que mostraban un déficit exclusivo de spam visual. Los patrones de activación mostraron que los sujetos con déficit fonológico se activan de manera disminuida en tareas de rima y de manera similar a los controles en tareas de atención, lo contrario pasó en los sujetos con déficit de atención. Estos hallazgos proporcionan evidencias en la asociación entre distintos mecanismos cerebrales y distintos déficits cognitivos en la dislexia del desarrollo, lo que enfatiza la importancia de tener en cuenta la heterogeneidad del trastorno de la lectura. Estos dos estudios recientes (Bosse, et al. 2007 y Peyrin et al. 2010) muestran casos que ponen de manifiesto que algunos disléxicos tienen problemas de tipo visual, y otros un problema más visual que fonológico, aunque se convienen los dos.

La tendencia actual es entender la dislexia como un trastorno multifactorial, por el cual uno o varios módulos de procesamiento pueden estar afectados. Esta idea daría lugar a distintos subtipos de dislexia en función del módulo afectado y algunos tipos que se dan según esta serían por dificultades fonológicas, metafonológicas, léxicas, percepción visual, memoria a corto plazo de tipo verbal y/o a largo plazo de tipo verbal.

## **II. HIPÓTESIS**

Existen varios tipos dislexia evolutiva (fonológica y léxica), en diferentes grados de severidad, sin embargo, en el momento actual no se conocen con claridad las alteraciones morfológicas y funcionales que corresponden a cada tipo de dislexia. Conocer bases neurológicas responsables de la dislexia redundaría primeramente en una detección y diagnóstico precoz, y en segundo lugar en una mejor intervención individualizada y personalizadas a cada tipo.

## **III. OBJETIVOS**

Objetivo general: “Determinar mediante revisión bibliográfica el correlato neurológico de los trastornos en la lectoescritura en el cerebro de personas con dislexia evolutiva”

Objetivos específicos:

- Determinar los procesos y las áreas cerebrales que están implicados en la lectoescritura en normolectores para compararlas con disléxicos.
- Conocer las posibles causas de estas diferencias anatómicas y funcionales.

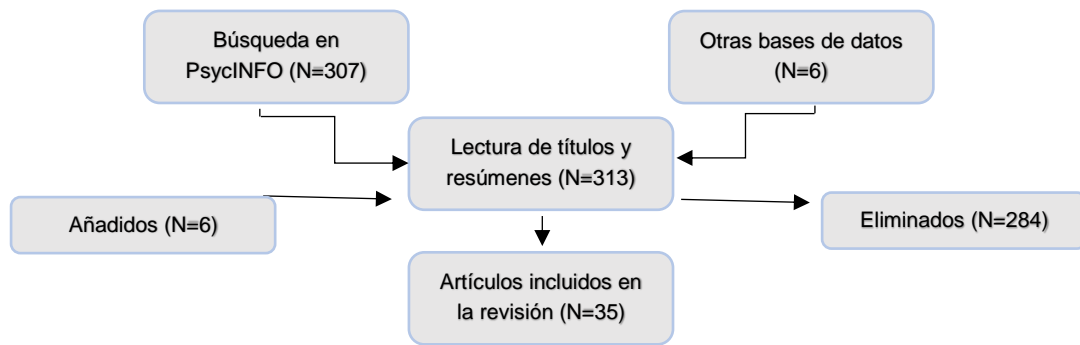
## IV. PROCEDIMIENTOS

Se consultaron las bases de datos documentales de Eric, Cinahl, Csic, Google Scholar, Psycodoc, Psycinfo, Scielo Y Pubmed.

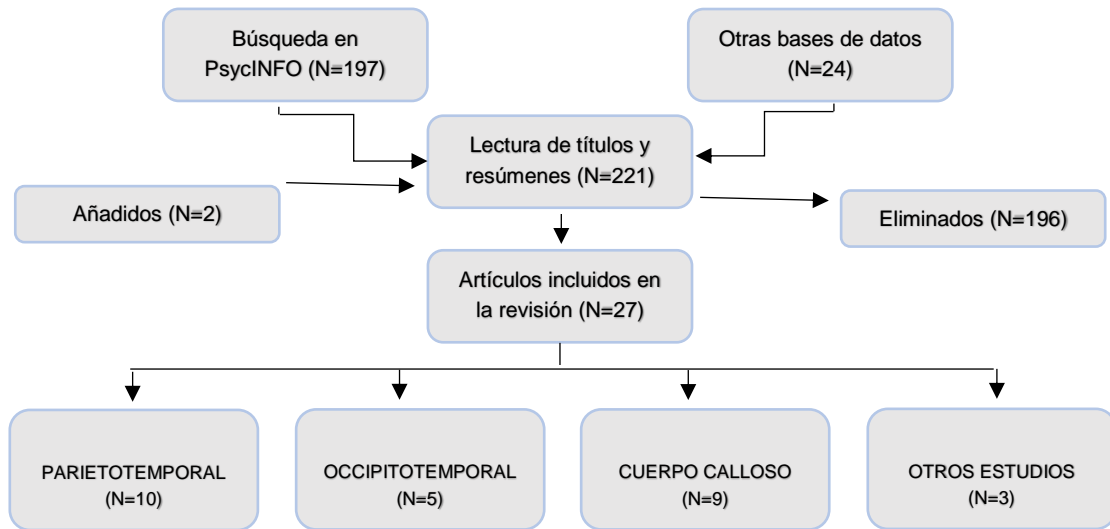
Las palabras clave que se introdujeron en dichos motores de búsqueda para definir la neuroanatomía del cerebro normotípico fueron: lectura, escritura, lectoescritura, sistema de análisis auditivo, léxico de entrada auditiva, semántica, imagen cerebral, producción grafémica, nivel grafémico, patrones grafomotores, alográfico, análisis visual, conversión fonema-grafema léxico de input visual, léxico de producción de habla, conversión grafema-fonema, nivel fonémico, reading, writing, reading and writing, auditory analysis system, auditory input lexicon, semantics, brain image, graphemic production, graphemic level, graphomotor patterns, allographic, visual analysis, phoneme-grapheme conversion, visual input, speech production lexicon, grapheme-phoneme conversion, phonemic level. Los idiomas de seleccionados fueron inglés y español. Las fechas de publicación fueron desde el 2003 hasta la actualidad. Se obtuvieron un total de 313 artículos. Se hizo una lectura de títulos y resúmenes de los 313 artículos totales. De los cuales se seleccionaron 62 para una lectura completa. Se añadieron 6 anteriores al 2003. Y finalmente 35 fueron los que se tomaron para la revisión, véase figura 2.

Las palabras clave que se introdujeron en dichos motores de búsqueda para definir la neuroanatomía del cerebro disléxico fueron: dislexia, trastorno lectura, trastorno escritura, trastorno lectoescritor, déficit, dificultad, imagen cerebral, parietotemporal, parietal, temporal, occipitotemporal, occipital, cuerpo caloso, dyslexia, reading disorder, writing disorder, reading disorder, deficit, difficulty, brain image, parietotemporal, parietal, temporal, occipitotemporal, occipital, corpus callosum. Los idiomas de seleccionados fueron inglés y español. Las fechas de publicación fueron desde el 2003 hasta la actualidad. Se obtuvieron un total de 221 artículos. Se hizo una lectura de títulos y resúmenes de los 221 artículos totales. De los cuales se seleccionaron 35 para una lectura completa. Se añadieron 2 anteriores al 2003. Y finalmente 27 fueron los que se tomaron para la revisión. Y finalmente 22 fueron los que se tomaron para la revisión. véase figura 3.

Los artículos excluidos de la revisión han sido porque carecían en el título de palabras clave como dislexia, lectura, escritura, trastorno lectoescritor, dyslexia, reading, writing o disorder. Los artículos tenían que ser posteriores a 2003 ( a excepción de 8 que no cumplieron cierto criterio pero se incluyeron por ser muy relevantes, haber tenido gran impacto que se materializaba en un el alto número de citas) y tenían que haber sido citados al menos una vez para tener cierto índice de impacto, la población de estudio debía de ser personas, en los estudios de comparación con normotípicos los sujetos patológicos debían de ser disléxicos o tener un trastorno lectoescritor de algún tipo o ser analfabetos y estos no debían padecer comorbilidad con otra patología. El análisis y síntesis de la información se realizó una vez extraídos los datos de todos los estudios. El proceso se llevó a cabo a través de la comparación e integración de los principales hallazgos obtenidos en cada uno de los estudios.



**Figura 2.** Toma de decisiones de artículos: cerebro normolector (elaboración propia).



**Figura 3.** Toma de decisiones de artículos: el cerebro disléxico (elaboración propia).

## V. RESULTADOS BIBLIOGRÁFICOS

### 5.1 Lectura y escritura: subprocesos funcionales que los componen y posible localización neuroanatómica.

El sistema de lectura está formado por varios módulos y cada uno de ellos se encarga de una función específica. Los hay más simples y más complejos.

De bajo nivel:

- **LOS PROCESOS PERCEPTIVOS:** Recogen la información gráfica que estamos leyendo, la almacena durante un periodo corto de tiempo en la memoria y en ese tiempo la analiza desde la visión de una unidad lingüística.

Desde la percepción sensorial, visual, nos fijamos en las pistas gráficas para extraer de ellas información. Recogemos la información sensorial, icónica, y está se analiza en la memoria a corto plazo. Reconocer la palabra depende de varios factores (Vellutino et al, 1982):

- El contexto del que se rodea el estímulo.
- Las características de la palabra (longitud, regularidad ortográfica, categoría léxica, frecuencia, etc.)



temporal. En actualidad resulta difícil para muchos laboratorios disponer de la infraestructura necesaria para efectuar este tipo de experimentos lo que puede dificultar la replicación de los hallazgos a través de diferentes laboratorios. Cuando se evalúa un proceso tenemos que valorar que procesos subyacen a una tarea concreta, por lo que es necesario precisa una arquitectura funcional con los pasos requeridos para efectuar la tarea, y cuáles son los fenómenos de interés. Es interesante valorar el método, los materiales de estimulación, de análisis, comparación, así como la selección de controles adecuados.

#### 5.1.1 SISTEMA DE ANÁLISIS AUDITIVO.

Análisis auditivo de la información oral permite la extracción individual de los sonidos de manera independiente del acento, el timbre, la velocidad de la emisión, etc., y por lo tanto es flexible para hacer frente a las posibles variables. El habla, entendido como sonido, tiene una serie de particularidades especiales y se pueden clasificar los fonemas según las propiedades exclusivas de cada uno de ellos. Su rango de intensidad varía de los 20 dB SPL a los 90 dB SPL, estando el rango típico en 60-65 dB SPL. La frecuencia por su lado tiene un rango de 200 a 9000 Khz.

El habla se suele percibir junto con el ruido de fondo, es importante hacer una discriminación de la señal. El estímulo auditivo se transmite a través del oído hasta el nervio auditivo. En la cóclea se produce la transducción, las células ciliadas externas las que son sensibles, seleccionan y amplían la señal (habla) frente al ruido, además tienen una colocación tonotrópica sensible a la frecuencia. Las células ciliadas internas por su lado tienen la función real de la transducción. Las células ciliadas externas tienen mayor número de conexiones eferentes relacionadas con el sistema olivo coclear y las células ciliadas internas conexiones de tipo aferente. La descripción del sistema ascendente y descendente es compleja, ver figura 5 que se encuentra en el Anexo I elaborado por Sánchez y Merchán (2015). El sistema eferente condicionaría la atención y selectividad auditiva, relevante para el habla y también de la lectoescritura.

#### 5.1.2 LÉXICO DE ENTRADA AUDITIVA. (Exclusivo de la ruta léxica en la escritura).

Las palabras escuchadas a lo largo de la vida forman representaciones auditivas de tipo fonológico que conforman el léxico auditivo. Dichas palabras se almacenan en la memoria a largo plazo. Si hay un recuerdo de la palabra nos indica que se ha oído con anterioridad, la activación semántica requiere este hecho además de dotarlas de un sentido concreto. En palabras aisladas de tipo homófono se daría la posibilidad de que se activaran varios conceptos.

Discriminar los rasgos acústicos que son la percepción de los cambios rápidos del habla es primordial para el procesamiento de una palabra. Esta discriminación es dependiente de unos circuitos neuronales específicos para el procesamiento de sonidos lingüísticos, los cuales se encontrarían en la porción superior del lóbulo temporal. En el lóbulo temporal se encuentra la corteza auditiva primaria (área 41 y 42 de Brodmann) y está rodeada de áreas secundarias. Comprende parte de las circunvoluciones superiores transversales de Heschls y la circunvolución temporal superior (área 42 y el área 22 auditiva secundaria en relación con el área de Wernicke).

La corteza auditiva se divide en áreas de proyección y áreas de asociación. Las áreas de protección son muy dependientes de la estimulación temprana que reciben, creando representaciones de los estímulos que persisten y duran toda la vida, dando lugar a una tonotopía. Esas representaciones no son atemporales si se dan fuera del periodo sensible (de Villers-Sidani et al., 2007).

La corteza auditiva está dividida en campos con distintas estructuras y funciones, estos campos se desconocen para los seres humanos. La banda gamma de entre los 25 y los 100 Khz está presente durante la percepción de los eventos sensoriales en el proceso de reconocimiento (Knief et al., 2000). La corteza auditiva derecha sería más sensible a la frecuencia y la corteza izquierda a los cambios rápidos de tiempo. La reflexión sobre los sonidos se situaría en áreas como el tronco cerebral auditivo y mesencéfalo. Las neuronas que responden a bajas frecuencias, las del habla, se situarían en un extremo y las de altas frecuencias en el otro, existiría una tonotopía. La capacidad de identificar y calificar estímulos, serían funciones de la corteza, en el caso del lenguaje del hemisferio izquierdo. Aún desconocemos con exactitud las funciones de la corteza y la localización de estas, sigue siendo algo ambiguo y difícil de concretar. En la figura 6 que se encuentra en el Anexo I podemos observar las diferencias neuroanatómicas entre el procesamiento de palabras y pseudopalabras.

### 5.1.3 SEMÁNTICA. (Exclusivo de la ruta léxica en escritura y lectura).

La semántica asocia un significado al estímulo auditivo verbal o un estímulo visual en el caso de la lectura. El estímulo percibido adquiere el sentido de signo lingüístico. Hay una dicotomía entre el procesamiento fonológico y el almacenamiento de la información semántica, ya que puede darse uno estando el otro afectado (Martin, 2003). Howard y Franklin (1988) describen que ambas funciones están en el lóbulo temporal y parietal del hemisferio izquierdo. Zarrote (1992) y otros añaden ciertas áreas frontales y Blumstein (1998) incluye el área de Broca.

Para acceder al léxico es necesaria una combinación correcta de fonemas. Neuronalmente los circuitos encargados de la organización semántica se encontrarían en las regiones inferiores y mediales del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo y en menor manera las del hemisferio derecho según indican Shelton y Camazza (2001). Roskies y sus colaboradores (2001) afirman que las zonas de la porción inferior del lóbulo frontal del hemisferio izquierdo participan en la categorización, manipulación y comparación semántica, relevante en la memoria de trabajo verbal.

Se ha discutido si en función de la categoría semántica de la palabra tendría un circuito neuronal específico que daría lugar a un lexicón concreto de palabras, pero de momento no hay estudios con datos relevantes al respecto que nos digan donde anatómicamente se situaría cada categoría. Dicha teoría estaría apoyada por Kandel (2001) que fundamenta esta idea en pacientes con daño cerebral concreto, los cuales solo pierden una categoría semántica manteniendo el resto intactas.

#### 5.1.4 LÉXICO DE PRODUCCIÓN GRAFÉMICA. (Exclusivo de la ruta léxica de la escritura).

Se trata del almacén de representaciones de tipo ortográfico grafomotor y son el recuerdo del gesto motor necesario para producir la escritura una palabra concreta, palabra familiar y frecuente. Este almacén es especialmente relevante en las palabras irregulares. Dichos gestos deben recuperarse de la memoria a largo plazo y estar disponibles para su ejecución.

Conocemos la existencia de un almacén de memoria de imágenes gráfico-motoras de las letras. Desconocemos si hay un almacén más automático para palabras completas frecuentes y familiares, que hayan dado lugar a una huella cerebral de acceso más rápido y automático. También existe la posibilidad de que no exista y simplemente sea un procesamiento más rápido de almacén gráfico de las letras. Apoyando la idea de su existencia, podemos hipotetizar que una expresión de su presencia es el mantenimiento de la escritura del nombre o la firma en pacientes afásicos que tienen agrafía para el dictado o la escritura espontánea. El nombre y la firma serían los automatismos más establecidos en una persona por ser los más entrenados, rudimentos. Un almacén gráfico motor de las letras, sería lo análogo a la ruta fonética y un almacén gráfico motor de palabras frecuentes y familiares sería lo análogo a la ruta léxica. Su diferencia básica sería el automatismo de acceso y por lo tanto la velocidad de procesamiento, siendo más rápida la ruta léxica que la fonológica. Cuanto más automático es un proceso menos recursos atencionales y cerebrales necesitaría.

Se requieren investigaciones adicionales para refinar nuestra comprensión de la posición de la existencia o no de dicho almacén, la posición exacta, y las propiedades funcionales y la especificidad funcional de las regiones premotoras en la escritura para palabras familiares frecuentes si es que se confirmara la existencia de esta.

#### 5.1.5 CONVERSIÓN FONEMA-GRAFEMA. (Exclusivo de la ruta subléxica en la escritura).

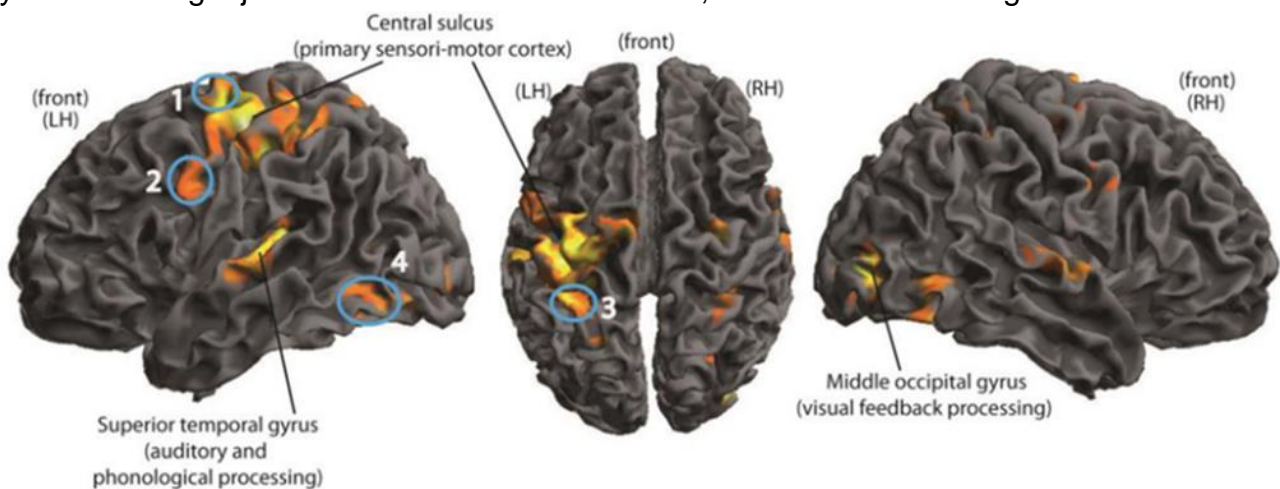
La conversión fonemas a grafemas es el proceso que usan los escritores competentes para realizar escrituras verosímiles de pseudopalabras o palabras no familiares. Se reconocen los fonemas y cada uno de ellos se asocia a un grafema, de tal manera que esta conversión se da cuando no se activa el léxico auditivo y lleva de la palabra oída a la leída. Formaría parte de la ruta subléxica y es un proceso muy frecuente en los niños cuando comienza a escribir.

Este módulo sería similar al de conversión fonema-grafema, pero a la inversa. Sería necesario un almacén fonéticográfico en el cual se asociarían estos dos conceptos. La memoria visual de los grafemas se situaría en una zona más occipital y la memoria y producción de los fonemas en el área de Wernicke y Broca. Todas las conjeturas al respecto son de tipo teórico ya que no hay estudios que analicen la localización anatómica de la memoria grafémica y fonémica, así como la asociación entre ambas.

#### 5.1.6 NIVEL GRAFÉMICO

Almacén en la memoria a largo plazo en el cual se encuentran las representaciones abstractas de las letras a nivel visoespacial, en mayúsculas o minúsculas. La selección de una forma de letra estaría en un nivel inferior al grafémico. El nivel grafémico recibe

información visual, de la conversión grafema fonema o del léxico de producción grafémico. Exner (1981) plantea por primera vez la existencia de un almacén de memoria de imágenes gráficas de las letras. Se basó en la observación de pacientes agráficos. Coincidió en que tenían una lesión cercana a la unión entre la circunvolución frontomedial y la precentral del hemisferio izquierdo, de la corteza premotora primaria. Planton, Jucla, Roux y Démonet (2013) confirmarían dicha teoría con estudios de neuroimagen más precisos, añadirían regiones premotoras muy dorsales cercanas a la circunvolución frontal superior y de manera ventral en la zona dorsal de área de Broca. La escritura conlleva diversas regiones corticales sensoriales y motoras. El estímulo es procesado por regiones auditivas y convertido en gestos, la retroalimentación visual se procesa en regiones occipitales necesarias para la retroalimentación. Fuerte activación izquierda para los sujetos diestros y/o con el lenguaje lateralizado en ese hemisferio, como vemos en la figura 7.



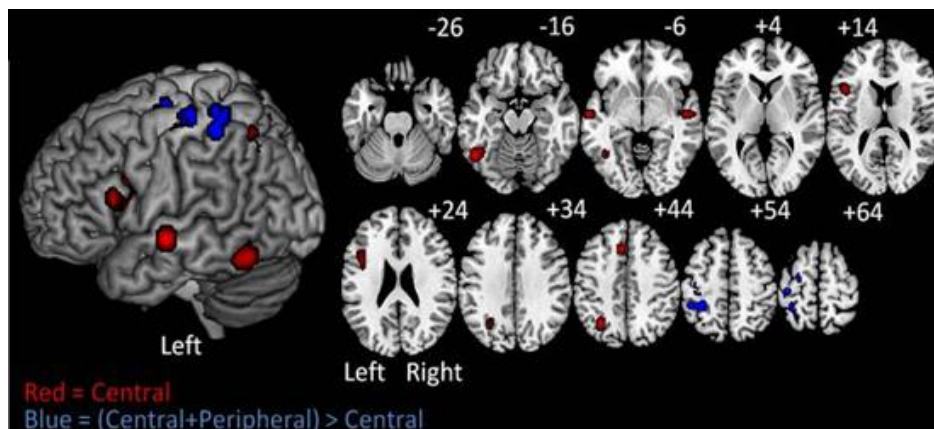
**Figura 7.** Activaciones cerebrales durante la escritura, en un grupo de jóvenes voluntarios sanos y diestros (Longcamp et al., 2016).

### 5.1.7 PATRONES GRAFOMOTORES.

Programa motor para ejecutar de manera controlada la realización de órdenes para convertir los estímulos del léxico grafémico en órdenes al sistema músculo esquelético, con el fin de efectuar de manera adecuada los movimientos permitirán producir los trazos en que consiste la escritura. El procesamiento motor de las tareas de escritura según algunos autores (Planton et al., 2013; Purcell, Turkeltaub, Eden y Rapp, 2011) fundamentaría su actividad en la corteza parietal superior izquierda, el cerebelo y la circunvolución fusiforme izquierda. Se desconoce con exactitud la función de cada área concreta, pero todas ellas estarían involucradas. Purdell y sus colaboradores (2011) ratifican que la ortografía central, procesamiento ortográfico de la palabra forma, se identificaría dentro de circunvolución fusiforme izquierda y la parte más anterior con el procesamiento de la letra forma, como afirmaron Joseph, Gathers y Piper (2003), en la figura 8 se pueden observar los patrones de activación observados por Purdell.

Richards y sus colaboradores (2011) afirman que las cortezas premotora y parietal, el cerebelo y la circunvolución fusiforme se involucraron más fuertemente cuando los niños estaban escribiendo pseudopalabras, como si su activación necesitara ser mayor cuando la palabra no está aún dentro de la memoria, léxico. Sin embargo, esto era cierto solo en el caso de los buenos escritores, porque la activación en esas regiones no difería entre letras recién enseñadas y altamente practicadas disléxicos. Los buenos escritores eran más eficientes mostrando una actividad más restringida y enfocada a una red concreta, por lo

que mostraban menos áreas activadas que los malos. Los disléxicos mostraron mayor activación del sistema visual, las regiones parietales y cerebelosas. Se puede resumir diciendo que en los buenos escritores la actividad se enfoca en regiones premotoras, parietales y cerebelosas, así como la activación en las regiones cerebrales relacionadas con el motor.



**Figura 8.** A la izquierda se muestran los resultados proyectados en un cerebro que representada lo estándar. A la derecha, los cortes axiales, en rojo está representado lo correspondiente al análisis de contraste centra de palabras escritas y en azul la suma de los procesos centrales y los periféricos (Purdell et al, 2011).

#### 5.1.8 NIVEL ALOGRÁFICO

Representación a nivel visoespacial de las letras escritas y secuenciadas para formar una palabra. Cada letra tiene la variable mayúscula y minúscula. Las letras se crean a partir de movimientos. Conocemos la existencia de un almacén de imágenes grafomotoras de las letras, pero necesitamos conocer como esas imágenes desde la memoria a largo plazo pasan a la memoria de trabajo para ejecutarse. Comportaría tanto el bucle articulatorio para la fonología como la memoria visual para la ejecución gráfica del patrón. Longcamp y sus colaboradores (2014) ya comprobaron la diferencia entre los grafemas de las letras y la de los dígitos en las regiones premotoras y las podemos observar en la figura 9 que se encuentra en el Anexo I. Las diferencias según Adi-Japha y Freeman (2001) son significativamente distintas desde los seis años y Yamagata (2007) afirma que dichas discrepancias se inician en niños de alrededor de dos años. Estos estudios afirman que la representación grafomotora de las letras es neurológicamente independiente de otras representaciones, lo que confirmaría que motrizmente hay regiones específicas de dominio para patrones lingüísticos. Durante la escritura de letras también se activarían regiones implicadas en el procesamiento fonológico. Las representaciones de las letras estarían situadas en las regiones precentrales.

#### 5.1.9 ANÁLISIS VISUAL

En análisis visual en la lectura tiene como objetivo el procesamiento de los signos escritos. Tiene la función de identificar las letras en las palabras escritas, codificar las letras según su posición respecto al resto en la palabra y agrupar las letras que forman parte de una palabra. De manera general podemos identificar varias letras de manera simultánea y en paralelo.

Visual y perceptivamente los movimientos sacádicos y las fijaciones son relevantes. Neuroanatómicamente hablando la lectura se iniciaría en el área occipitotemporal ventral. Durante la lectura de palabras se activarían el surco temporal superior posterior y el surco

temporal superior anterior, se implica menos con pseudopalabras o cadenas de letras consonánticas (Cohen et al., 2002). Según nos dice Pulvermüller (1999) las palabras de alta frecuencia se procesan con mayor eficacia sináptica.

Los primeros modelos neuropsicológicos para la lectura proponen que la corteza occipital realiza el procesamiento visual y envía la información a la circunvolución angular izquierda primeramente y posteriormente al área de Wernicke (Damásio, 1983).

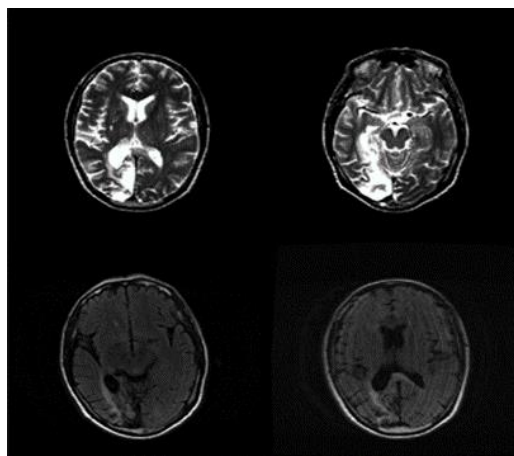
El sistema cognitivo se basa en el contexto para hacer predicciones, en el sistema visual esta función se desempeñaría en el nivel inferior de la corteza occipital (Rao y Ballard, 1999) y en la corteza orbitofrontal medial, siendo esta última la que da lugar a las expectativas (Bar et al., 2006) teoría que se puede ver en la figura 10 que se encuentra en el Anexo I.

#### 5.1.10 LÉXICO DE ENTRADA VISUAL. (Exclusivo de la ruta léxica en la lectura).

Representaciones visuales ortográficas de las palabras escritas, se almacenan en la memoria y forman un léxico de tipo visual especializado para las letras. Las palabras llegan a almacenarse en el léxico tras verlas un número suficiente de veces. A medida que las palabras escritas se hacen familiares se va elaborando un léxico de estímulos visuales, similar al léxico auditivo. Se puede decir que es el reconocimiento “a primera vista” de una palabra.

El estímulo visual global está compuesto por los estímulos del sistema visual para reconocer letras, dichas representaciones activan el significado. Cada letra tiene unos rasgos físicos a nivel visual que deben ser reconocidos, la incapacidad para reconocer dichos rasgos se denomina alexia. Los pacientes con alexia tienen daños en la circunvolución fusiforme izquierda.

Se han realizado varios estudios sobre la lectura especializada (Price y Mechelli, 2005), su adquisición en niños (Shaywitz et al., 2002), y su deterioro en pacientes con alexia pura (Leff et al., 2001), todos ellos coinciden en que la corteza fusiforme posterior izquierda es fundamental en el reconocimiento visual de palabras. En la figura 11 vemos la imagen por resonancia magnética de un paciente con daño al lóbulo occipital, con afectación del esplenio, en el hemisferio izquierdo dominante que mostraba alexia sin agrafia, hecho que no se corresponde con el daño. Este hecho demuestra como la organización cerebral del lenguaje es compleja y no siempre es análoga en todas las personas, aunque una gran mayoría muestren dominancia del lenguaje en el hemisferio izquierdo sobre todo en personas diestra.



**Figura 11.** Alexia sin agrafia es un síndrome de desconexión que típicamente implica daño al lóbulo occipital, con afectación del esplenio, en el hemisferio izquierdo dominante. Se describe un caso excepcionalmente raro de un individuo diestro que muestra este déficit después de un accidente cerebrovascular occipital derecho. Durante la evaluación, exhibió un marcado déficit en su capacidad de leer,

con la visión completamente intacta. Su habilidad para escribir palabras sueltas y frases cortas del dictado estaba intacta, pero luego no pudo leerlas. (Robinson et al., 2016)

En un estudio de realizado por Devlin y sus colaboradores (2006), se expuso a palabras y pseudopalabras a la vez que se realizaba una resonancia magnética para dilucidar la contribución funcional específica de esta región a la lectura. Analizaron las imágenes funcionales identificando la región específica de la circunvolución fusiforme posterior izquierda dedicada a la lectura de palabras y pseudopalabras, como se puede ver en la figura 12 que se encuentra en el Anexo I. Se comparó por separado las palabras no relacionadas y pseudopalabras. En dicho estudio se concluyó que, a diferencia de las palabras, la repetición de pseudopalabras no produjo un efecto de cebado neuronal en esta región. Las palabras ortográficamente relacionadas si produjeron un efecto de cebado neuronal, pero este efecto de cebado ortográfico se redujo cuando los pares de palabras se relacionaron semánticamente. Estos hallazgos entran en conflicto con la noción de formas de palabras visuales almacenadas y sugieren que esta región actúa como una interfaz entre la información de la forma visual y las propiedades de estímulo de orden superior, como su sonido y significado asociados. Es importante destacar que esta función no es específica para la lectura.

#### 5.1.11 CONVERSIÓN GRAFEMA-FONEMA (exclusivo de la ruta subléxica en la lectura).

La conversión grafema-fonema es el proceso que usan los lectores competentes para leer palabras infrecuentes o pseudopalabras. Se reconocen las letras y cada una de ellas se asocia a un fonema, de tal manera que esta conversión se da cuando no se activa el léxico visual y lleva de la palabra escrita a la leída. Formaría parte de la ruta subléxica y es un proceso muy frecuente en los niños cuando comienza a leer.

Este módulo sería similar al de conversión fonema-grafema, pero a la inversa. Sería necesario un almacén grafofonético en el cual se asociarían estos dos conceptos. La memoria visual de los grafemas se situaría en una zona más occipital y la memoria y producción de los fonemas en el área de Wernicke y Broca. Todas las conjeturas al respecto son de tipo teórico ya que no hay estudios que analicen la localización anatómica de la memoria grafémica y fonémica, así como la asociación entre ambas.

#### 5.1.12 LÉXICO DE PRODUCCIÓN DE HABLA. (Exclusivo de la ruta léxica en la lectura).

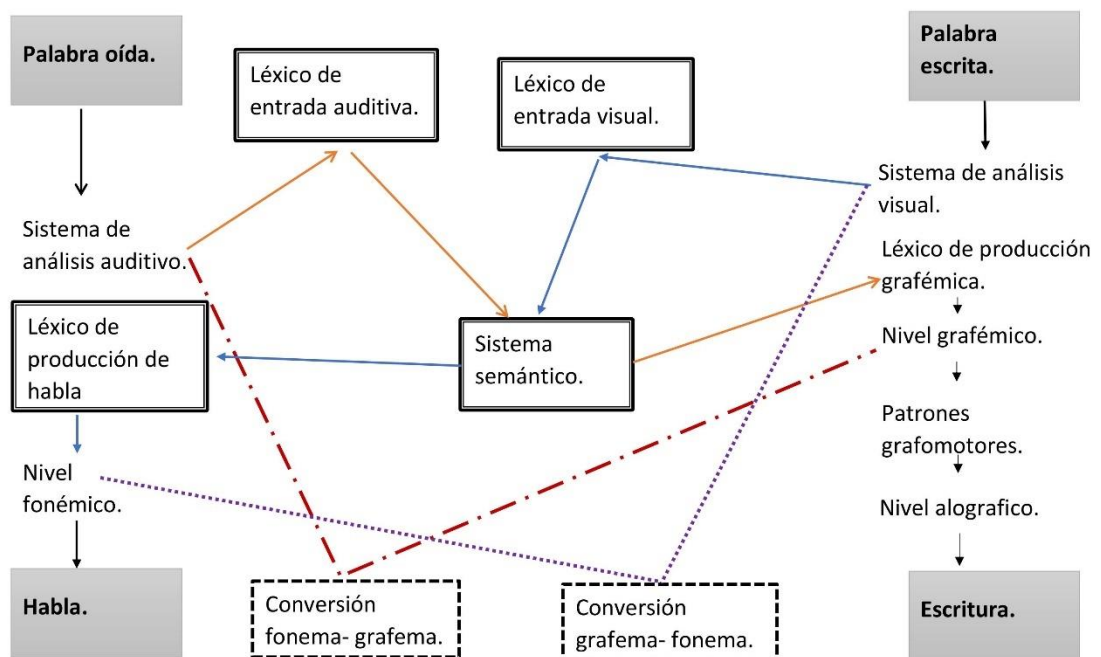
La función de este módulo es recuperar y hacer disponible la forma hablada de una palabra. La producción sería posterior a una activación del sistema semántico o del estímulo visual como podemos observar en la figura 4. Las palabras de alta frecuencia son las que están más accesibles que las de baja frecuencia y por lo tanto se procesan a una velocidad mayor.

Los pacientes con afasia anómica muestran un déficit en este procesamiento, conocen el significado, pero fallan en la evocación o también llamado acceso a la forma de la palabra. Respecto a léxico de producción de habla que tiene origen en el análisis visual de la palabra escrita no se han encontrado estudios neuroanatómicos que nos digan donde se sitúa. La afasia anómica tiene una localización bastante dispar que puede estar en el lóbulo temporal, parietal o frontal, lo que sí parece ser cierto es que lesiones en el área 37 de Brodmann producen dificultades más severas en la denominación de la palabra con una comprensión conservada. La afasia anómica que se cursa con alexia y agrafia suele estar relacionada con lesiones en el área 39 y el área 40 de Brodmann.

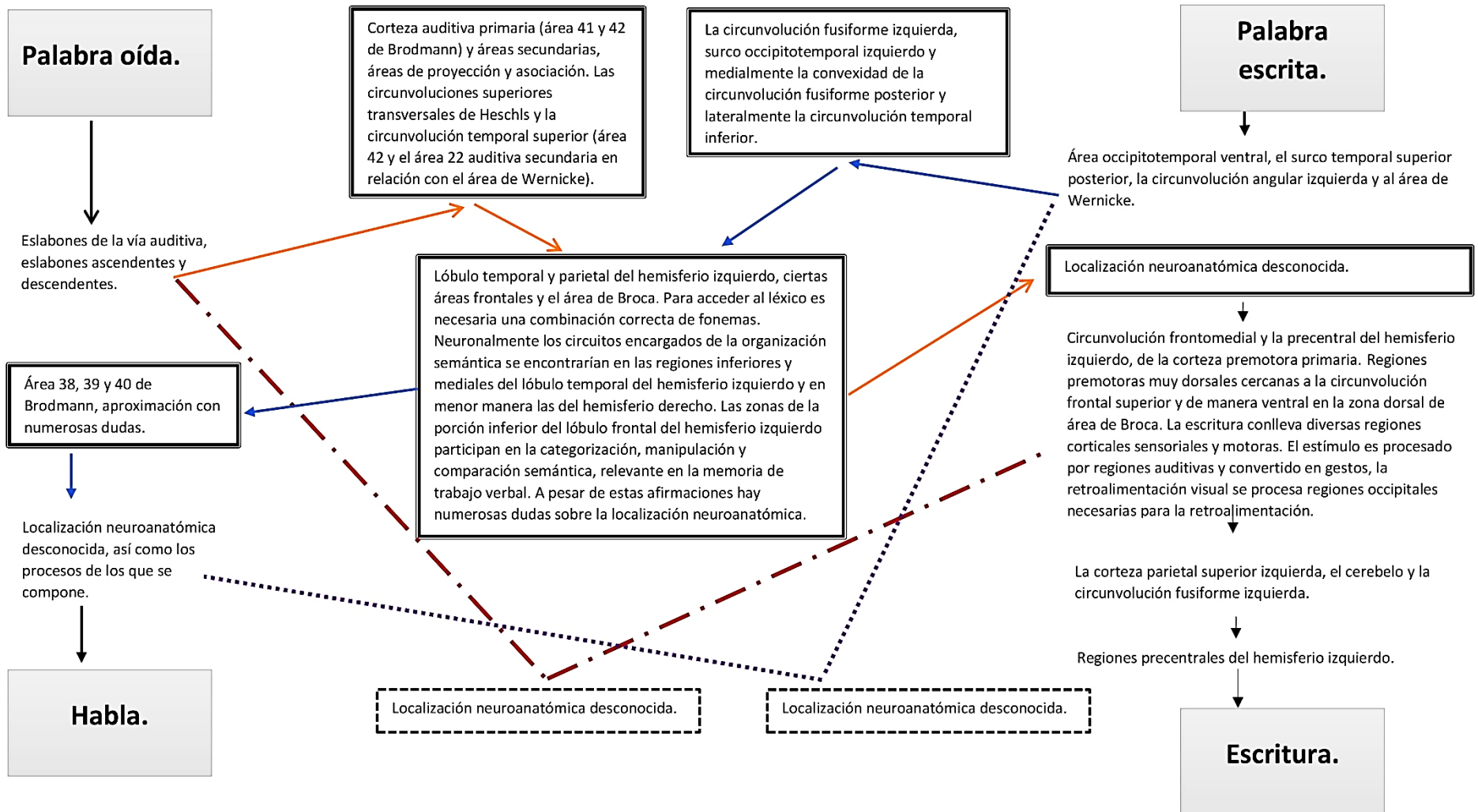
Se puede concluir que los datos que tenemos respecto a la localización anatómica del léxico de producción de habla son poco concluyentes y las inferencias que realizamos desde la patología, afasia anómica, poco relevantes.

### 5.1.13 NIVEL FONÉMICO.

Es el conjunto de representaciones de los fonemas de un idioma concreto y se codifican en función de su situación y a él se llega información desde el sistema de análisis auditivo, del léxico de producción de habla y la conversión grafema-fonema. Su función es dirigir el habla, pero los procesos de dicha función aún son desconocidos como la localización neuroanatómica de los mismos.



**Figura 13.** Modificación propia del Modelo compuesto para el reconocimiento y la producción de palabras habladas y escritas. para la producción y reconocimiento de una sola palabra propuesto por Ellis y Young (1992) que se puede ver en la figura 4. Las líneas sólidas (de color azul para la lectura y de color naranja para escritura) representan la ruta léxica y las fragmentadas (de color rojo para la escritura y de color morado para la lectura) las de la ruta subléxica. En la figura 14. se puede observar el correlato neurológico de cada función. (Elaboración propia).



**Figura 14.** Cuadro resumen de la neuroanatomía de los procesos de lectura y escritura de normoleectores. Tomando como base la **Figura 13**, se han sustituido los procesos por la situación neuroanatómica de los mismos, de tal manera que este es una figura análoga a la anterior, pero de carácter neuroanatómico. Las líneas solidas representan la ruta léxica (de color azul para la lectura y de color naranja para escritura) y las fragmentadas las de la ruta subléxica (de color rojo para la escritura y de color morado para la lectura). (Elaboración propia).

## 5.2 La lectoescritura en el cerebro disléxico.

La mayoría de los estudios realizados en disléxicos se centran en las siguientes áreas:

Zona neuroanatómica implicada.	Funciones descritas implicadas en la lectoescritura.	Situación que se presupone en los disléxicos.
<b>Parietotemporal, circunvolución temporal superior.</b>	Representaciones fonológicas. Descomposición de palabras en sílabas y fonemas, fundamental para leer unidades grafológicas.	Problema de conciencia fonológica. Pobre activación cerebral.
<b>Circunvolución frontal inferior izquierda (área de Broca).</b>	Articulación, memoria acorto plazo y reconocimiento grafico de las letras	Deficiente memoria a corto plazo y problemas en el bucle fonológico.
<b>Circunvolución fusiforme, área occipito temporal izquierda.</b>	Almacén de representaciones ortográficas. Se activa con la lectura.	Problemas de almacenamiento léxico de las palabras.
<b>Cisura de Silvio</b>	Involucrada en la vocalización, propiocepción articularia y el bucle fonológico, relación directa con la corteza acústica primaria.	Áreas menos conectadas al resto del cerebro
<b>Corteza. Sustancia gris y sustancia blanca.</b>	Relación entre el rendimiento cognitivo y la densidad de materia gris. El volumen, el grosor y la densidad del cerebro varía de la infancia a la adolescencia y a adultez. Relación entre el comportamiento y el estado de las estructuras neuroanatómicas.	Inferior densidad de sustancia gris y menor conectividad de la sustancia blanca. Conexiones deficientes entre distintas áreas.
<b>Otros estudios mucho menos numerosos estudian el cerebelo y el tálamo.</b>		

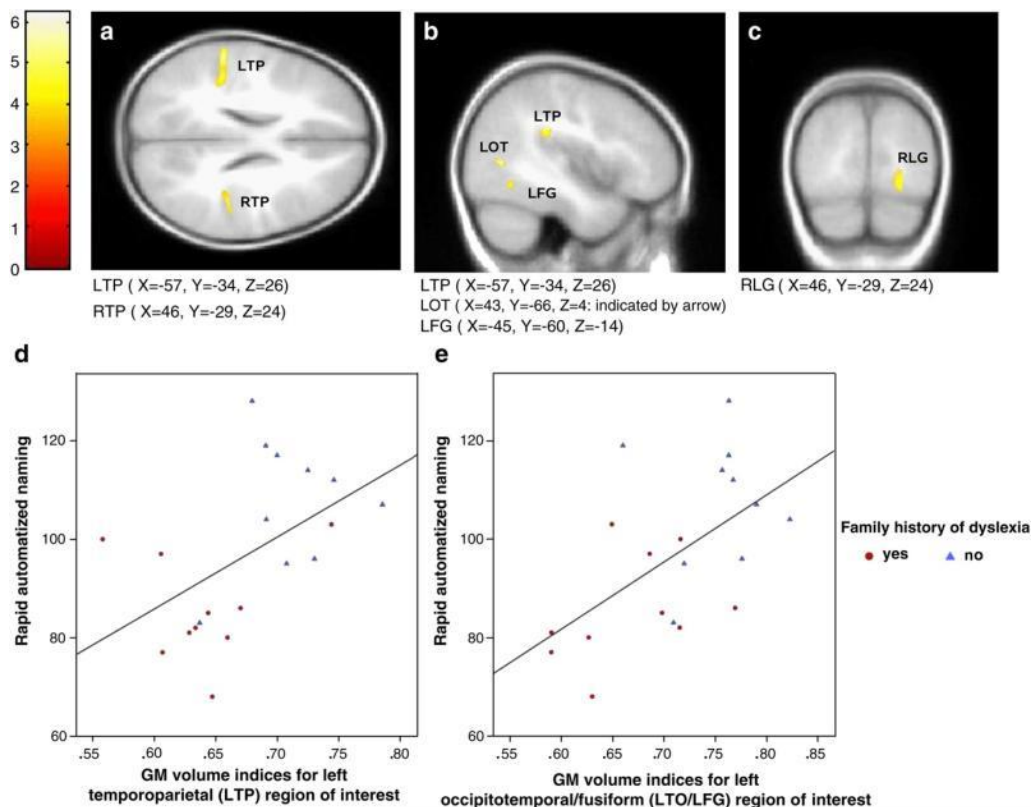
**Tabla 2.** Áreas cerebrales más estudiadas en disléxicos por su aparente anomalía (elaboración propia).

### 5.2.1 PARIETOTEMPORAL: REPRESENTACIONES FONOLÓGÍAS.

El lóbulo parietal contiene el área somatosensorial primaria que contiene a su vez las áreas sensitivas de 1, 2 y 3 de Brodmann, área somatosensorial secundaria y áreas de asociación somatosensorial. El lóbulo temporal contiene las áreas auditivas 40 y 41 de Brodmann, secundarias y de asociación que comprenden el córtex auditivo. El área primaria del lóbulo temporal recibe información auditiva y permite tomar conciencia del estímulo. El área secundaria y de asociación contienen el área de Wernicke, imprescindible para la comprensión auditiva, así como seleccionar o reconocer determinados estímulos auditivos, además tiene importantes conexiones con otras áreas de lenguaje del encéfalo. El lóbulo temporal medial se ha asociado con la memoria y en especial la de tipo verbal, en el hemisferio izquierdo. El área de asociación parietotemporocipital se relaciona con la información de los sistemas visuales, auditivos y somatosensorial que envía información al prefrontal, así como las funciones complejas de dirección de la atención, integración de la información auditiva y compleja. El área de asociación límbica se encarga de integrar la información de las áreas primarias y secundarias con las experiencias previas memorísticas y emocionales, importante para el aprendizaje y la motivación.

Eckert y sus colaboradores (2005) analizan la morfología del cerebro disléxico en niños mediante la morfometría basada en voxéles. Las comparaciones demostraron que hay diferencias en el área parietotemporal izquierda en cuanto al volumen de materia blanca, hecho que corrobora los resultados de otros estudios previos realizados por tensor de difusión. También se observaron diferencias en la materia gris en las regiones de la circunvolución lingual izquierda y derecha, el lóbulo parietal inferior izquierdo y el cerebelo. Hoeft y su equipo (2006) compararon los datos de disléxicos con un grupo control por edad

y con otro grupo control por nivel de lectura. Los disléxicos mostraron una reducción de la activación en la corteza parietotemporal izquierda y derecha respecto a los grupos controles, como podemos observar en la figura 15 que se encuentra en el Anexo I. Los dos grupos controles mostraron el mismo nivel de activación en las mismas regiones, lo que quiere decir que el nivel de lectura o el rendimiento no explica las diferencias de activación, esas diferencias representan áreas neuronales atípicas. Raschle (2011) hace uso la de morfometría basada en voxéles para valorar el volumen de materia gris de niños menores de seis años, sin la lectoescritura adquirida, con antecedentes familiares de dislexia y niños controles que no tenían dichos antecedentes. Los datos mostraron que la materia gris era significativamente reducida para los niños con antecedentes en regiones occipitotemporales izquierdas, parietotemporales bilaterales, circunvolución fusiforme izquierda y circunvolución lingual derecha, como podemos observar en la figura 16. La denominación automática se asoció con los índices de sustancia gris en las regiones occipitotemporales y parietotemporales del hemisferio izquierdo. Estos resultados sugieren que la experiencia no tiene efectos cerebrales en estas áreas, sino que hay una configuración desde el nacimiento.

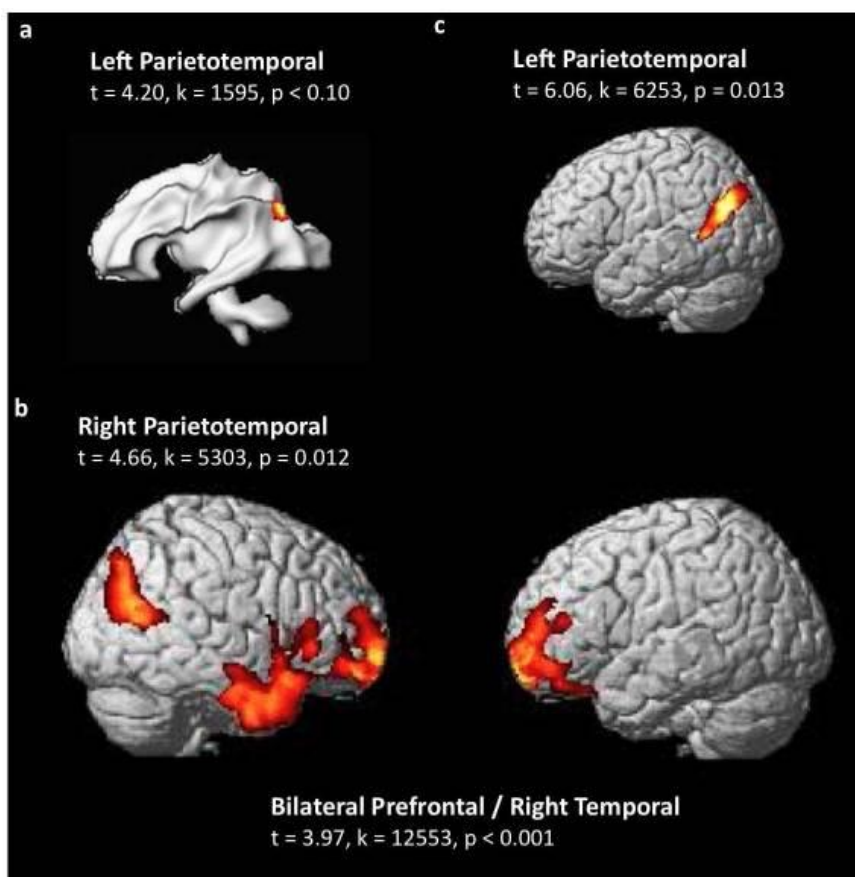


**Figura 16.** Áreas del cerebro con índices de volumen de sustancia gris disminuidos en la lectura para niños con antecedentes dislexia y niños sin antecedentes. (Raschle et al., 2011).

Backes (2002) comparó como se activaban las áreas cerebrales de en niños disléxicos en comparación con los normotípicos en tareas de procesamiento visoespacial, ortográfico, fonológico y semántico. Encontró que los disléxicos para realizar las tareas usaban áreas no especificadas para el lenguaje. Activaban la corteza extraestriada izquierda durante todas las tareas. Durante el procesamiento ortográfico y la tarea visoespacial predominantemente se activaba la corteza prefrontal derecha. En general mostraron una menor activación de la corteza temporal y prefrontal durante el procesamiento fonológico.

Podemos deducir que la causa de que activen zonas no específicas para el lenguaje es un modo de compensar la pobre activación de las áreas que si son específicas para el lenguaje. Laycock (2006) enfrenta los resultados entre disléxicos y controles del mismo nivel de lectura y controles de la misma edad en tareas psicofísicas para la activación selectiva de la corteza parietal. Los disléxicos y controles de la misma edad no mostraron diferencias significativas en el rendimiento. Los resultados de los disléxicos en comparación con los controles del mismo nivel de lectura indican que el funcionamiento del área parietal mejora con la edad. Los resultados indican que el rendimiento de las funciones parietales se perfecciona con el tiempo y tienen más relación con la inteligencia no verbal que con la precisión de lectura.

Black y sus colaboradores (2012) estudiaron cómo los antecedentes familiares maternos son predictores del desarrollo de la dislexia en relación con el comportamiento de las estructuras cerebrales. Concluyeron que los antecedentes maternos predisponían a menos materia gris prefrontal y parietotemporal, pero curiosamente no suponían menos materia blanca. Se constató que había una relación entre el área superficial cortical y el grado de severidad materna, lo que sugiere influencia prenatal de la historia materna en el cerebro de los niños como podemos ver en la figura 17. La revisión del riesgo conductual, el estado socioeconómico y la educación materna y otros factores confusos no modificaron los resultados. Con estos datos podemos concluir que en la dislexia la genética tiene un peso muy relevante.

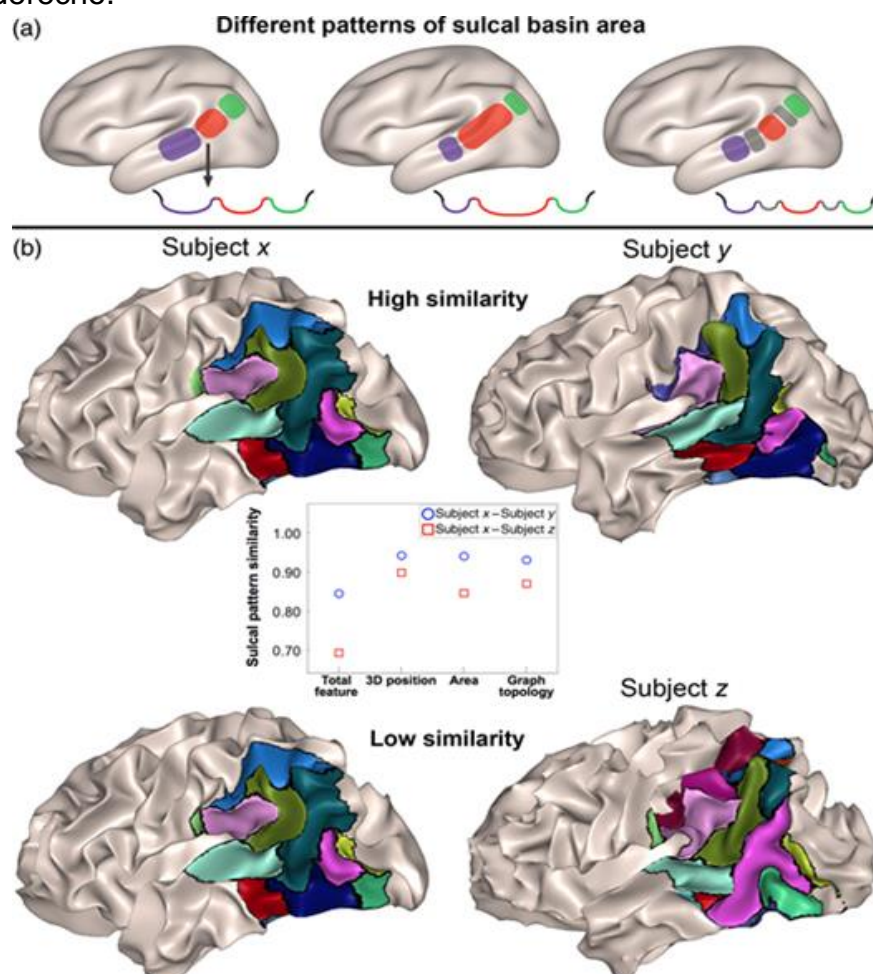


**Figura 17.** Asociación entre el volumen cerebral de las distintas regiones y el índice de riesgo familiar materno equivalente al test de lectura para adultos. (a) Regiones donde hubo una asociación entre el volumen de materia gris y los resultados del test. (b) Regiones donde hubo una asociación entre el volumen de materia gris y las subpruebas fonológicas del test. (c) Representación de las correlaciones entre el test y el volumen

de materia gris. (d) Representación de las correlaciones entre las subpruebas fonológicas y el volumen de materia gris. (Black et al., 2012).

Beneventi (2009) asocia que el deterioro de la memoria verbal no se explica totalmente por una representación fonológica o un bucle fonológico deficiente, el problema estaría relacionado con un deficiente acceso a las representaciones por un fallo de los procesos ejecutivo-centrales. Los déficits en el ejecutivo central no se deben evaluar con estímulos verbales. Es importante incluir en el diagnóstico de los disléxicos una evaluación del ejecutivo central para una intervención individualizada. Las imágenes del tensor de difusión revelaron una disminución bilateral de los haces de fibras que conectan el lóbulo parietal inferior con la corteza temporal superior y media. Estos hallazgos sugieren que las conexiones parietotemporales juegan un papel importante para el despliegue de la atención dentro de las palabras durante la lectura.

Es interesante conocer estudios de pacientes con alexias, agrafias y/o dislexias adquiridas por daño cerebral, ya que gracias a esos pacientes podemos asociar el área lesionada con la localización dicha función. Ptak y su equipo (2016) presentan un estudio de caso uno sobre un paciente con daño bilateral occipitoparietal que presentó dislexia por negligencia izquierda junto con la pérdida del campo visual derecho. Las lesiones cerebrales comprendían el lóbulo parietal inferior y superior, así como las cuneus y precuneus del hemisferio izquierdo, y la circunvolución angular y la corteza occipital lateral del hemisferio derecho.



**Figura 18.** El grupo con dislexia del desarrollo mostró una similitud significativamente baja con el grupo normotípico del patrón de los surcos en el hemisferio izquierdo cosa que no pasa con en el hemisferio derecho.

En la imagen se ejemplifican diferentes patrones característicos. (a). Los surcos análogos están marcados en el mismo color. (b) dos cerebros de edades distintas, los surcos de los dos cerebros tienen un tamaño distinto y/ o cuentan con un número distinto de surcos. (Im et al. 2015).

Im y sus colaboradores (2015) analizan los surcos primarios de la corteza y su relación con una organización óptima de las funciones corticales. Tras la comparación de los datos se observó que los surcos eran atípicos en las regiones parietotemporales en disléxico, como se puede observar en la Figura 18. Esas diferencias en el patrón podrían tener una razón genética más que ambiental. El volumen cambia a lo largo del desarrollo postnatal, sin embargo, el patrón de las circunvoluciones y surcos primarios determina y regula prenatalmente en el espacio y tiempo, además de mostrar pocos cambios con la edad.

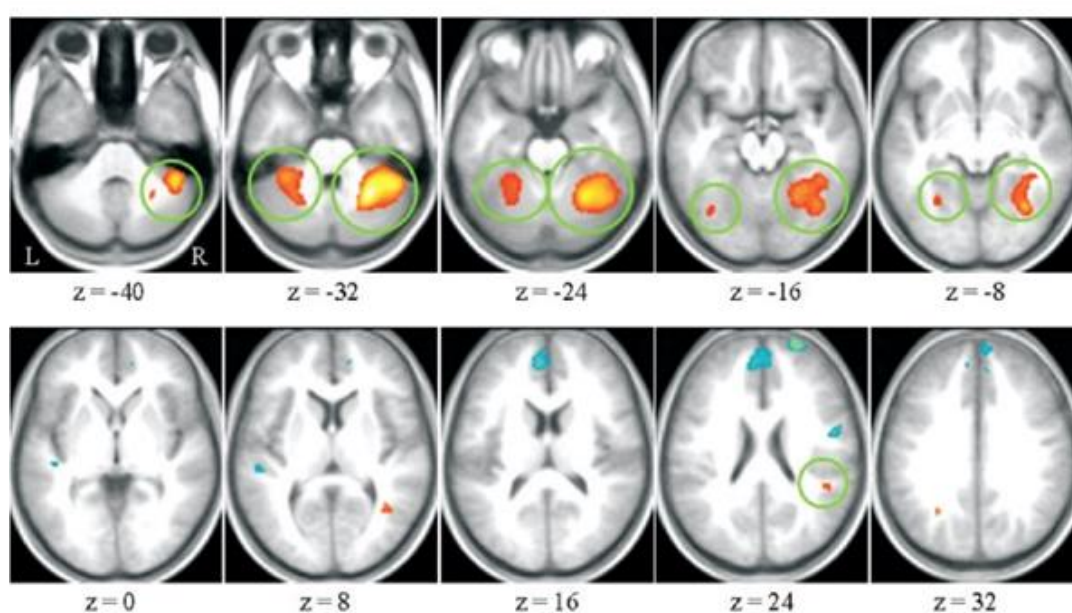
Según los estudios aquí analizados se puede concluir que hay una alteración real del área parietotemporal en el hemisferio izquierdo, que se ha asociado con el procesamiento fonológico. La diferencia está tanto en el volumen de materia gris como el de materia blanca, además de que durante las tareas lingüísticas muestra un menor nivel de activación compensado con otras áreas no específicas para el lenguaje. La desigualdad de organización asociada a surcos anormales es un planteamiento interesante sobre el que encontramos pocos estudios aun, pero resulta lógico que difieran. Dichas diferencias se dan comparando los sujetos disléxicos con controles de la misma edad y del mismo nivel de lectoescritura. Los antecedentes familiares condicionarían esas anomalías, en especial los de la madre, lo que nos hace pensar que desde el nacimiento están limitadas. Estas variaciones dan lugar a un déficit fonológico, pero desconocemos si es una dificultad en la representación o en el acceso por lo que sería interesante ahondar en ese planteamiento.

### 5.2.2 OCCIPITOTEMPORAL: ALMACEN LÉXICO.

El lóbulo occipital ha sido descrito como el área de procesamiento de la información visual. La corteza visual primaria corresponde al área 17 de Brodmann que es el responsable de la percepción visual y el resto de la corteza constituye la corteza de asociación visual, fundamental para interpretar imágenes. La vía ventral procesa las características aisladas, la vía dorsal por su parte se encarga de la localización y el movimiento. El lóbulo temporal quedó explicado anteriormente. KF Burdach en 1822 describe un tracto de materia blanca que conecta el lóbulo occipital y el temporal, llamado fascículo longitudinal inferior. Esta conexión entre lóbulos es de tipo asociativa y tiene relación con las funciones visuales de asociación. Este fascículo parece mediar la transferencia rápida de señales visuales a regiones temporales y proyecciones moduladoras desde la amígdala a las áreas visuales. Existiría una relación entre lo visual y lo emocional y lo semántico.

Kronbichler (2008) y su equipo hicieron un estudio sobre la existencia de anomalías estructurales de la zona occipitotemporal en disléxicos, ya que solo se conocía que mostraban menos activación. Los resultados obtenidos mostraron menos volumen de materia gris para los lectores disléxicos en la circunvolución fusiforme izquierda y derecha, el cerebelo anterior bilateral y en la circunvolución supramarginal derecha. El área occipitotemporal y el cerebelo estarían fuertemente relacionados con la lectura y una anomalía en las mismas impediría la correcta adquisición de la lectoescritura, especialmente de la ruta léxica para la lectura. Seghier y sus colaboradores (2012) estudiaron la existencia del caso de un paciente que sufrió un ACV y adquirió dislexia.

Posteriormente dicho paciente recupero la capacidad de leer en voz alta, con más éxito en las palabras más cortas. Utilizando la resonancia magnética funcional en 2012 Seghier, analizó las vías que usaba para la lectura y encontraron era capaz de leer in hacer uno de la corteza occipitotemporal. A raíz de la aparición de este paciente y las evidencias que muestra, se pone en duda la afirmación de que el área occipitotemporal ventral izquierda sea necesaria para la lectura de palabras familiares, si bien es cierto la lectura que alcanzo el paciente no era competente en su totalidad y que si bien una gran parte de la población tiene una localización homogénea de las funciones esto no siempre tiene que ser así por la gran plasticidad cerebral. Altareli y su equipo (2013) examinaron el grosor cortical de niños disléxicos frente a controles emparejados por edad y sexo. Partían de la base planteada por Kronbichler (2008). Tras realizar el nuevo estudio Altareli reafirmo que los disléxicos mostraban una reducción en el grosor cortical, como se puede observar en la figura 20 en el Anexo I.



**Figura 19.** Zonas cerebrales con diferencias significativas grupales en el volumen de materia gris estudiadas por (Kronbichler, 2008).

Fernández (2013) analizó los volúmenes del lóbulo anterior del cerebelo en niños disléxicos que debía ser menos asimétrico hacia la derecha que los normolectores, idea propuesta por Kronbichler (2008). Los resultados mostraron que tales diferencias no fueron estadísticamente relevantes tanto para la materia gris como para la materia blanca, sin embargo, se observó un volumen reducido del lóbulo anterior del cerebelo de los sujetos patológicos. Comparando los estudios de Kronbichler (2008) y Fernández (2013) podemos decir que no conocemos el papel del cerebelo y si este es anormal en los disléxicos puesto que sus conclusiones son opuestas y contradictorias.

El estudio más reciente que encontramos es de Williams (2018) en el cual se analiza de nuevo las diferencias de nivel de grosor cortical en niños. Los resultados muestran un aumento en la circunvolución occipitotemporal izquierda y en las cortezas frontales superiores derechas. En la región occipitotemporal izquierda convergen una corteza más delgada y mayor girificación. Esta zona tiene un papel destaca el para el procesamiento de las palabras por la ruta léxica. La última tendencia en los estudios sobre la neuroanatomía

es tener en cuenta la girificación como una variable estable que condiciona otros factores y que está condicionada fuertemente por la genética.

Respecto a los estudios aquí analizados sobre el occipitotemporal deducimos la misma conclusión que en la obtenida en el área parietotemporal. Existe una alteración a nivel de grosor de materia gris y blanca, y además una girificación anormal de los disléxicos frente a los controles. Sería interesante plantearse si la alteración del área da lugar a una dificultad en la representación o en el acceso. Faltaría estudiar en profundidad la importancia de los antecedentes, así como comparar con controles de la misma edad y del mismo nivel de lectoescritura.

### 5.2.3 EL CUERPO CALLOSO: COMUNICACIÓN INTERHEMISFÉRICA.

Roger Wolcott Sperry recibió el Premio Nobel de Medicina en 1981 por sus descubrimientos relacionados con la especialización funcional de los hemisferios cerebrales. Sperry (1974) estudio el cuerpo calloso, el conjunto de fibras principales que conectan los dos hemisferios. Trabajando tanto en ratas como en monos y humanos. Gracias a las callosotomías realizadas en pacientes epilépticos llegó a la conclusión de que cada hemisferio tiene unas habilidades y unas funciones especializadas. Sperry y su alumno Gazzaniga propusieron que el hemisferio izquierdo tenía las funciones del lenguaje además de que era el usado para resolver problemas analíticos y racionales, por otro lado, el derecho sostiene funciones como el razonamiento, capacidad de análisis visoespacial, reconocimiento de caras y dibujar. Además, se describió que cada hemisferio posee personalidades diferentes siendo el hemisferio izquierdo menos emocional que el derecho.

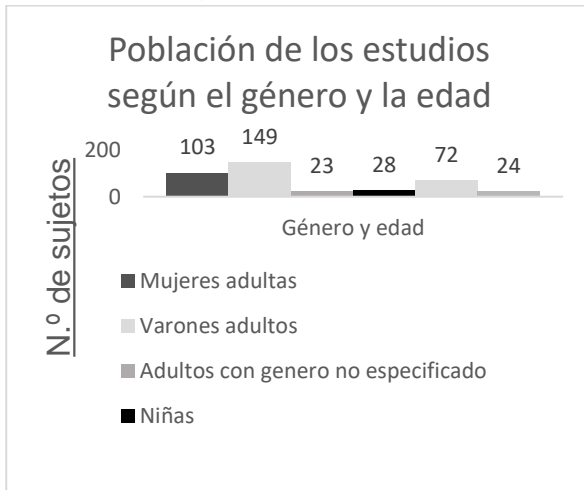
Cada hemisferio tiene una especialización, pero es función del cuerpo calloso permitir la comunicación de ambos gracias a la trasmisión de información interhemisférica, aunque aún hay dudas de cómo se produce el procesamiento e integración de la información. Numerosos estudios se basan en las evidencias de Sperry para deducir que los problemas de los disléxicos son por una deficiente comunicación interhemisférica que se materializa en una anatomía anormal del cuerpo calloso. Estas conclusiones nos llevarían a la hipótesis de que si cada hemisferio tiene unas habilidades y dichas habilidades tienen que combinarse para una correcta destreza, y esta es deficiente, la posible causa es una deficiente combinación de estas por es causada por un déficit en el canal de comunicación y combinación materializado en una forma anatómica distinta del cuerpo calloso de los disléxicos frente a los normotípicos.

Al ser un enfoque llamativo y novedoso, del cual no se han realizado numerosos estudios, se propone una revisión sistemática de la bibliografía encontrada. Fueron diez los estudios encontrados, lo cuales se llevaron a cabo entre 1996 y 2017. De siete de los diez se analizó con detenimiento las características de la población estudiada. Las variables que se analizaron fueron edad, género, severidad y CI. La variedad edad fue básica para ver si las posibles alteraciones en el cuerpo calloso aparecían y se mantenían en todas las etapas del desarrollo. La variable genero también se seleccionó como criterio, las estadísticas nos dicen que el porcentaje de varones disléxicos es notablemente superior al de mujeres. La variable severidad (desviaciones típicas) era un criterio básico, así como el CI, siendo estos dos factores primordiales para el diagnóstico clínico dislexia. Los datos analizados se pueden observar en la tabla 3.

Edad	N.º de estudios	Género	N.º de controles	N.º de disléxicos	Indeterminado si existe patología	D de Cohen	95% CI	Total
Adultos	2. (Castro-Caldas, 1999)	Mujeres	18	23	24	-	-	103
	5. (Fine, 2007)		38	21		-	No menor de 80. Superior 85.	
	7. (Van der Haegen, 2013)		19	23		-	-	
	1. (Rumsey, 1996)	Varones	25	14	20	6	-	149
	3. (Robichon, 2000)		16	11		7	No menor de 80	
	5. (Fine, 2007)		11	12		12	-	
	6. (Sun, 2010)		12	11		-	Superior 85. No menor de 80	
7. (Van der Haegen, 2013)	Indeter. minado	8	11	9	-	No menor de 80.	28	
5. (Fine, 2007)		20	20	15	2	Superior 85. No menor de 80.		
Niños	4. (von Plessen, 2002)	Varones	10	7	15	-	-	72
	5. (Fine, 2007)		12	12		6	-	
	8. (Luders, 2017)	Indeter. minado	5. (Fine, 2007)	12		12	3	
Total	7 estudios (1996-2017) en 18 años.		189	142	68			

**Tabla 3.** Analisis sistematico de 7 realizados entre 1996 y 2007.( Elaboración propia)

En relación con las variables género y edad podemos observar en la figura 21. que los estudios se han realizado de manera mayoritaria en adultos y especialmente en varones. En la figura 22. se observa que los sujetos patológicos han sido comparados con un número mayor de sujetos normotípicos. Por otro lado, podemos ver como de manera individual cada uno de los estudios no tiene poblaciones amplias de análisis. La variable CI debería controlarse ya que las diferencias pueden ser más por una la variable de inteligencia que por la dislexia, y como podemos observar en muchos de los estudios no se tiene en cuenta. Tampoco se tiene en cuenta variable severidad que sería importante de cuantificar en un grupo tan heterogéneo como los disléxicos.



**Figura 21.** Población según género y edad.



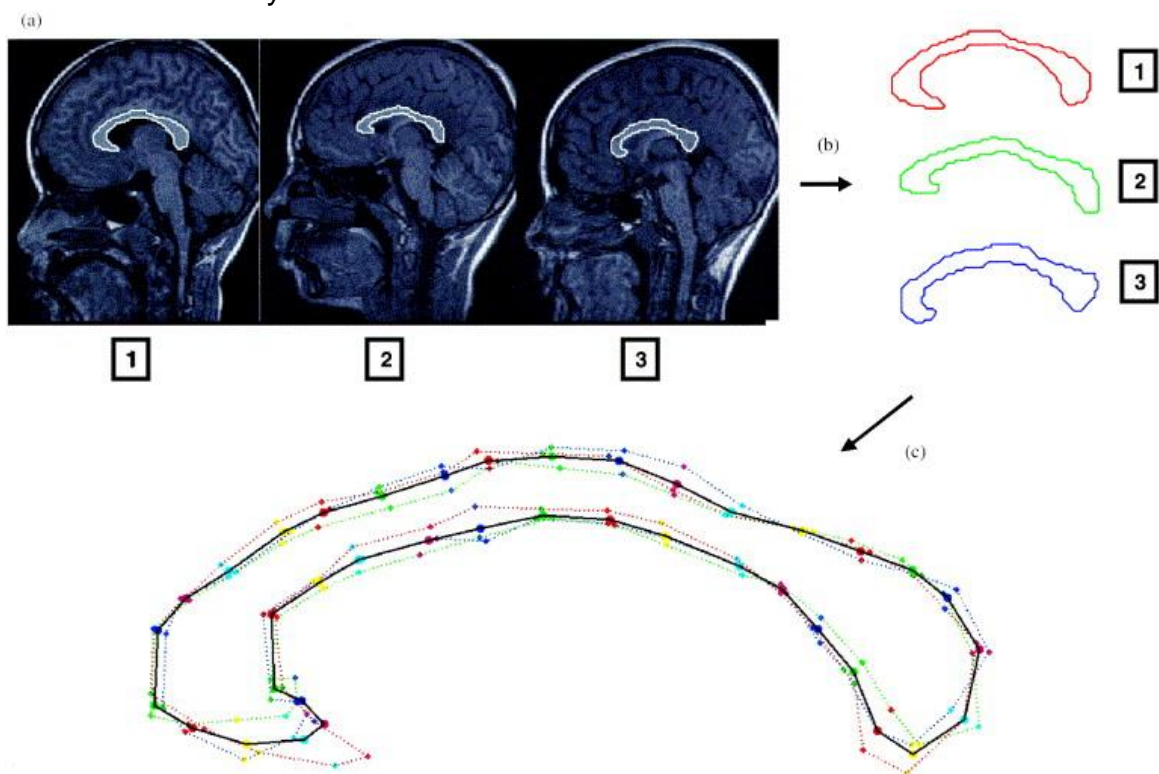
**Figura 22.** Disléxicos frente a normotípicos.

Rumsey (1996) plantea por primera vez la idea de que el cuerpo caloso de los disléxicos presenta diferencias. Concluyo que las diferencias están en la parte posterior siendo está más aumentada en disléxicos adultos. Esas diferencias anatómicas podrían tener su correlato funcional en una deficiente lateralización del lenguaje en la corteza posterior. Más tarde Castro-Caldas (1999) analiza cómo los factores ambientales, alfabetización, afecta al desarrollo del cuerpo caloso y se confirman las diferencias existentes. Robichon y sus

colaboradores (2000) replantean la misma hipótesis que se planteó Rumsey, en este caso hay una evolución tecnológica respecto a la técnica de resonancia magnética. Robichon encuentra alteraciones también en las regiones posteriores, pero la diferencia respecto a Rumsey es que dicha zona se encuentra disminuida y no aumentada como se dijo anteriormente.

El estudio de von Plessen (2002) analiza el cuerpo calloso en niños buscando que los resultados de los estudios anteriores se repliquen en cerebros que aún no son adultos y no están completamente desarrollados. Los resultados mostraron que el cuerpo calloso era más corto en la zona posterior, zona que conecta con la corteza auditiva primaria y secundaria. Las diferencias eran exclusivamente longitudinales, sin embargo, de manera global el cuerpo calloso no mostraba diferencias significativas respecto al grupo control. La conclusión que obtuvieron fue que el patrón de crecimiento de los disléxicos era anormal, como puede observarse en la figura 23.

Fine y sus compañeros (2007) realizan un interesante estudio en el cual los sujetos son familias disléxicas, padres disléxicos e hijos disléxicos. Con este estudio se analizó los datos respecto a la media familiar. Controló variables como el tamaño del cerebro, el CI, el sexo, la lateralidad y la presencia de otros déficits como el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. Los resultados arrojaron datos que los que mejor realizaban las tareas de lectura tenían áreas más grandes del cuerpo calloso en la porción media sagital. Los que mejor hacían las tareas fonológicas tenían volúmenes más pequeños del cuerpo calloso. A pesar de esos datos Fine concluyó que las diferencias en el cuerpo calloso no eran lo suficientemente concluyentes.



**Figura 23.** (a) Trazados manuales de cuerpo calloso realizados en tres sujetos; (b) contornos del cuerpo calloso aislados; (c) Modelo del prototipo (negro) junto con información estadística sobre la variación de forma. Los prototipos de vértices (puntos de colores) se han obtenido promediando las coordenadas de los vértices correspondientes en los tres ejemplos después se han alineado en un marco de coordenadas común. Las tres formas de cuerpo calloso alineadas se muestran en líneas de puntos rojas, verdes y azules. Este método para obtener un prototipo se llama análisis de Procrustes. (von Plessen, 2002).

Fang Sun (2010) realiza una revisión de distintos estudios que hace uso de variadas técnicas (imágenes de tensor de difusión, encefalograma, resonancia magnética funcional, espectroscopia, magnetoencefalografía y tomografía por emisión de positrones) para el análisis del cuerpo caloso y otras áreas neuroanatómicas implicadas en la lectoescritura. El objetivo de dicho estudio es comparar los análisis que se han hecho en el mundo occidental con los realizados en comunidades chinas. Dichos estudios confirmaban una reducción de la actividad neuronal en la corteza parietal y temporal izquierda que se extendía hasta el cerebelo, donde se encontraron cambios en los niveles de lactato. Los niveles más bajos de anisotropía fraccional aparecieron en los tractos bilaterales de la sustancia blanca, lo que indica un déficit de conductividad. Se mostro que el área frontal y temporal mostraban una actividad incrementada. Este estudio es especialmente interesante por la cantidad de áreas estudiadas además de todas las técnicas que aparecen. A parte de las conclusiones a las que llegan Yin-Fan Sun podemos decir que los fallos anatómicos pueden conllevar fallos en los niveles de activación y conexión, que podrían compensarse con otras áreas del hemisferio derecho no especializadas para el lenguaje, ver figura 24 que puede verse en el Anexo I. En esta revisión no se informa de las características de la muestra y el volumen de esta, tampoco aparecen conclusiones relevantes al comparar estudios de distintas sociedades.

Casanova y su equipo (2013) analizan el cuerpo caloso en adultos haciendo uso de métodos basado en voronoi para datos poligonales, esta técnica ofrece patrones que son descriptores de forma punto por punto y hace uso de longitudes de arco para evitar discontinuidades además de una reconstrucción en 2D. Las conclusiones que obtienen, es que existe un aumento generalizado en el tamaño del cuerpo caloso en la dislexia con una disminución concomitante.

Van der Haegen (2013) plantea la hipótesis de que no siempre es necesaria la transferencia de información entre hemisferios si la lectura se da por visión central. A las conclusiones que llegan es que los que tienen dominancia del lenguaje para el hemisferio izquierdo pronuncian más rápido cuando la lectura se inicia por el comiendo de la palabra y las personas que tienen dominancia del lenguaje para el hemisferio derecho por el final de la palabra. Esto explicaría que la información es más directa al hemisferio dominante, por lo que la visión tradicional de las proyecciones bilaterales en la visión central es incorrecta. La conexión interhemisférica es una condición necesaria para la visión centra. Estos resultados apoyan la teoría de que el esplenio del cuerpo caloso aumenta su sustancia blanca con el aprendizaje de la lectura.

El estudio más reciente que se puede encontrar es el de Luders y su equipo (2017), analizan el cuerpo caloso en niños con trastornos del habla y del lenguaje. Este estudio justificaría las anormalidades hemisféricas por una deficiente conectividad entre ambos. Tras el estudio se afirma que los niños con patología tenían un cuerpo caloso más reducido y de manera particular en el tercio anterior. El equipo investigador concluye que los trastornos del habla se correlacionan con una lateralización atípica, siendo esta la misma afirmación que hizo Rumsey en 1996.

Tras el análisis de estos estudios podemos decir que la mayoría concluyen que existe una alteración anatómica del cuerpo caloso en la zona posterior, que conecta con el área primaria y secundaria auditiva, fundamental para el procesamiento fonológico. Vemos una dependencia entre avances tecnológicos resonancia magnética y los avances en la

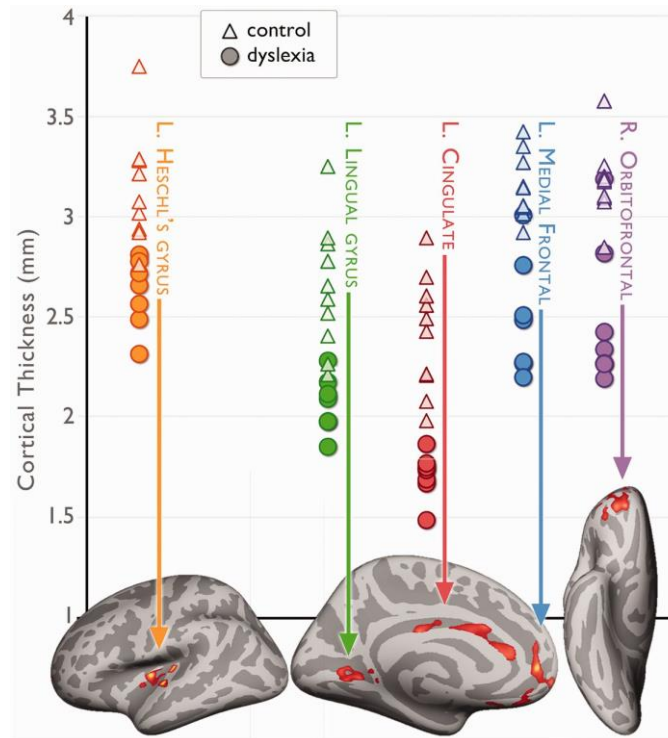
investigación. Hay que apuntar que son escasos los estudios en niños. Es interesante analizar el estudio de Robichon (1999), en el cual se intenta controlar la variable ambiental de alfabetización, es un estudio con numerosas debilidades, pero a pesar de ello afirma que el ambiente modifica el cuerpo calloso. Sería interesante conocer si los déficits en el desarrollo del cuerpo calloso aparecen ya en el nacimiento o, por otro lado, el cuerpo calloso se desarrolla anormalmente por un déficit en la información que llega a él desde otras áreas, siendo estas las afectadas que debilitan la capacidad de desarrollo del cuerpo calloso por una pobre estimulación. Carecemos de estudios de tipo lineal que analicen el cuerpo calloso disléxicos de tipo fonológico y léxico, suponiendo una anomalía mayor en los fonológicos, en comparación con el normolector obteniendo una muestra representativa. Si las diferencias son significativas desde los primeros años del desarrollo sería una técnica que podría tenerse en cuenta para detección de población en riesgo.

#### 5.2.4 LAS EXPERIENCIAS DEFICIENTES PRECEDEN A LAS ANOMALIAS NEUROANATÓMICAS O LAS ANOMALÍAS NEUROANATÓMICAS DAN LUGAR FUNCIONES ANORMALES.

Si conocemos cual es la causa de una alteración el tratamiento será más efectivo que si nos limitamos a tratar los signos. La dislexia tiene un claro correlato neuroanatómico, pero desconocemos si ese correlato anatómico es causa o consecuencia, si llegamos a comprender el origen de los signos estaremos más cerca de una solución eficiente.

Uno de los estudios más interesantes sobre la dislexia es el de Clark y sus colaboradores (2014) se trata de un estudio longitudinal realizado en niños noruegos, a los cuales se les analizó mediante resonancia magnética estructural de manera longitudinal antes de instruirse en la lectoescritura entorno a los seis años hasta que apareció el diagnóstico de dislexia. Se realizó un estudio para buscar población en riesgo de padecer trastornos de la lectoescritura y finalmente se estudió a 27 sujetos, de los cuales 11 desarrollaron dislexia. El objetivo que se plantearon era determinar las anomalías de tipo primario que preceden a la dislexia, las cuales son responsables del procesamiento auditivo, visual y funciones ejecutivas, las cuales no están en la red de lectura. Los resultados que se obtuvieron es que las anomalías en la red de lectura se observaron cuando los sujetos tenían once años, siendo estas anomalías consecuencias de las experiencias deficientes en la lectura. Los precursores neuroanatómicos están en las cortezas sensoriales primarias, siendo la corteza auditiva primaria más delgada, lo que provocaría una reducida capacidad neuroanatómica para procesar los estímulos auditivos, hecho previo al aprendizaje de la lectura, como se observa en la figura 25 y en la figura 26 que puede verse en el Anexo I. Sin embargo, una reducida capacidad anatómica no tiene por qué ser funcional. La circunvolución lingual relacionada con el procesamiento de información visual de bajo nivel mostraba también diferencias de espesor. El estudio longitudinal nos aporta información sobre la capacidad plástica, la cual se ve reducida en los disléxicos ya que el grosor cortical de los disléxicos es constante mientras que en los normoletores varía con el tiempo. Asumiendo que las áreas primarias, sensoriales, con las que muestran alteraciones previas a la instrucción en la lectura y que son esas alteraciones las que dan lugar a anomalías en otras estructuras, es fácil pensar que la intervención es dependiente del tiempo y una intervención temprana previa a la instrucción debe centrarse en el análisis sensorial. A pesar de ser un estudio limitado en muestra y que evita valorar la

varianza ambiente, justifica gran parte de las teorías y los modelos expuestos para la dislexia además de dar una respuesta lógica y coherente de las alteraciones neuroanatómicas. Los estudios longitudinales son muy valiosos para desentrañar la causa y el efecto en los trastornos del neurodesarrollo.



**Figura 25.** Los primeros signos de dislexia. Prelectura de las diferencias en el grosor cortical entre los niños que más tarde desarrollaron dislexia y los que no (Clark et al., 2014).

Goldman y Manis (2013) analizaron el grosor cortical del hemisferio izquierdo en adultos normales y patológicos, intentando relacionar la exposición a la lectura con la estructura cortical. Concluyeron que parte del grosor cortical es dependiente de la experiencia lectura e independiente de la habilidad que se tiene para la lectura. Este estudio es llamativo porque si tomamos sus conclusiones como ciertas en muchos de los estudios la variable exposición a la lectura no se tiene en cuenta. Es una realidad que gran parte de los disléxicos no se exponen a la lectura de manera habitual por ser una tarea en la que no obtienen éxito. Esta variable haría cuestionarse numerosos de los estudios hechos, especialmente en adultos ya que son estos los que más han podido sufrir la exposición o no a la lectura. Por su parte Krafnick (2014) comparo en su estudio los volúmenes de materia gris de niños disléxicos con controles y a su vez con niños más pequeños que los disléxicos, pero con el mismo nivel de lectura. Los resultados del análisis indicaron que de las diferencias que se encontraron de los disléxicos a los controles, solo las diferencias en el giro precentral se mantenían en los que tenían las mismas habilidades de lectura que los disléxicos siendo cronológicamente más jóvenes, como se observa en la figura 27 que puede verse en el Anexo I. Este estudio justifica la idea de que las experiencias previas son las que modifican las estructuras, si estas son deficientes o desordenadas, las estructuras no tendrán un desarrollo normotípico.

## VI. CONCLUSIONES

Actualmente desconocemos con exactitud los procesos que se suceden durante la lectura y la escritura, así como la localización neurológica de estos, si bien es cierto que las nuevas técnicas de investigación posibilitaran que se amplié el conocimiento en este tema en las próximas décadas. Desconocemos el proceso normal, pero más aún desconocemos dónde tienen anomalías neuroanatómicas exactas y cuáles son los procesos alterados los sujetos patológicos de tipo evolutivo. La lectura y la escritura están compuestas de numerosos subprocesos que se realizan de manera interactiva y en cadena a gran velocidad, pero a la vez tenemos que entender el cerebro como un todo, lo cual es complejo. La tendencia predominante en los últimos años es entender la dislexia evolutiva como un trastorno multifactorial, por el cual uno o varios módulos de procesamiento pueden estar afectados o la comunicación entre ellos. Esta idea daría lugar a distintos subtipos de dislexia en función del módulo afectado, algunos tendrían un origen fonológico, metafonológico, léxico, de tipo perceptivo visual, de memoria a corto plazo, de memoria verbal, de memoria a largo plazo, de codificación, de decodificación o de recuperación.

En este momento el diagnóstico clínico de dislexia evolutiva requiere que la persona tenga un retraso significativo, siendo este de al menos dos años respecto a la normalidad en comparación con los sujetos de su edad. En nuestro sistema educativo los niños comienzan a instruirse en la lectoescritura entorno a los 5 o 6 años, si bien la dislexia supone un retraso de al menos dos, el diagnóstico se establecería entorno a los 7 o 8 años. Dar una intervención más temprana a los disléxicos posibilitaría que estos no acusaran tanto su déficit, evitando así la baja autoestima y el fracaso escolar. Sería de vital importancia crear programas de detección e intervención previos, puesto que la rehabilitación es más eficaz cuanto antes se lleve a cabo.

Una posible atención temprana de tipo primario podría centrarse en una evaluación de la población en general. Cuetos y sus colaboradores (2015) abordaron esta idea, elaboraron una prueba diagnóstica para niños de 4 años y tenía como fin detectar déficit de procesamiento fonológico, la prueba tenía seis subtareas: discriminación de fonemas, segmentación de sílabas, identificación de fonemas, repetición de pseudopalabras, memoria verbal a corto plazo y fluidez verbal. Una atención temprana de tipo secundario daría respuesta a población en riesgo. Como hemos visto anteriormente la dislexia evolutiva tiene un fuerte componente genético por lo que tener un registro de las personas disléxicas y las personas con trastornos de comunicación ayudaría a la atención de los descendientes. Otro factor de riesgo es el alto nivel de testosterona por parte de la madre o una hipersensibilidad por parte del embrión durante el embarazo, que daría lugar a un déficit en la migración neuronal. Y por último una atención temprana de tipo terciario, estaría dando respuesta a la población que muestra ya un déficit sin que este tenga que detectarse con dos años de retraso. Si hay una discrepancia evidente entre el cociente intelectual y la lectoescritura ya no es detección temprana.

Hacer un uso de las técnicas neurocientíficas para realizar diagnósticos sería un paso muy grande en este proceso, tenemos que ampliar los conocimientos y reducir los costes antes de que sea una realidad. Una idea en este sentido sería hacer uso de medidas electrofisiológicas, los potenciales de disparidad en relación con un evento auditivo para analizar la naturaleza de los déficits de percepción fonológica y categórica del habla. Dichos

déficits aparecerían en forma de respuestas reducidas en disléxicos y la detección automática de cambios fonológicamente relevantes estaría afectada. Otra técnica más cara y difícil de aplicar, pero posible, sería analizar la densidad de la materia gris mediante resonancia magnética en determinadas áreas que correlacionan con el rendimiento en la lectoescritura, a más densidad más rendimiento, detectando un déficit anormal de la densidad se podrían diagnosticar personas con dislexia. Una girificación anormal es otro aspecto que se puede valorar en etapas más tempranas ya que varía menos con el desarrollo.

Respecto al tratamiento sería importante cambiar el paradigma actual, ya que los profesionales dedican sus esfuerzos a reducir los signos de la dislexia cuando tiene más sentido afrontar la causa de los déficits. Para conocer la causa hay que priorizar una evaluación en los procesos lingüísticos y no lingüísticos. Un diagnóstico certero, concreto y meticuloso redundaría en una mejor intervención, siendo esta más eficaz y eficiente. Un entrenamiento específico y concreto sobre los módulos afectados. El tratamiento siempre debe ser individualizado a la persona, sus características personales y las del entorno en el que se encuentra. En este sentido la neurociencia debe dirigir los avances y extenderse a otras ramas de conocimiento como son la logopedia, la educación o la psicología.

Un entrenamiento eficaz valoraría cómo la instrucción, en la realización de tareas concretas y la exposición a estímulos delimitados, modifica estructuras neuroanatómicas y procesos. La plasticidad cerebral es más constatable en épocas tempranas del desarrollo donde aparecen los periodos críticos, de ahí la importancia de la detección y el tratamiento tempranos. Y en este sentido habría que remitirse al estudio de Goldman y Manis (2013) en el cual se nos dice que las estructuras propias de los procesos de la lectoescritura se ven afectadas por la exposición a los textos. Es una realidad que gran parte de los disléxicos no se exponen a la lectura de manera habitual por ser una tarea en la que no obtienen éxito. El componente emocional y de autoconcepto es un aspecto poco valorado y que debería tenerse más en cuenta además de fomentar el gusto de la lectura. Es fácil pensar que, si creamos situaciones de éxito y emocionalmente satisfactorias estas se den con más frecuencia y de manera autónoma. Aumentando la frecuencia, aumentamos el entrenamiento siendo este fundamental para adquirir una habilidad. En este sentido debemos de conseguir que los sujetos se emocionen en las terapias ya que así estas se quedarán fijadas con mayor facilidad. La emoción que nos producen una situación se puede registrar con el uso de sensores electrodérmico que miden el nivel de activación, este sistema nos ayuda a valorar el nivel de activación cerebral, de atención y de activación emocional. Tenemos que conseguir que este nivel no decaiga durante las sesiones de intervención y esto se consigue haciendo participe a la persona, que esta esté atenta, motivada y su memoria receptiva, con situaciones de aprendizaje significativamente relevantes, emocionales y que no fatiguen en exceso a la persona. El neurofeedback es una técnica que se usa en muchos campos y podría ser aplicable a la dislexia ayudando a establecer modelos correctos de procesamiento de la información visual o auditiva además de mejorar otras funciones ejecutivas como la atención.

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta aquí, podemos concluir que aún queda mucho camino por recorrer respecto a la evaluación y tratamiento basado en neurociencias, pero el futuro es esperanzador ya que muchos de los estudios que estas apareciendo se fundamentan en estas técnicas de carácter objetivo. Como se ha dicho anteriormente una

evaluación y diagnóstico temprano es primordial, así como un tratamiento eficaz, pero todo ello precisa de un conocimiento concreto de los procesos y la patología.

De los datos obtenidos de la presente revisión bibliográfica se puede concluir lo siguiente:

- La lectura y la escritura están compuestas de numerosos subprocesos que se realizan de manera interactiva y en cadena a gran velocidad, pero a la vez tenemos que entender el cerebro como un todo, lo cual es complejo.
- Los estudios realizados aun no delimitan con exactitud el correlato neurológico de los procesos de lectura y escritura. Sería interesante ampliar los conocimientos en este campo, así como elaborar pruebas concretas para cada uno de dichos procesos.
- Actualmente se habla de dislexia evolutiva de tipo léxico, subléxico o mixto, clasificación determinada por los signos. Si logramos llegar a entender todos los procesos que componen la lectura y la escritura esa clasificación se quedaría obsoleta. La dislexia sería clasificada como de origen fonológico, metafonológico, léxico, de tipo perceptivo visual, de memoria a corto plazo, de memoria verbal, de memoria a largo plazo, de codificación, de decodificación y/o de recuperación. Este nuevo planteamiento nos llevaría a una evaluación de procesos lingüísticos y procesos no lingüísticos, que culminaría en un diagnóstico centrado en la causa y no en los signos
- Hay constancia de que la dislexia evolutiva tiene un correlato neurológico y este es el que establece las dificultades de la persona, pero aún tenemos que determinar con mayor exactitud las anomalías. Conocemos que estas anomalías se localizarían principalmente en el lóbulo temporal, parietal y occipital. El origen dichas alteraciones neuroanatómicas está en la genética, los procesos embrionarios y en la exposición a la lectura y la escritura.
- Las técnicas electrofisiológicas o de neuroimagen que valoran el grosor, la densidad y la girificación cortical son técnicas con un carácter objetivo, desarrollar un diagnóstico en base a ellas daría lugar a pruebas muy fiables y válidas.
- La atención temprana de las personas con dislexia evolutiva es importante para aprovechar la plasticidad cerebral y reducir las anomalías. Dar una intervención más temprana a los disléxicos posibilitaría que estos no acusaran tanto su déficit, evitando así la baja autoestima y el fracaso escolar. Sería de vital importancia crear programas de detección e intervención previos, puesto que la rehabilitación es más eficaz cuanto antes se lleve a cabo.
- Otras técnicas como el neurofeedback o sensores electrodérmicos pueden ser usados en la rehabilitación para conseguir terapias más efectivas, pero siempre con un carácter individualizado y significativo para la persona.

## VII. BIBLIOGRAFÍA.

- Adi-Japha, E., y Freeman, N. H. (2001). Development of differentiation between writing and drawing systems. *Developmental Psychology*, 37(1), 101.
- Altarelli, I., Monzalvo, K., Iannuzzi, S., Fluss, J., Billard, C., Ramus, F., y Dehaene-Lambertz, G. (2013). A functionally guided approach to the morphometry of occipitotemporal regions in developmental dyslexia: evidence for differential effects in boys and girls. *Journal of Neuroscience*, 33(27), 11296–11301.
- Arter, J. A., y Jenkins, J. R. (1979). Differential diagnosis—prescriptive teaching: A critical appraisal. *Review of educational research*, 49(4), 517–555.
- Backes, W., Vuurman, E., Wennekes, R., Spronk, P., Wuisman, M., van Engelshoven, J., y Jolles, J. (2002). Atypical brain activation of reading processes in children with developmental dyslexia. *Journal of Child Neurology*, 17(12), 867–871.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., ... Rosen, B. R. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(2), 449–454.
- Beneventi, H., Tønnessen, F. E., y Erslund, L. (2009). Dyslexic children show short-term memory deficits in phonological storage and serial rehearsal: an fMRI study. *International Journal of Neuroscience*, 119(11), 2017–2043.
- Black, J. M., Tanaka, H., Stanley, L., Nagamine, M., Zakerani, N., Thurston, A., ... Glover, G. H. (2012). Maternal history of reading difficulty is associated with reduced language-related gray matter in beginning readers. *Neuroimage*, 59(3), 3021–3032.
- Blumstein, S. E. (1998). Phonological aspects of aphasia. *Acquired aphasia*, 157–185.
- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., y Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230.
- Burdach, K. (1922). Die Lehre des Platonischen Timaios (40B) Von der kosmischen Stellung der Erde. *Neue Jahrbücher f. Kl. Altert.*, (49), 254–278.
- Burraco, A. B. (2006). Caracterización neuroanatómica y neurofisiológica del lenguaje humano. *Revista española de lingüística*, 35(2), 461–494.
- Casanova, M., El-Baz, A., Elnakib, A., Giedd, J., Rumsey, J., Williams, E., y Switala, A. (2010). Corpus callosum shape analysis with application to dyslexia. *Translational neuroscience*, 1(2), 124–130.
- Castro-Caldas, A., Miranda, P. C., Carmo, I., Reis, A., Leote, F., Ribeiro, C., y Ducla-Soares, E. (1999). Influence of learning to read and write on the morphology of the corpus callosum. *European Journal of Neurology*, 6(1), 23–28.
- Clark, K. A., Helland, T., Specht, K., Narr, K. L., Manis, F. R., Toga, A. W., y Hugdahl, K. (2014). Neuroanatomical precursors of dyslexia identified from pre-reading through to age 11. *Brain*, 137(12), 3136–3141.

- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., y Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125(5), 1054–1069.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. *Strategies of information processing*, 151–216.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., y Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological review*, 100(4), 589.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., y Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological review*, 108(1), 204.
- Cuetos, F., Ramos, J. L., y Ruano, E. (2002). *PROESC. Evaluación de los procesos de escritura*. Madrid: TEA.
- Cuetos, F., Rodríguez, B., Ruano, E., y Arribas, D. (2007). *Prolec-R, Batería de evaluación de los procesos lectores, Revisada*. Madrid: TEA
- Cuetos, F., Suárez-Coalla, P., Molina, M. I., y Llenderozas, M. C. (2015). Test para la detección temprana de las dificultades en el aprendizaje de la lectura y escritura. *Pediatría Atención Primaria*, 17(66), e99-e107.
- Damasio, A. R., y Damasio, H. (1983). The anatomic basis of pure alexia. *Neurology*, 33(12), 1573–1573.
- de Villers-Sidani, E., Chang, E. F., Bao, S., y Merzenich, M. M. (2007). Critical period window for spectral tuning defined in the primary auditory cortex (A1) in the rat. *Journal of Neuroscience*, 27(1), 180–189.
- Devlin, J. T., Jamison, H. L., Gonnerman, L. M., y Matthews, P. M. (2006). The role of the posterior fusiform gyrus in reading. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(6), 911–922.
- Drake, W. E. (1968). Clinical and Pathological Findings in a Child with a Developmental Learning Disability. *Journal of Learning Disabilities*, 1(9), 486-502. <https://doi.org/10.1177/002221946800100901>
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Wilke, M., Eckert, M., Richards, T., Richards, A., y Berninger, V. (2005). Anatomical signatures of dyslexia in children: unique information from manual and voxel based morphometry brain measures. *Cortex*, 41(3), 304–315.
- Ellis, A. W., Young, A. W., Pe, J., y Martínez, J. A. (1992). *Neuropsicología cognitiva humana*. Masson.
- Exner, S. (1881). *Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen*. Braumüller.
- Fernandez, V. G., Stuebing, K., Juranek, J., y Fletcher, J. M. (2013). Volumetric analysis of regional variability in the cerebellum of children with dyslexia. *The Cerebellum*, 12(6), 906–915.
- Fine, J. G., Semrud-Clikeman, M., Keith, T. Z., Stapleton, L., y Hynd, G. (2007). The corpus callosum and reading: An MRI family study of volume and area. *Neuropsychology*, 21(2).

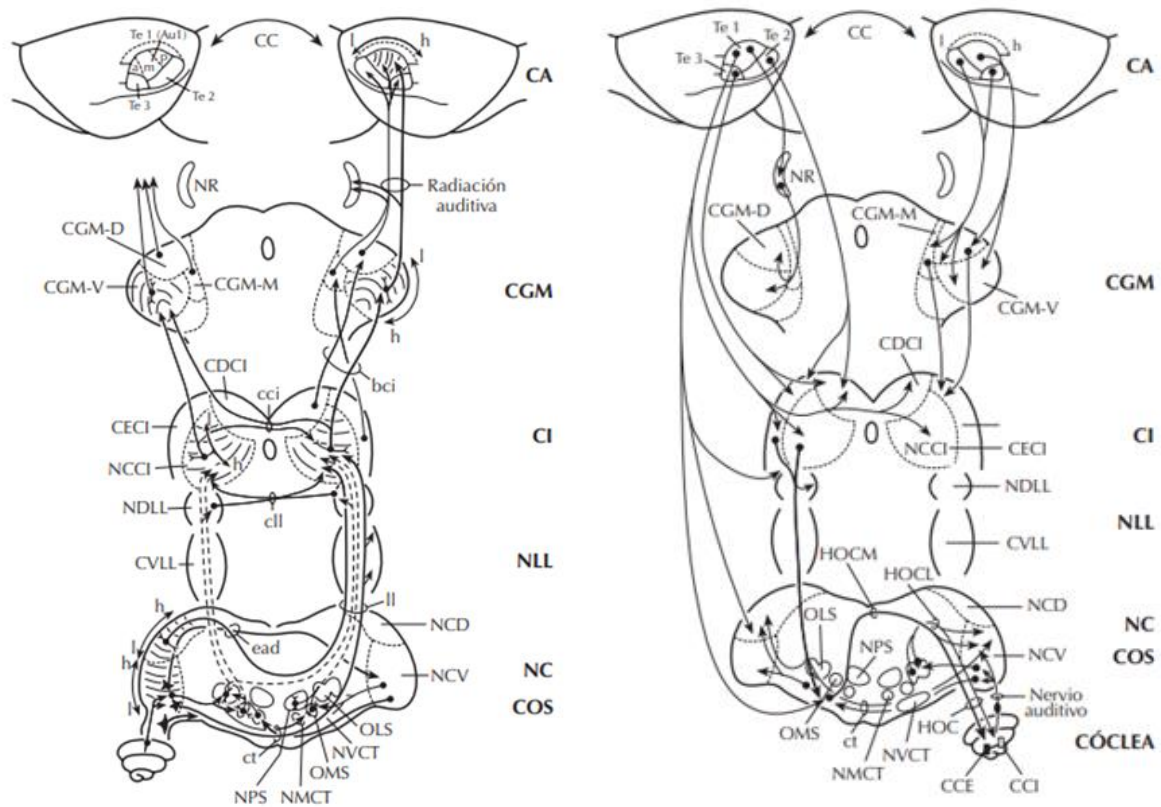
- Frith, U. (1997). Brain, mind and behaviour in dyslexia. En *Dyslexia: Biology, cognition and intervention* (British Dyslexia Association., pp. 1-19). London: WHURR PUBL LTD.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia*, 5(4), 192–214.
- Frostig, M., Horne, D., y Maslow, P. (1973). Frostig program for the development of visual perception. *Follett Publishing Company with Curriculum Materials Laboratories*
- Galaburda, A. M. y Geschwind, N. (1985). Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology: I. A hypothesis and a program for research. *Archives of neurology*, 42(5), 428–459.
- Goldman, J. G., y Manis, F. R. (2013). Relationships among cortical thickness, reading skill, and print exposure in adults. *Scientific Studies of Reading*, 17(3), 163–176.
- Hoeft, F., Hernandez, A., McMillon, G., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., Meyler, A., ... Just, M. A. (2006). Neural basis of dyslexia: a comparison between dyslexic and nondyslexic children equated for reading ability. *Journal of Neuroscience*, 26(42), 10700–10708.
- Hofmann, M. J., Dambacher, M., Jacobs, A. M., Kliegl, R., Radach, R., Kuchinke, L., ... Herrmann, M. J. (2014). Occipital and orbitofrontal hemodynamics during naturally paced reading: An fNIRS study. *Neuroimage*, 94, 193–202.
- Howard, D., y Franklin, S. (1988). *Missing the meaning?: A cognitive neuropsychological study of the processing of words by an aphasic patient*. MIT Press Cambridge, MA.
- Humphreys, P., Kaufmann, W. E., y Galaburda, A. M. (1990). Developmental dyslexia in women: Neuropathological findings in three patients. *Annals of Neurology*, 28(6), 727-738. <https://doi.org/10.1002/ana.410280602>
- Im, K., Raschle, N. M., Smith, S. A., Ellen Grant, P., y Gaab, N. (2015). Atypical sulcal pattern in children with developmental dyslexia and at-risk kindergarteners. *Cerebral cortex*, 26(3), 1138–1148.
- Joseph, J. E., Gathers, A. D., y Piper, G. A. (2003). Shared and dissociated cortical regions for object and letter processing. *Cognitive Brain Research*, 17(1), 56–67.
- Kandel, E. (2001). *Principios de Neurociencia. Cuarta edición 2001, España*. P.
- Knief, A., Schulte, M., Bertrand, O., y Pantev, C. (2000). The perception of coherent and non-coherent auditory objects: a signature in gamma frequency band. *Hearing research*, 145(1-2), 161–168.
- Krafnick, A. J., Flowers, D. L., Luetje, M. M., Napoliello, E. M., y Eden, G. F. (2014). An investigation into the origin of anatomical differences in dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 34(3), 901–908.
- Kronbichler, M., Wimmer, H., Staffen, W., Hutzler, F., Mair, A., y Ladurner, G. (2008). Developmental dyslexia: gray matter abnormalities in the occipitotemporal cortex. *Human brain mapping*, 29(5), 613–625.
- Laycock, R., Crewther, S. G., Kiely, P. M., y Crewther, D. P. (2006). Parietal function in good and poor readers. *Behavioral and Brain Functions*, 2(1), 26.

- Leff, A. P., Crewes, H., Plant, G. T., Scott, S. K., Kennard, C., y Wise, R. J. S. (2001). The functional anatomy of single-word reading in patients with hemianopic and pure alexia. *Brain*, 124(3), 510–521.
- Lieberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W., y Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of experimental child psychology*, 18(2), 201–212.
- Longcamp, M., Lagarrigue, A., Nazarian, B., Roth, M., Anton, J.-L., Alario, F.-X., y Velay, J.-L. (2014). Functional specificity in the motor system: evidence from coupled fMRI and kinematic recordings during letter and digit writing. *Human brain mapping*, 35(12), 6077–6087.
- Longcamp, M., Velay, J., Berninger, V. W., y Richards, T. (2016). Neuroanatomy of handwriting and related reading and writing skills in adults and children with and without learning disabilities: French-American connections. *Pratiques. Linguistique, littérature, didactique*, (171-172).
- Lopez, C. A. (2014). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales: DSM-5 (5º)*. Madrid: Editorial medica panamericana.
- Luders, E., Kurth, F., Pigdon, L., Conti-Ramsden, G., Reilly, S., y Morgan, A. T. (2017). Atypical Callosal Morphology in Children with Speech Sound Disorder. *Neuroscience*, 367, 211–218.
- Martin, R. C. (2003). Language processing: functional organization and neuroanatomical basis. *Annual review of psychology*, 54(1), 55–89.
- Mercado, S. J., Suarez, A., Trueba, C. R., De Capella, E. K., Y Zendejas, L. E. (1998). La lectura de los estudiantes de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, medida con un instrumento integrado de velocidad, comprensión y habilidad gramatical. *Revista de la Educación Superior*, 20.
- Organización Mundial de la Salud. (1992). *CIE 10: Trastornos mentales y del comportamiento: descripciones clínicas y pautas para el diagnóstico*. (Meditor). Madrid.
- Orton, S. T. (1925). Word-blindness in school children. *Archives of Neurology y Psychiatry*, 14(5), 581–615.
- Orton, S. T. (1930). Familial occurrence of disorders in acquisition of language. *Eugenics*, 140-147.
- Orton, S. T. (1937). Reading, writing and speech problems in children.
- Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19(1), 57–64.
- Peyrin, C., Lallier, M., Demonet, J.-F., Pernet, C., Baciú, M., Le Bas, J. F., y Valdois, S. (2012). Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia: fMRI evidence from two case reports. *Brain and language*, 120(3), 381–394.
- Planton, S., Jucla, M., Roux, F.-E., y Démonet, J.-F. (2013). The “handwriting brain”: a meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex*, 49(10), 2772–2787.

- Price, C. J., y Mechelli, A. (2005). Reading and reading disturbance. *Current opinion in neurobiology*, 15(2), 231–238.
- Ptak, R., Di Pietro, M., y Pignat, J.-M. (2016). The role of parieto-temporal connectivity in pure neglect dyslexia. *Brain research*, 1648, 144–151.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and brain sciences*, 22(2), 253–279.
- Pulvermüller, F. (2002). A brain perspective on language mechanisms: from discrete neuronal ensembles to serial order. *Progress in neurobiology*, 67(2), 85–111.
- Purcell, J., Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., y Rapp, B. (2011). Examining the central and peripheral processes of written word production through meta-analysis. *Frontiers in psychology*, 2, 239.
- Ramos, J. L., y Cuetos, F. (1999). *Evaluación de los Procesos Lectores-PROLEC SE*. Madrid: TEA Ediciones.
- Rao, R. P., y Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature neuroscience*, 2(1), 79.
- Raschle, N. M., Chang, M., y Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 57(3), 742–749.
- Richards, T. L., Berninger, V. W., Stock, P., Altemeier, L., Trivedi, P., y Maravilla, K. R. (2011). Differences between good and poor child writers on fMRI contrasts for writing newly taught and highly practiced letter forms. *Reading and Writing*, 24(5), 493-516. <https://doi.org/10.1007/s11145-009-9217-3>
- Robichon, F., Bouchard, P., Démonet, J.-F., y Habib, M. (2000a). Developmental dyslexia: re-evaluation of the corpus callosum in male adults. *European Neurology*, 43(4), 233–237.
- Robichon, F., Bouchard, P., Démonet, J.-F., y Habib, M. (2000b). Developmental dyslexia: re-evaluation of the corpus callosum in male adults. *European Neurology*, 43(4), 233–237.
- Robinson, J. S., Collins, R. L., y Mukhi, S. V. (2016). Alexia without agraphia in a right-handed individual following right occipital stroke. *Applied Neuropsychology: Adult*, 23(1), 65–69.
- Rosenblatt, L.M. (1978) The reader, the text, the poem: The transactional theory of the literary work. *Carbondale*: Southern Illinois University Press.
- Roskies, A. L., Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E., y Petersen, S. E. (2001). Task-dependent modulation of regions in the left inferior frontal cortex during semantic processing. *Journal of cognitive neuroscience*, 13(6), 829–843.
- Rumsey, J. M., Casanova, M., Mannheim, G. B., Patronas, N., DeV Vaughn, N., Hamburger, S. D., y Aquino, T. (1996). Corpus callosum morphology, as measured with MRI, in dyslexic men. *Biological psychiatry*, 39(9), 769–775.
- Sánchez, M. y Merchán, M. A. (2015). *Estructura y función del cerebro auditivo*. En Nieto, C. S. (2015). *Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*. Ed. Médica Panamericana.

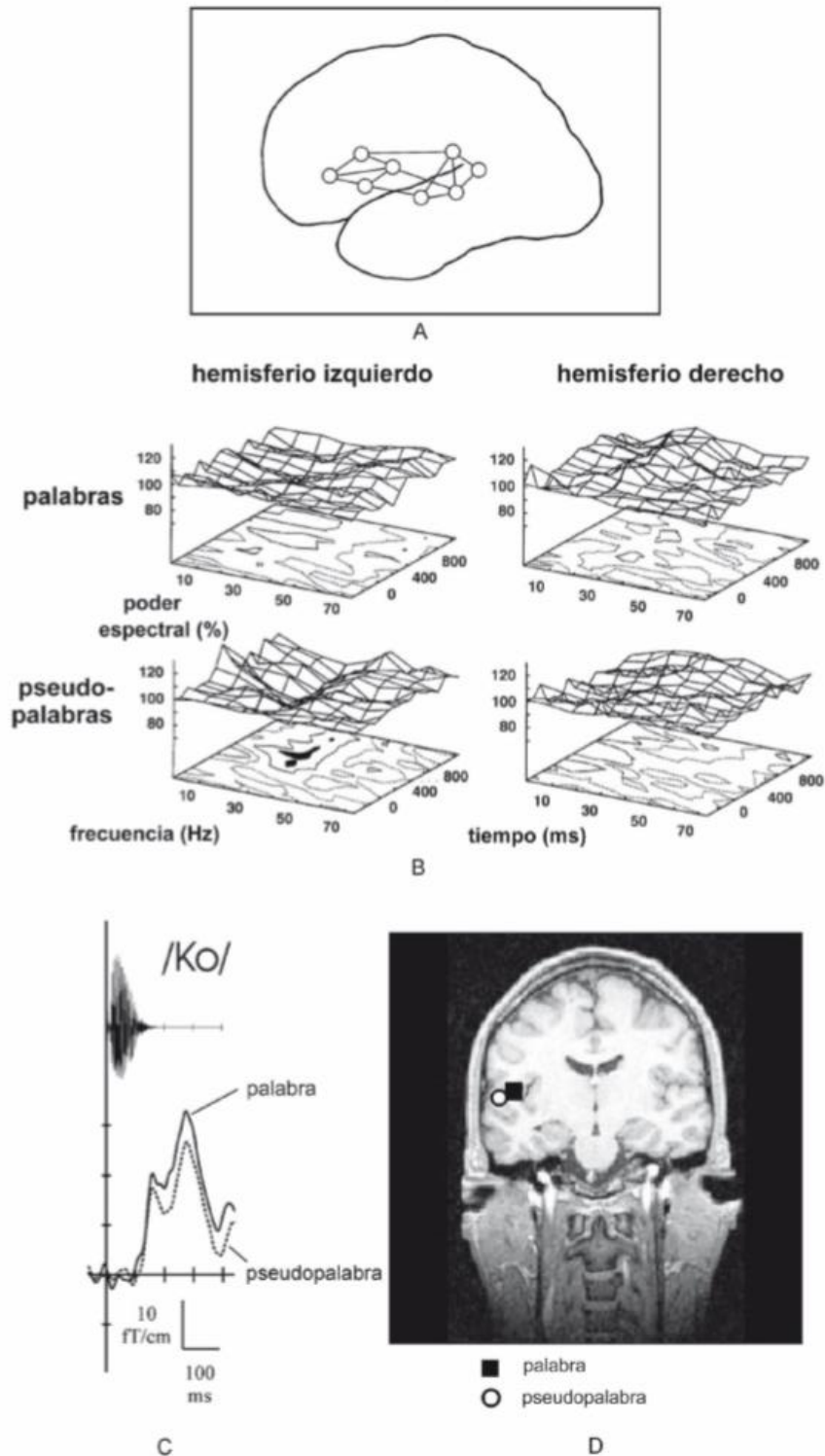
- Seghier, M. L., Neufeld, N. H., Zeidman, P., Leff, A. P., Mechelli, A., Nagendran, A., ... Price, C. J. (2012). Reading without the left ventral occipito-temporal cortex. *Neuropsychologia*, 50(14), 3621–3635.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., ... Lyon, G. R. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological psychiatry*, 52(2), 101–110.
- Shelton, J. R., y Caramazza, A. (2001). The organization of semantic memory. *The handbook of cognitive neuropsychology: What deficits reveal about the human mind*, 423–443.
- Sperry, R. W. (1974). Lateral specialization in the surgically separated hemispheres. *The neurosciences third study program*, 5–19.
- Stein, J. F., y Fowler, S. (1982). Diagnosis of dyslexia by means of a new indicator of eye dominance. *British Journal of Ophthalmology*, 66(5), 332–336.
- Sun, Y.-F., Lee, J.-S., y Kirby, R. (2010). Brain imaging findings in dyslexia. *Pediatrics y Neonatology*, 51(2), 89–96.
- Tomatis, A. (1969). *Dyslexia*. Ottawa. University of Ontario Press.
- Toro, J., y Cervera, M. (1984). *TALE. Test de análisis de lectoescritura*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- Van der Haegen, L., Cai, Q., Stevens, M. A., y Brysbaert, M. (2013). Interhemispheric communication influences reading behavior. *Journal of cognitive neuroscience*, 25(9), 1442–1452.
- Vellutino, F. (1977). Alternative conceptualizations of dyslexia: Evidence in support of a verbal-deficit hypothesis. *Harvard Educational Review*, 47(3), 334–354.
- Vellutino, F. R., y Scanlon, D. M. (1982). Verbal processing in poor and normal readers. En *Verbal processes in children* (pp. 189–264). Springer.
- Vellutino, F. R., Steger, J. A., DeSetto, L., y Phillips, F. (1975). Immediate and delayed recognition of visual stimuli in poor and normal readers. *Journal of experimental child psychology*, 19(2), 223–232.
- von Plessen, K., Lundervold, A., Duta, N., Heiervang, E., Klauschen, F., Smievoll, A. I., ... Hugdahl, K. (2002). Less developed corpus callosum in dyslexic subjects—a structural MRI study. *Neuropsychologia*, 40(7), 1035–1044.
- Williams, V. J., Juranek, J., Cirino, P., y Fletcher, J. M. (2017). Cortical thickness and local gyrification in children with developmental dyslexia. *Cerebral Cortex*, 1–11.
- Yamagata, K. (2007). Differential emergence of representational systems: Drawings, letters, and numerals. *Cognitive Development*, 22(2), 244–257.
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., Meyer, E., y Gjedde, A. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256(5058), 846–849.

## VIII. ANEXO I: RESULTADOS BIBLIOGRÁFICOS: IMÁGENES RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS ANALIZADOS.

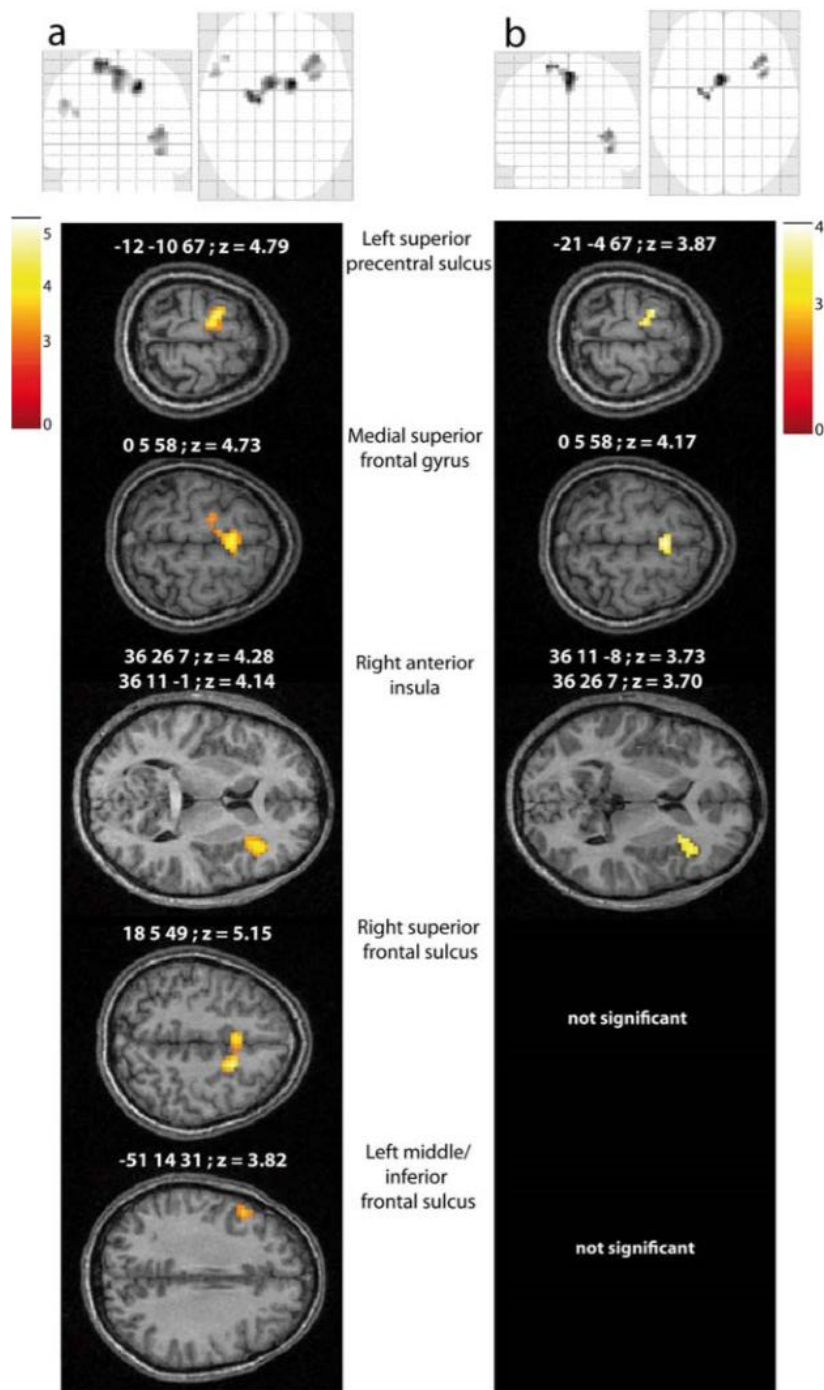


**Figura 5.** Esquema de los distintos eslabones de la vía auditiva y sus conexiones ascendentes y esquema de los distintos eslabones de la vía auditiva y sus conexiones descendentes. (Sánchez, M. y Merchán, M. A. 2015).

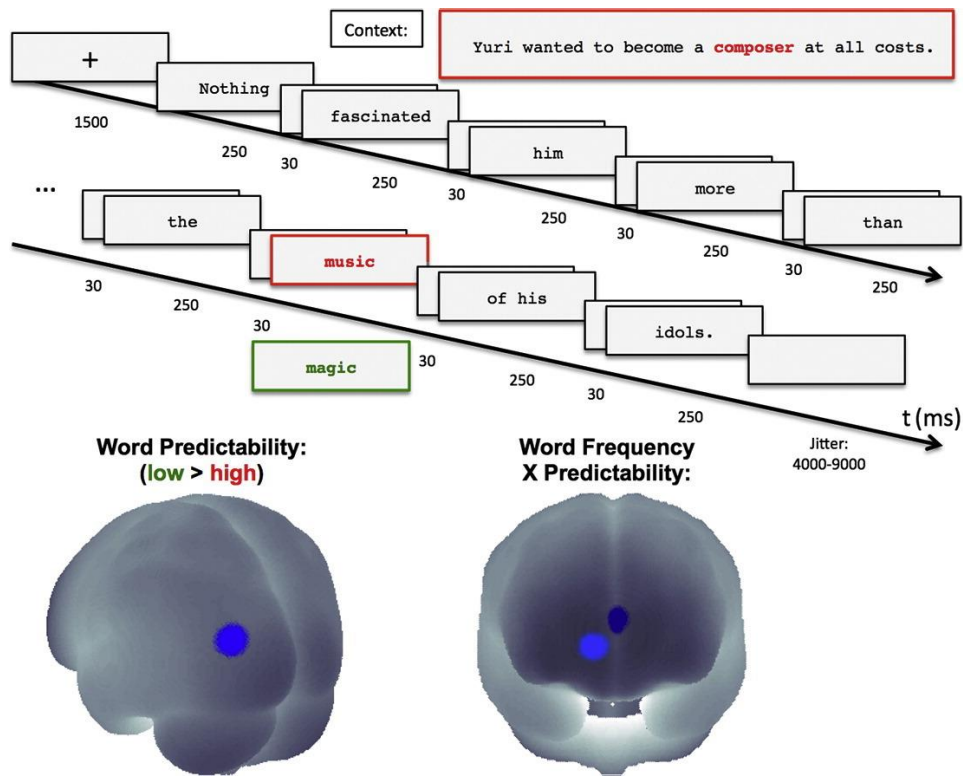
### Componente fonológico de la palabra



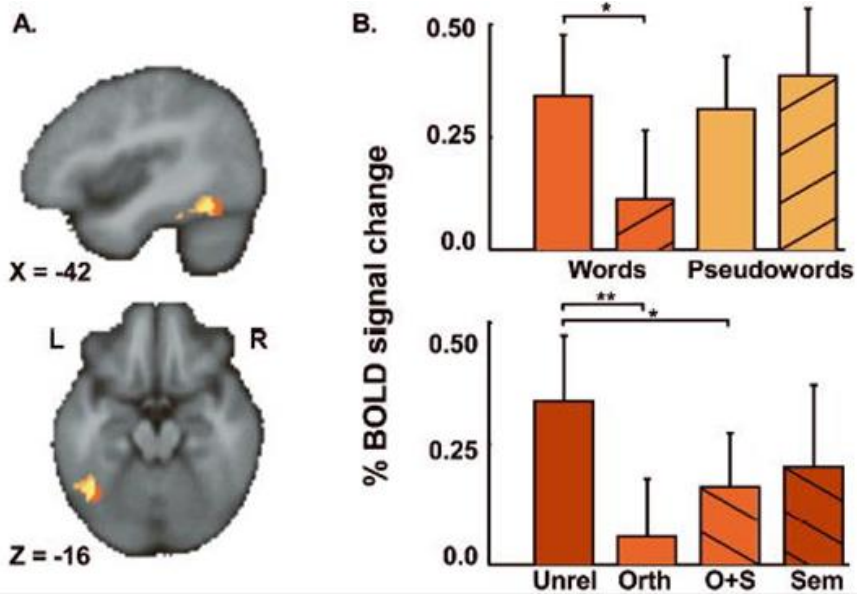
**Figura 6.** (A) Por las áreas corticales perisilvianas del hemisferio izquierdo se distribuye el procesamiento fonológico de las palabras. (B) El procesamiento de pseudopalabras muestran respuesta alrededor de los 30 Hz, las palabras por otro lado dan lugar a una respuesta más intensa en la banda y a frecuencias elevadas. (C) Las palabras muestran mayor en respuesta frente a las pseudopalabras. El acceso al léxico aparece a los 150 milisegundos. (D) Las palabras frente a las pseudopalabras en el lóbulo temporal del hemisferio izquierdo. (Adaptado de Pulvermüller 2002 por Burraco 2006).



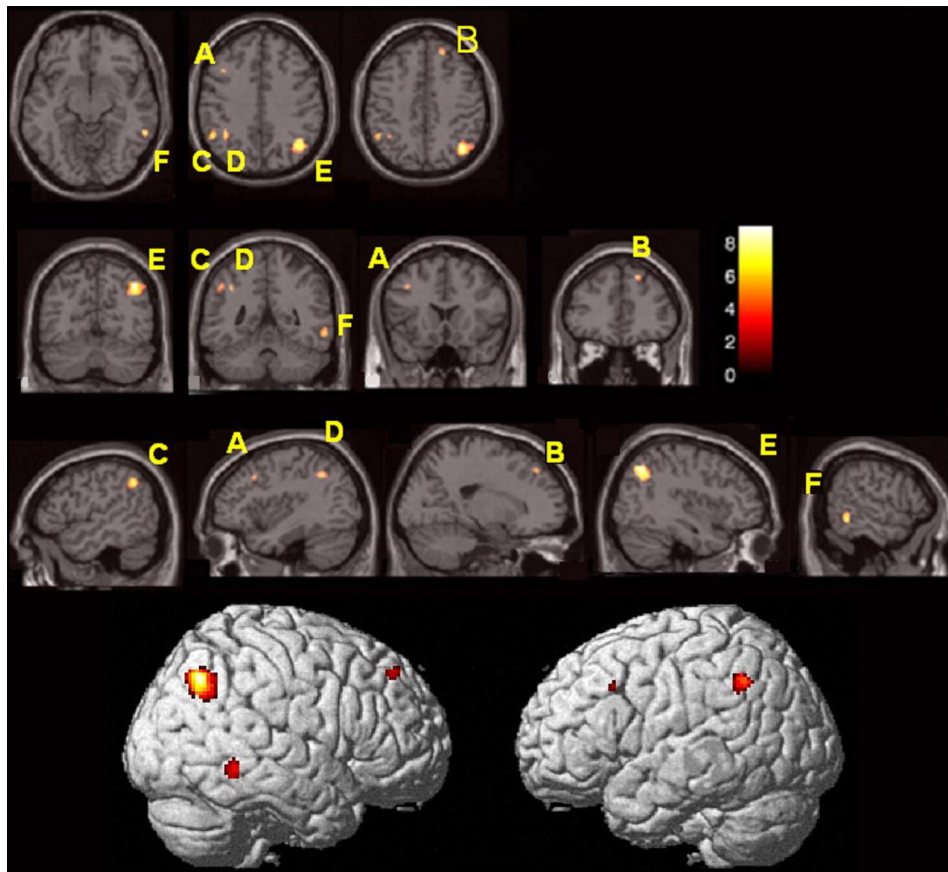
**Figura 9.** Resultados del contraste entre letras y dígitos, en cortes axiales de una IRM individualizada normalizada. (a) Modelo de la diferencia categórica solamente. (b) Conjunción {Letras vs. Dígitos controlados por duración, Letras vs. Dígitos controlados por velocidad, Letras vs. Dígitos controlados por intervalo. (Longcamp et al., 2014)



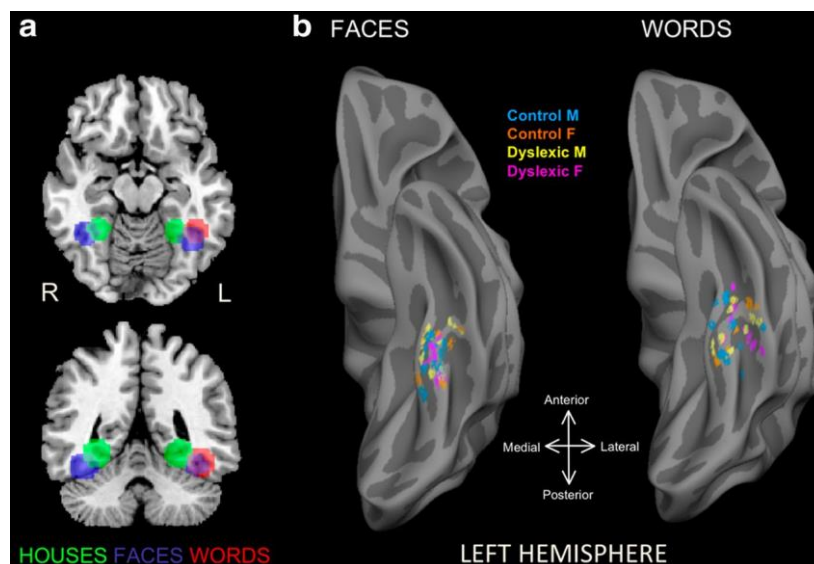
**Figura 10.** Los humanos leemos a velocidades increíblemente rápidas, predecir palabras gracias al contexto nos ayuda a ello. Haciendo uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano funcional para rastrear las respuestas hemodinámicas ultrarápidas de las palabras presentadas cada 280 ms y contextualizadas en oraciones a un ritmo natural. Encontramos una desoxigenación occipital inferior en palabras impredecibles que predecibles. (Hofmann, 2014).



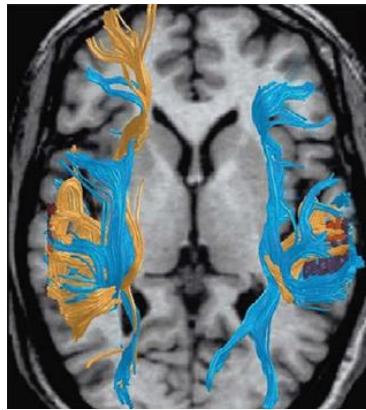
**Figura 12.** La activación máxima de las palabras formadas por cadenas de letras consonánticas se muestra en rojo y se localizó en el surco occipitotemporal izquierdo y se extendió tanto medialmente sobre la convexidad de la circunvolución fusiforme posterior y lateralmente sobre la circunvolución temporal inferior. El vóxel máximo para la comparación de pseudopalabras se localizó en la circunvolución temporal inferior izquierda y se muestra en naranja. Aunque la activación de las pseudopalabras fue más anterior y lateral a la activación de la palabra, los dos grupos se superpusieron ampliamente (se muestra en amarillo) (Devlin et al. 2006).



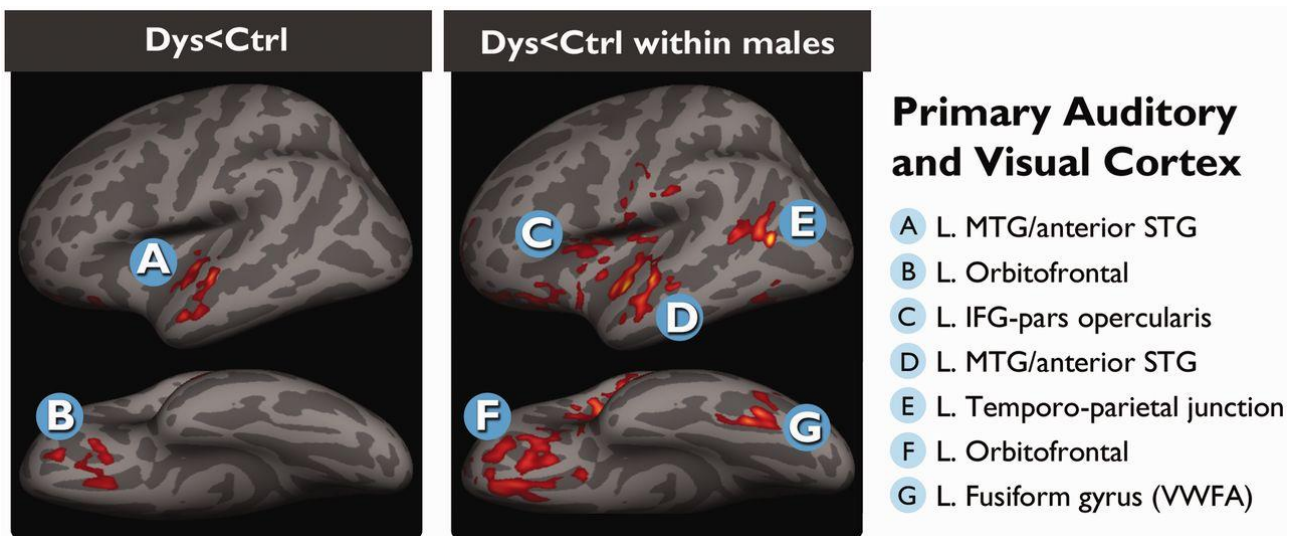
**Figura 15.** Comparación entre grupos disléxicos y de edad equiparada. El grupo disléxico muestra una menor activación comparado con el grupo control de la misma edad. Regiones cerebrales: A, circunvolución frontal media izquierda; B, circunvolución frontal superior derecha; C, lóbulo parietal inferior izquierdo; D, lóbulo parietal inferior izquierdo; E, lóbulo parietal inferior derecho; F, circunvolución temporal derecha posterior derecha. (Hoeft et al., 2006).



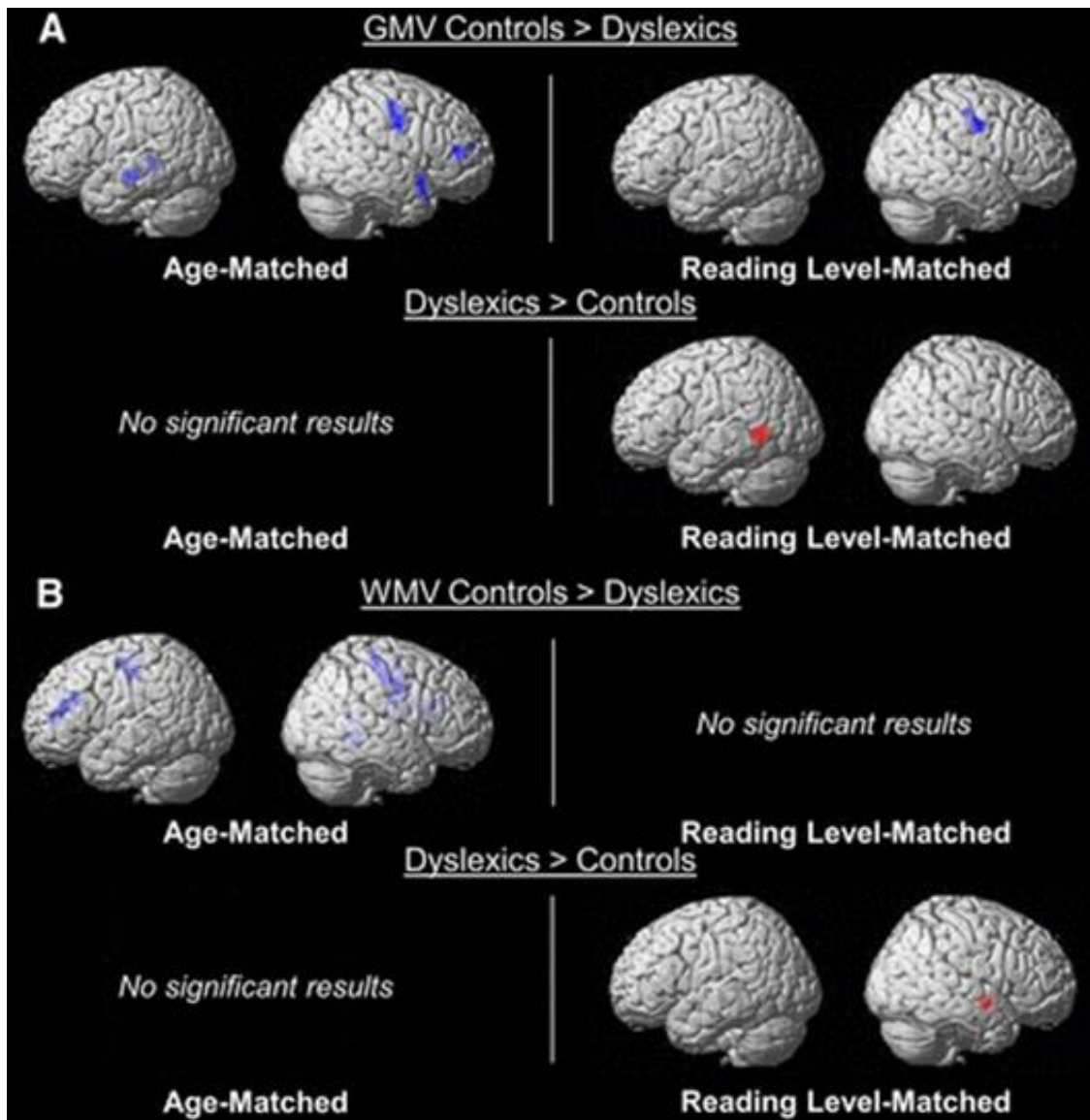
**Figura 20.** (a) Zonas donde se buscaron patrones de activación (b) activación para las caras y las palabras de los sujetos con dislexia y los normotípicos, tanto varones como mujeres. (Altareli et al., 2013).



**Figura 24.** Comparación de las conexiones de un adulto normolector (amarillo) y un adulto disléxico (azul). El normotípico carece de conexiones con el lóbulo temporal y frontal en el hemisferio derecho. (Ying-Fang Sun, et al. 2010).



**Figura 26.** Se observaron regiones de corteza más delgada en el hemisferio izquierdo en niños diagnosticados con dislexia (Dys) en comparación con los que no (Ctrl). Estos datos son transversales de MRI 3, cuando los niños estaban en sexto grado. El panel izquierdo muestra las diferencias del grupo completo, mientras que el panel derecho muestra las diferencias cuando solo se consideraron los varones. IFG = circunvolución frontal inferior; MTG = circunvolución temporal media; STG = circunvolución temporal superior; VWFA = área de forma visual de la palabra (Clark et al., 2014).



**Figura 27.** Diferencias en el volumen de materia cerebral total en los disléxicos cuando se compara con los controles por edad o por nivel de lectura. (A) diferencias en la materia gris (GMV). Representaciones de todo el cerebro para las comparaciones de GMV entre los disléxicos con grupos coincidentes con la edad y nivel de lectura. Los controles emparejados por edad mostraron un GMV mayor que los disléxicos en el giro temporal medio izquierdo, el giro cingulado anterior izquierdo, el giro precentral derecho, el giro frontal medio derecho y el giro temporal anterior superior derecho. No se encontraron resultados significativos para los disléxicos frente a los controles de la misma edad. Los controles de nivel de lectura similar mostraron un GMV mayor que los disléxicos en el giro precentral derecho. Los disléxicos mostraron un GMV mayor que los controles de nivel de lectura en el giro temporal medio izquierdo. (B) diferencias materia blanca (WMV). Las mismas representaciones de cerebro completo que en (A) pero esta vez para las comparaciones WMV de los disléxicos y los dos grupos de control. Los controles emparejados por edad mostraron mayor WMV que los disléxicos en el lóbulo paracentral izquierdo, circunvolución frontal frontal izquierda y frontal central izquierda, circunvolución frontal media derecha, circunvolución precentral derecha, WM anterior al tálamo y WM temporal subgyral derecha. No se encontraron resultados significativos para los disléxicos frente a los controles de la misma edad. Además, no se encontraron resultados significativos para los controles frente a los controles del mismo nivel de lectura. Los disléxicos mostraron una WMV mayor que los controles de nivel de lectura en WM derecha justo lateral al putamen. (Krafnick et al., 2014).

## IX. ANEXO II. TABLA 3. RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS: EL CEREBRO DISLÉXICO (ELABORACIÓN PROPIA).

PARIETOTEMPORAL.			
Autor	Muestra	Instrumentos	Resultados
(Backes et al., 2002)	Ocho niños con dislexia, y ocho niños sin antecedentes de dislexia del desarrollo o trastornos del lenguaje actuaron como controles. La edad promedio fue de 11.6.	Resonancia magnética funcional.	Los niños realizaron tareas que variaban en las demandas de procesamiento visoespacial, ortográfico, fonológico y semántico. Se encontró una activación de la corteza extraestriada izquierda durante todas las tareas en el grupo disléxico. Durante el procesamiento ortográfico, los niños disléxicos mostraron predominantemente activación en la corteza prefrontal derecha, como también ocurrió durante la tarea visoespacial. En contraste los lectores normales también mostraron activación en la corteza prefrontal izquierda. Los lectores disléxicos mostraron una menor activación de la corteza temporal y prefrontal durante el procesamiento fonológico. Los resultados sugieren que los lectores disléxicos no usan áreas cerebrales que normalmente están especializadas en el procesamiento del lenguaje.
(Eckert et al., 2005)	53 participantes. 23 disléxicos (12 mujeres y 11 varones, edad media de 13,7 años) y 16 normolectores (edad media de 11.7).	Resonancia magnética estructural basada en vóxeles y magneto-encefalografía funcional	Las comparaciones de morfometría basada en vóxel post-hoc demostraron diferencias de volumen de materia blanca en una región parietal temporal izquierda que son consistentes en la ubicación con los resultados de los estudios de imagen de tensor de difusión de la dislexia. Los análisis de morfometría basada en vóxel también identificaron, diferencias en el volumen de materia gris en la circunvolución lingual izquierda y derecha, lóbulo parietal inferior izquierdo y cerebelo, áreas que no se habían examinado con métodos manuales.
(Hoeft et al., 2006)	Niños disléxicos (edad media: 11.37, 4 mujeres y 6 varones) y dos grupos de control: los niños de la misma edad (edad media 10.95, 6 mujeres y 4 varones) a y los niños de la misma lectura (edad media: 8.75, 5 mujeres y 5 varones).	Resonancia magnética funcional, con una tarea de evaluación de la rima,	Los niños disléxicos exhibieron una activación reducida en relación con los niños emparejados por edad y por la lectura en la corteza parietotemporal izquierda y en otras cinco regiones, incluida la corteza parietotemporal derecha. Los niños disléxicos también exhibieron una activación reducida bilateralmente en la corteza parietotemporal en comparación con los niños equiparados para el rendimiento durante el escaneo. Nueve de los 10 niños con dislexia exhibieron activación parietotemporal izquierda reducida en comparación con sus niños de control emparejados por edad o de lectura emparejados individualmente seleccionados. Además, los estudiantes de quinto grado de lectura normal mostraron más activación en las mismas regiones parietotemporales bilaterales que los niños de tercer grado de lectura normal. Estos hallazgos indican que las diferencias de activación observadas en los niños disléxicos no pueden explicarse ni por el nivel de lectura actual ni por el rendimiento de la tarea del escáner, sino que representan una atipicidad de desarrollo distinta en los sistemas neurales que respaldan el aprendizaje de la lectura.
(Laycock et al., 2006)	17 niños con dislexia evolutiva (DD) 16 niños de control de la	Se comparó la precisión y el rendimiento de la	En los grupos de la misma edad no se encontraron diferencias significativas entre los controles DD y CA en ninguna de las tareas relacionadas con la función parietal, aunque el

	edad de lectura más joven (AR) y 46 buenos lectores de edad cronológica similar (CA) divididos en sujetos con alto cociente intelectual y bajo cociente intelectual igualados al grupo de DD no verbal.	lectura en tareas psicofísicas que supuestamente activan selectivamente la corteza parietal, como la sensibilidad al movimiento, el seguimiento atencional y la localización espacial.	rendimiento del grupo DD y sus puntajes cociente intelectual no verbales siempre fue menor. Las comparaciones de CA y AR indicaron que el supuesto funcionamiento parietal mejora con la edad. No se observó ninguna diferencia en el rendimiento en ninguna de las tareas impulsadas parietalmente entre el DD y los grupos con cociente de inteligencia no verbal edad-verbal, mientras que el rendimiento diferenciaba el grupo DD del grupo de cociente intelectual no verbal de mayor edad en varias tareas similares. Había diferencias de rendimiento entre menor edad de lectura (DD y RA) y todos los niños de mayor edad de lectura (CA) en una prueba de sensibilidad cromática, mientras que cuando se comparó el cociente intelectual no verbal alto y bajo, el rendimiento no fue diferente. Los resultados indican que el rendimiento en las supuestas funciones parietales mejora con la edad y puede estar más asociado con la inteligencia no verbal que con la precisión de la lectura. El rendimiento en una tarea cognitivamente exigente, que tradicionalmente se consideraba que dependía de las funciones de transmisión ventral, estaba más relacionado con la precisión de la lectura.
(Beneventi et al.,2009)	11 niños disléxicos y 13 niños control de un municipio del suroeste de Noruega y de 13 años.	Batería de pruebas para valorar el cociente intelectual, los procesos de lectura y la comprensión auditiva, prueba de escucha dicótica y resonancia magnética funcional.	El deterioro de la memoria verbal a corto plazo en la dislexia no puede explicarse por completo por las representaciones fonológicas degradadas o un déficit en el circuito del bucle fonológico. Proponemos que los lectores disléxicos tienen problemas con la recuperación o el acceso a las representaciones fonológicas y esto probablemente podría ser causado por un déficit específico en los procesos ejecutivos centrales, que tienen representaciones neuronales únicas. Se ha demostrado que es difícil divorciar experimentalmente la memoria fonológica de otros procesos fonológicos. Sin embargo, se ha argumentado que el ejecutivo central está libre de modalidad. Por lo tanto, los marcadores neuronales para un supuesto déficit en el ejecutivo central en la dislexia se deben detectar con estímulos no verbales. Para satisfacer mejor las necesidades especiales de los niños con poca capacidad de lectura y proporcionar intervenciones adaptadas individualmente, ambos déficits deben considerarse durante la evaluación.
(Raschle et al., 2011)	20 sanos de habla inglesa nativa con (n = 10) y sin (n = 10) una historia familiar de dislexia del desarrollo. Edad media 5,9.	Resonancia magnética funcional.	La morfometría basada en vóxel reveló índices de volumen de materia gris significativamente reducidos para los niños con antecedentes de dislexia, en regiones occipitotemporales izquierdas, parietotemporales bilaterales, circunvolución fusiforme izquierda y circunvolución lingual derecha. Los índices de volumen de la sustancia gris en las regiones de interés occipitotemporal y parietotemporal del hemisferio izquierdo también se correlacionaron positivamente con la denominación automática. No se observaron diferencias entre los dos grupos en las regiones frontal y cerebelosa. Este descubrimiento en un pequeño grupo de niños sugiere que las alteraciones funcionales y estructurales descritas anteriormente en la dislexia del desarrollo pueden no deberse a

			cambios cerebrales dependientes de la experiencia, sino que pueden estar presentes en el nacimiento o desarrollarse en la infancia temprana antes del inicio de la lectura.
(Black et al., 2012)	51 niños, nativos ingleses de 5 y 6 años, de los cuales 29 eran varones y 22 mujeres. 12 niños tenían antecedentes paternos, 10 tenían antecedentes maternos y dos tenían antecedentes maternos y paternos.	Resonancia magnética funcional, análisis de morfometría basada en vóxel y reconstrucción cortical y la segmentación volumétrica.	Un mayor historial materno de discapacidad lectora se asoció con un menor color gris prefrontal bilateral y parietotemporal, pero no volúmenes de materia blanca. La revisión del riesgo conductual, el estado socioeconómico y la educación materna y otros factores confusos no modificaron los resultados. No se observó tal relación para el historial de lectura paterna y el riesgo conductual. Los resultados del área de superficie cortical y el grosor mostraron una relación negativa significativa entre el área superficial cortical (pero no el grosor) y la mayor severidad de la historia materna, en particular dentro del lóbulo parietal inferior izquierdo, lo que sugiere influencia prenatal de la historia materna en el cerebro de los niños morfometría Los resultados sugirieron una mayor influencia materna, posiblemente prenatal, en las estructuras cerebrales relacionadas con el lenguaje
(Koyama et al., 2013)	Tres grupos de dislexia caracterizados por (a) disléxicos no rehabilitados, (b) disléxicos rehabilitados de la lectura (c) disléxicos rehabilitados y un grupo de niños con desarrollo típico de edad y cociente intelectual (total n = 44, rango de edad = 7-15 años).	Resonancia magnética funcional en estado de reposo y comparando patrones de conectividad funcional intrínseca (iFC) de regiones de lectura conocidas.	Diferencias grupales significativas en iFC de dos semillas ubicadas en la red de lectura posterior izquierda - surco intraparietal izquierdo y giro fusiforme izquierdo. Específicamente, surco intraparietal izquierdo entre surco intraparietal izquierdo y circunvolución frontal media izquierda fue significativamente más débil en todos los grupos de dislexia, independientemente del estado de rehabilitación, lo que sugiere que la disfunción persistente en la red de atención frontoparietal caracteriza a la dislexia. Los grupos rehabilitados exhibieron una iFC más fuerte entre giro fusiforme izquierdo y la circunvolución occipital media derecha. El grupo de remediación completo también exhibió iFC negativa más fuerte entre la misma semilla giro fusiforme izquierdo y la corteza prefrontal medial derecha, una región central de la red predeterminada. Estos resultados sugieren que la remediación del comportamiento puede asociarse con cambios compensatorios anclados en giro fusiforme izquierdo, que refleja un acoplamiento atípicamente más fuerte entre las regiones visuales posteriores (giro fusiforme izquierdo - la circunvolución occipital media derecha) y una mayor segregación funcional entre las regiones de tarea positiva y negativa de la tarea (giro fusiforme izquierdo - corteza prefrontal medial derecha). Estos hallazgos fueron reforzados por relaciones significativas entre la fuerza de las conexiones funcionales identificadas y los puntajes de alfabetización. Llegamos a la conclusión de que el examen de iFC puede revelar las firmas corticales de la dislexia con la promesa particular de controlar los cambios neuronales asociados con la corrección del comportamiento.
(Im et al., 2016)	59 normolectores ingleses. 28 lectores infantiles (edad media: 122,6 meses, 17 h. 11 m.) con (15 diagnóstico de	Resonancia magnética estructural para evaluar el grosor cortical y glioma rico en leucina	La dislexia del desarrollo se asocia frecuentemente con la estructura y función cerebral atípica dentro de las regiones de la red de lectura del hemisferio izquierdo. Existen diferencias a nivel de grosor cortical entre disléxicos y normolectores.

	dislexia) y sin (13 normolectores) un diagnóstico de dislexia y 31 pre-lectores / lectores principiantes (grupo "preescolar / jardín de infancia", edad media: 69.9 meses, 16 hombres y 15 mujeres) con (15) y sin (16) un riesgo familiar para diagnóstico de dislexia.	inactivad en todo el cerebro a nivel de vértices.	
(Ptak et al., 2016)	Paciente con daño bilateral occipitoparietal presentó dislexia por negligencia izquierda junto con la pérdida del campo visual derecho	Tareas de lectura, tareas de atención y percepción visual e imágenes por tensor de difusión.	Los errores de lectura de se vieron afectados por la longitud de la palabra y fueron mucho más frecuentes para las pseudopalabras. La mayoría de los errores fueron omisiones o sustituciones de la primera o la segunda letra, y la distribución espacial de los errores fue similar para los estímulos presentados a la derecha o a la izquierda de la fijación. Las lesiones cerebrales comprendían el lóbulo parietal inferior y superior, así como las cuneus y precuneus del hemisferio izquierdo, y la circunvolución angular y la corteza occipital lateral del hemisferio derecho. Las imágenes del tensor de difusión revelaron una disminución bilateral de los haces de fibras que conectan el lóbulo parietal inferior con la corteza temporal superior y media. Estos hallazgos sugieren que las conexiones parieto-temporales juegan un papel importante para el despliegue de la atención dentro de las palabras durante la lectura.

#### **OCCIPITOTEMPORAL.**

<u>Autor</u>	<u>Muestra</u>	<u>Instrumentos</u>	<u>Resultados</u>
(Kronbichler et al., 2008)	13 adolescentes con dislexia y 15 adolescentes normolectores (14-16 años).	Morfometría optimizada basada en vóxel con imágenes de resonancia magnética.	Se encontró menos volumen de materia gris para los lectores disléxicos en la circunvolución fusiforme izquierda y derecha, el cerebelo anterior bilateral y en la circunvolución supramarginal derecha. La disminución del volumen de materia gris en la circunvolución fusiforme izquierda y derecha de los lectores disléxicos destaca la importancia de esta región del cerebro para la dislexia del desarrollo. Las anomalías estructurales en la corteza occipitotemporal derecha sugieren que la dislexia puede ser un trastorno persistente debido a que un área de lectura occipitotemporal, crítica para la lectura especializada, no puede desarrollarse en ningún hemisferio. Las áreas extendidas de volumen reducido de materia gris en los lectores disléxicos en el cerebelo sugieren que las anomalías estructurales en el cerebelo también están fuertemente asociadas con la dislexia.

(Seghier et al., 2012)	Un paciente con accidente cerebrovascular que adquirió dislexia después de un extenso daño en la corteza occipito-temporal ventral izquierda y 29 lectores expertos.	Resonancia magnética funcional y modelado causal dinámico.	Cuando las palabras cortas se leían con éxito, las entradas visuales a la corteza occipital se conectaban a las regiones motoras y premotoras izquierdas a través de la actividad en una parte central del surco temporal superior izquierdo (STS). El análisis del paciente implicaba una vía de "lectura sin el área occipito-temporal ventral izquierda." Luego investigamos si se podía identificar la misma vía de lectura en 29 lectores expertos y si había variabilidad entre sujetos en el grado en que la lectura especializada involucraba. Encontramos que la conectividad funcional en la vía de lectura sin el área occipito-temporal ventral izquierda fue más fuerte en individuos que tenían la conectividad funcional más débil en la vía. Estos hallazgos resaltan la contribución de una vía de lectura del hemisferio izquierdo que se activa durante la identificación rápida de palabras breves familiares, especialmente cuando el área occipito-temporal ventral izquierda no está involucrado.
(Altareli et al., 2013)	Cuarenta y cinco controles (25 niños y 20 niñas) y 31 niños disléxicos (17 niños y 14 niñas). En el grupo 1 los participantes disléxicos (edad media, 11 años y 9 meses) se emparejaron con los controles de edad y sexo. En el grupo 2 de estudio el primer grupo por edad, sexo y educación de los padres y el otro por sexo y nivel de lectura.	Los preprocesamientos y análisis de datos funcionales se realizaron en SPM5. Las imágenes se alinearon con la primera imagen funcional, se correlacionaron con la imagen anatómica individual, se normalizaron al cerebro adulto y se alisaron. El modelado de datos de resonancia magnética funcional utilizó la función de respuesta hemodinámica de SPM canónica y su derivada temporal, convolucionada con las condiciones experimentales.	Los resultados mostraron una reducción en el grosor en los niños disléxicos en comparación con los controles en la región que responden a las palabras, en el hemisferio izquierdo. Además, se observó una interacción de género por diagnóstico en el mismo lugar, debido a las diferencias solo en las niñas. Para evitar la posible confusión del nivel de lectura, también se contrastó a los niños disléxicos y de control emparejados para el rendimiento de lectura, y observamos una diferencia similar, aunque en menor medida de la corteza.
(Fernández et al., 2013)	53 niños en total. 23 disléxicos (11 mujeres 12 varones) edad	Imágenes de resonancia magnética cuantitativa.	Los niños con deficiencias de decodificación (dislexia) no demostraron diferencias estadísticamente significativas en los volúmenes globales de materia gris o blanca o la

	media 13,7 años. 8 con impedimento de fluidez (6 mujeres 2 varones), edad media 13,7. 16 controles (5 mujeres 11 varones) edad media 11.7.		asimetría cerebelosa; sin embargo, se observó un volumen reducido en el lóbulo anterior del cerebelo en relación con los niños con desarrollo típico.
(Williams et al., 2018)	76 niños (de 6 a 15 años). Treinta y un niños cumplieron los criterios para la dislexia, mientras que 45 niños que obtuvieron puntajes por encima de una puntuación estándar de 90.	Resonancia magnética estructural para evaluar el grosor cortical y glioma rico en leucina inactivado en todo el cerebro a nivel de vértices.	En comparación con los controles, los niños con dislexia también mostraron un aumento de la circunvolución en el occipitotemporal izquierdo y en las cortezas frontales superiores derechas. La convergencia de la corteza más delgada y más girificación dentro de la región occipitotemporal izquierda entre niños con dislexia puede reflejar su papel temprano en el procesamiento de formas de palabras, y destaca la importancia de la corriente ventral para la lectura exitosa de la palabra.
<b>CUERPO CALLOSO.</b>			
<u>Autor</u>	<u>Muestra</u>	<u>Instrumentos</u>	<u>Resultados</u>
(Rumsey et al., 1996)	21 hombres disléxicos (edad media 27 años, SD 6) y en 19 controles emparejados	Resonancia magnética.	Hay diferencias en la parte posterior del cuerpo calloso, pero no en la media y anterior. El área aumentada del cuerpo calloso posterior puede reflejar una variación anatómica asociada con la lateralización deficiente del lenguaje
(Castro-Caldas et al., 1999)	18 mujeres analfabetas y 23 mujeres alfabetizadas diestras de 50-70 años.	Resonancia magnética.	Hay diferencias entre mujeres alfabetizadas y analfabetas. Los factores ambientales, además de los genéticos, afectan al desarrollo del cuerpo calloso
(Robichon et al., 2000)	23 disléxicos adultos de sexo masculino y 25 controles de la misma edad.	Resonancia magnética.	En particular, las regiones posteriores están afectadas, mostrando un cuerpo calloso reducido en los disléxicos. Las asimetrías parietales corticales y los posibles eventos hormonales estarían relacionados con la testosterona en el útero o en el período perinatal.
(von Plessen et al., 2000)	20 niños disléxicos diestros de una edad media de 11 años comparados con un grupo control.	Resonancia magnética medial sagital alineada	El cuerpo calloso tenía una forma más corta de la región posterior en los disléxicos. No existían diferencias significativas respecto al área global. El grupo disléxico no habría experimentado el mismo patrón de crecimiento que el grupo de lectura normal.
(Fine et al., 2007)	De los 68 participantes en 24 familias, hubo 24 niños (15 hombres y 9 mujeres), y 44 adultos (20 hombres y 24 mujeres).	Resonancia magnética y comparación de los volúmenes y se realizó una correlación entre el volumen del cuerpo calloso y el área en la porción sagital media.	Los mejores lectores tienen áreas más grandes del cuerpo calloso en la porción media. Los mejores procesadores tenían volúmenes más pequeños de cuerpo calloso. Las diferencias en el cuerpo calloso no son lo suficientemente robustas para predecir el grupo de diagnóstico. No parece haber diferencias entre los volúmenes del hemisferio izquierdo y derecho del cuerpo calloso

(Ying-Fang Sun et al., 2000)	-	Revisión bibliográfica de estudios con Imágenes de tensor de difusión, EEG, fMRI; resonancia magnética espectroscopia, magnetoencefalografía, Resonancia magnética, PET.	Reducción de las actividades neuronales en las cortezas parietal izquierda y temporal izquierda, y los patrones de activación difundidos y difusos. Se detectaron cambios en los niveles de lactato en estudios de espectroscopía de resonancia magnética. Los valores más bajos de anisotropía fraccional en los tractos bilaterales de sustancia blanca. La activación anormal del área de Broca. Se detectaron actividades incrementadas en las regiones del cerebro frontal y temporal. Se informó sobre la asimetría hemisférica reducida y el aumento de la activación frontal inferior izquierda.
(Casanova et al., 2010)	16 hombres disléxicos (edad media 28.2) y 14 controles (edad media 25.1).	Neuroimagen, morfometría, Clasificación de la distancia por métodos de transformación adelgazamiento topológico métodos y métodos híbridos para datos volumétricos y métodos basados en voronoi para datos poligonales.	Aumento generalizado en el tamaño del cuerpo calloso en la dislexia con una disminución concomitante en sus polos rostral y caudal.
(Van der Haegen et al., 2013)	49 estudiantes belgas (11 hombres, 38 mujeres, edad media = 21.0 años, DT = 2.6 años). Sujetos con el hemisferio derecho dominante 17 zurdos y con el hemisferio izquierdo dominante 17 zurdos y 15 diestros.	Resonancia magnética funcional y vóxeles.	Se requiere comunicación entre hemisferios al comparar las latencias de denominación de palabras y los datos de movimientos oculares. Los resultados revelan que las personas con dominancia del habla de HI pronuncian palabras más rápido cuando se les permite fijarse en la palabra que comienza, mientras que las dominantes con HD son más rápidas para las fijaciones hacia el final. Concluimos que la visión tradicional de las proyecciones bilaterales en la visión central es incorrecta. En contraste, la comunicación interhemisférica es necesaria en la visión central, y los movimientos oculares se ajustan para optimizar la captación de información.
(Luders et al., 2017)	18 niños con trastorno específico del lenguaje y 18 niños con desarrollo típico emparejados por edad.	Resonancia magnética.	Los niños con trastorno específico del lenguaje (TEL) difería en la morfología del callosal de niños con desarrollo típico. Dimensiones notablemente reducidas del cuerpo calloso, particularmente en el tercio anterior. El TEL se acompaña de una lateralización atípica de la función del habla y el lenguaje.

**OTROS ESTUDIOS IMPORTANTES.**

<u>Autor.</u>	<u>Muestra</u>	<u>Instrumentos.</u>	<u>Resultados.</u>
(Goldman y Manis 2013)	28 estudiantes universitarios adultos (19 mujeres, 9 hombres) con diferentes habilidades de lectura. La edad promedio fue de 20 años y varió de 18.58 a 24.58 años. Todos los participantes fueron fuertemente diestros.	Resonancia magnética.	La exposición de impresión representó una variación única en el grosor cortical en parte de la red de lectura del hemisferio izquierdo después de tener en cuenta la habilidad de lectura. Esto sugiere que parte de la variación en el grosor cortical en adultos podría atribuirse a la experiencia lectora, independientemente de la habilidad lectora.
(Clark et al., 2014)	27 niños noruegos, 11 de los cuales desarrollaron dislexia.	Resonancia magnética para analizar el grosor cortical, superficies corticales individuales.	Las anomalías en la red de lectura solo se observaron a los 11 años, después de que los niños aprendieron a leer. Los hallazgos sugieren que las anomalías en la red de lectura son la consecuencia de tener diferentes experiencias de lectura, en lugar de la dislexia per se, mientras que los precursores neuroanatómicos son predominantemente en las cortezas sensoriales primarias. La corteza auditiva primaria persistentemente más delgada, la circunvolución de Heschl, sugiere que los niños que más tarde desarrollan dislexia tienen una capacidad neuroanatómica reducida para procesar la información auditiva antes de aprender a leer.
(Krafnick et al., 2014)	15 niños con dislexia (seis niños, nueve niñas) y 30 normolectores (17 niños, 13 niñas).	Resonancia magnética.	De acuerdo con los informes anteriores, los disléxicos mostraron menos volumen de materia gris en múltiples regiones del hemisferio izquierdo y derecho, incluido el surco temporal superior izquierdo en comparación con los controles de la misma edad. Sin embargo, no todas estas diferencias surgieron cuando se compararon los disléxicos con los controles combinados con las habilidades de lectura, con solo el giro precentral derecho de volumen de materia gris sobreviviendo a este segundo análisis.