LA DISLEXIA COMO MANIFESTACIÓN DE NEURODIVERSIDAD

BELTRÁN RODRÍGUEZ YENNY ALEJANDRA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

PROYECTO CURRICULAR LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

2019

LA DISLEXIA COMO MANIDESTACIÓN DE NEURODIVERSIDAD

BELTRÁN RODRÍGUEZ YENNY ALEJANDRA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

LUIS FRANCISCO BECERRA GALINDO

DIRECTOR

GABRIEL GUTIÉRREZ OSPINA

CODIRECTOR

MODALIDAD MONOGRAFÍA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

PROYECTO CURRICULAR LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

2019

"*La ciencia comete suicidio cuando adopta un dogma"*
-Thomas Huxley-

Tabla de contenido

Introducción 8
Desarrollo Temático 9
1. Dislexia: Generalidades 9
2. Modelo anatomo-funcional de la organización cerebral en la dislexia 11
3. Compensación y diversidad morfofuncional en el fenotipo disléxico 15
4. El cerebro disléxico: Expresión alternativa de neurodiversidad 18
5. Evaluando las habilidades de lectura en el fenotipo disléxico: Del miedo y otros factores .. 20
6. El cerebro disléxico: Una alternativa morfofuncional 21
Conclusión 25
Bibliografía 30

Lista de figuras

Figura 1. Modelo de la circuitería neural que soporta a la lectura..... 11
Figura 2. Áreas de activación en procesos de lectura en el cerebro de individuos que presentan un fenotipo disléxico..... 15
Figura 3. Patrón de activación global cortical y subcortical durante la lectura que se presume característico de sujetos disléxicos 16
Figura 4. Patrones de activación cortical cerebral posteriores a una intervención 17

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Signos y síntomas reportados en dislexia 10
Cuadro 2. Rutas dorsal y ventral para el reconocimiento visual de las palabras en procesos de lectura según Bertolotti et al. (2017)..... 12
Cuadro 3. Características sensoperceptuales y cognitivas fortalecidas observadas en sujetos considerados disléxicos..... 19

Lista de anexos

Anexo A. Áreas cerebrales involucradas en lectura de acuerdo al modelo neurobiológico actualizado……..……24

Introducción

Uno de los elementos fenotípicos sobresalientes del ser humano es su capacidad para adquirir información a través de la lectura. Esta capacidad es heterogénea, por lo que el fenotipo lector exhibido en la población humana corresponde a un espectro amplio de manifestaciones individuales. Así, la habilidad lectora está representada por una curva de distribución normal, en la que el fenotipo denominado disléxico constituye aproximadamente el 17% (APA, 2013; Barbiero et al., 2012; Zakopoulou et al. 2011; Shaywitz et al., 1992). Esta distribución y frecuencia hacen del fenotipo disléxico una expresión alternativa de la normalidad lectora en el ser humano. Si bien algunas voces lo consideran como un fenotipo incapacitante/inadaptado, es menester recordar que todos los fenotipos exhiben cualidades circunstancialmente ventajosas en función de los contextos en los que se desempeñan. Esto sugiere que los fenotipos lectores emergen de manera natural en cada individuo como el resultado de respuestas contingentes del cerebro en desarrollo a retos circunstanciales que se presentan durante la vida prenatal y postnatal, por lo que considerarlas patologías resulta incorrecto. Hipotetizamos que las variantes fenotípicas disléxicas constituyen alternativas que permiten a aquellos individuos que las muestran el desarrollo de habilidades cognitivas altamente adaptativas. Con este fin se realizó una revisión, análisis y propuesta teórica sobre la neuroanatomía y neurofisiología de la dislexia y del eu-lenguaje que desencadenaron en la construcción de un nuevo modelo neurobiológico que predice las múltiples posibilidades de procesamiento de la información para los fenotipos eu-lector y disléxico. A propósito de lo anterior, el modelo actualizado de las rutas neurales empleadas en procesos de lectura e involucradas en los rasgos fenotípicos exhibidos por la población con dislexia condujo a la creación de un nuevo concepto que abarca el amplio espectro de rasgos fenotípicos de las personas disléxicas (i.e., Holodisnomia).

Desarrollo Temático

1. Dislexia: Generalidades

La dislexia es proverbialmente considerada como un trastorno neurológico que afecta primordialmente a la habilidad lectora de quien la manifiesta (Cuadro 1). Aparentemente, es el resultado de un déficit en el procesamiento fonológico que surge a partir de la imposibilidad de automatizar la conversión de las letras escritas a los sonidos del habla (i.e., la conversión grafo-fonémica), afectando consecuentemente el reconocimiento fluido y preciso de las palabras (Peterson & Pennington, 2012). Esta circunstancia, sin embargo, no parece ser una explicación causal sino una descripción fenomenológica (Stein, 2018; ver también Castles & Coltheart, 1993; Peterson et al., 2014), por lo que otros autores han sugerido que el fenotipo disléxico resulta de déficits en el procesamiento temporal e integración multimodal de la información visual y auditiva (Habib & Giraud, 2013; Hahn et al., 2014; Kershner, 2016; Gori & Facoetti, 2014). Estas últimas posturas, y los hechos de que 1) la dislexia se diagnostica en los primeros años de vida escolar y 2) se haya asociado con dismorfias cerebrales (Galaburda et al., 1985, 1994; Galaburda & Eidelberg, 1982; Galaburda & Kemper, 1979; Galaburda & Livingstone, 1993; Humphreys et al., 1990; Drake, 1968; Ramus et al., 2018; Galaburda et al., 1990; LeMay, 1976; Watkins et al., 2002), han justificado el desarrollo de un modelo morfo-funcional que propone que la dislexia resulta de alteraciones estructurales y funcionales adquiridas durante el desarrollo prenatal. Para confirmar este supuesto, la mayor parte de los estudios realizados se han enfocado en la descripción de las diferencias estructurales y funcionales existentes entre los cerebros de individuos eu-lectores y los de aquellos individuos que manifiestan un fenotipo disléxico.

Cuadro 1. *Signos y síntomas reportados en dislexia*

CATEGORÍA	SÍNTOMA O SIGNO	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
APRENDIZAJE	Dificultad en el aprendizaje de la lectura y escritura	Kere, 2014; Ramus et al, 2018
	Inteligencia normal	Peterson & Pennington, 2012; Kere, 2014
	Comprensión intacta	Peterson & Pennington, 2012
MEMORIA	Problemas en memoria verbal a largo plazo	Guttorm et al, 2005; Olagboyega, 2008
	Déficit en memoria de trabajo	Goswami, 2000
	Déficit de memoria verbal a corto plazo (dígitos, letras o sílabas)	Habib & Giraud, 2013
EJECUCIÓN	Mala secuenciación tanto en dominios espaciales como temporales (lógica, orden). Surgen de un déficit en la maduración de los sistemas implicados en el procesamiento de la sucesión de eventos en el tiempo	Stein, 2001; Habib & Giraud, 2013
LINGÜÍSTICA	Disminución en la fluidez de la lectura. La lectura se basa en decodificación letra por letra y no en lectura de palabras completas.	Habib & Giraud, 2013; Wimmer & Schurz, 2010; Lozano, Ramírez, & Ostrosky, 2003; Richlan, 2014
	Problemas en el lenguaje hablado. Confusión de los sonidos del habla (distinción entre b/p, k/g, d/t) producción e interpretación	Peterson & Pennington, 2012
	Conciencia fonológica reducida	Richlan, 2014; Pearson, 2017
	Codificación y decodificación deficientes	Lozano, Ramírez, & Ostrosky, 2003; Peterson & Pennington, 2012; Richlan, 2014
	Desarrollo tardío del lenguaje oral	Habib & Giraud, 2013; Kere, 2014
	Deletreo/Ortografía deficiente: inversiones de letras escritas y de sonidos	Lozano, Ramírez, & Ostrosky, 2003; Peterson & Pennington, 2012; Habib & Giraud, 2013
	Conocimiento de vocabulario bajo	Shaywitz et al, 2003
	Nombramiento serial rápido de estímulos visuales familiares reducido	Wimmer & Schurz, 2010
	Déficit en el procesamiento fonológico	Peterson & Pennington, 2012; Richlan, 2014; Gori & Facoetti, 2014
	Dificultad en la automatización de las correspondencias grafema-fonema	Pearson, 2017
	Comisión de errores de ortografía	Pearson, 2017
RECONOCIMIENTO	Dificultad en el reconocimiento de las palabras escritas (reconocimiento lento e impreciso)	Peterson & Pennington, 2012
	Identificación de voces deficiente	Perrachione et al., 2011
SENSORIAL	Habilidades de percepción normales	Peterson & Pennington, 2012; Kere, 2014
	Problemas de agudeza visual	Ramus et al, 2018

	Déficit moderado en el procesamiento visual (errores con grafemas visualmente similares) y auditivo (representaciones fonológicas mal definidas que implican confusiones entre los sonidos del habla)	Gori & Facoetti, 2014; Habib & Giraud, 2013
	Dificultad para manejar la atención visual	Schneps, 2015
ACTIVIDAD CEREBRAL	Actividad cerebral alterada	Peterson & Pennington, 2012
	Desarrollo anormal de la materia gris y blanca	Klingberg et al, 2000; Kere, 2014; Peterson & Pennington, 2012
MOTRICIDAD	Falta de coordinación	Stein, 2001
	Fijación binocular inestable	Stein, 2001
LATERALIDAD	Confusión entre izquierda y derecha	Stein, 2001

2. Modelo anatomo-funcional de la organización cerebral en la dislexia

Estudios de imagenología funcional sugieren que en individuos eu-lectores, la lectura está sostenida por una estructura neural compuesta por cuatro regiones cerebrales ubicadas en el hemisferio izquierdo. Estas regiones son la Occipito-Temporal ventral (OT; área visual de la forma de las palabras), la Circunvolución Frontal Inferior (IFG), la Circunvolución Precentral dorsal (PrC) y la Corteza Parieto-Temporal (TP), la última conformada por el lóbulo parietal inferior dorsal (IPL) y la circunvolución temporal superior (STG) (Richlan, 2014; Figura 1). Las regiones mencionadas, se conectan entre sí a través de dos haces referidos como dorsal y ventral, constituidos, respectivamente, por los fascículos longitudinal superior y el arqueado y los fascículos longitudinal inferior fronto-occipital y el uncinado. En su conjunto, se cree que el haz dorsal transmite información fonológica y articulatoria, mientras que el haz ventral se encarga de transmitir información semántica (Cuadro 2). De esta forma, las vías dorsales parecen más involucradas en la conversión grafo-fonológica mientras que las ventrales permiten el acceso léxico-semántico (Bertolotti et al., 2017; Jobard et al., 2003; ver también Hickok & Poeppel, 2004; Saur et al., 2008).

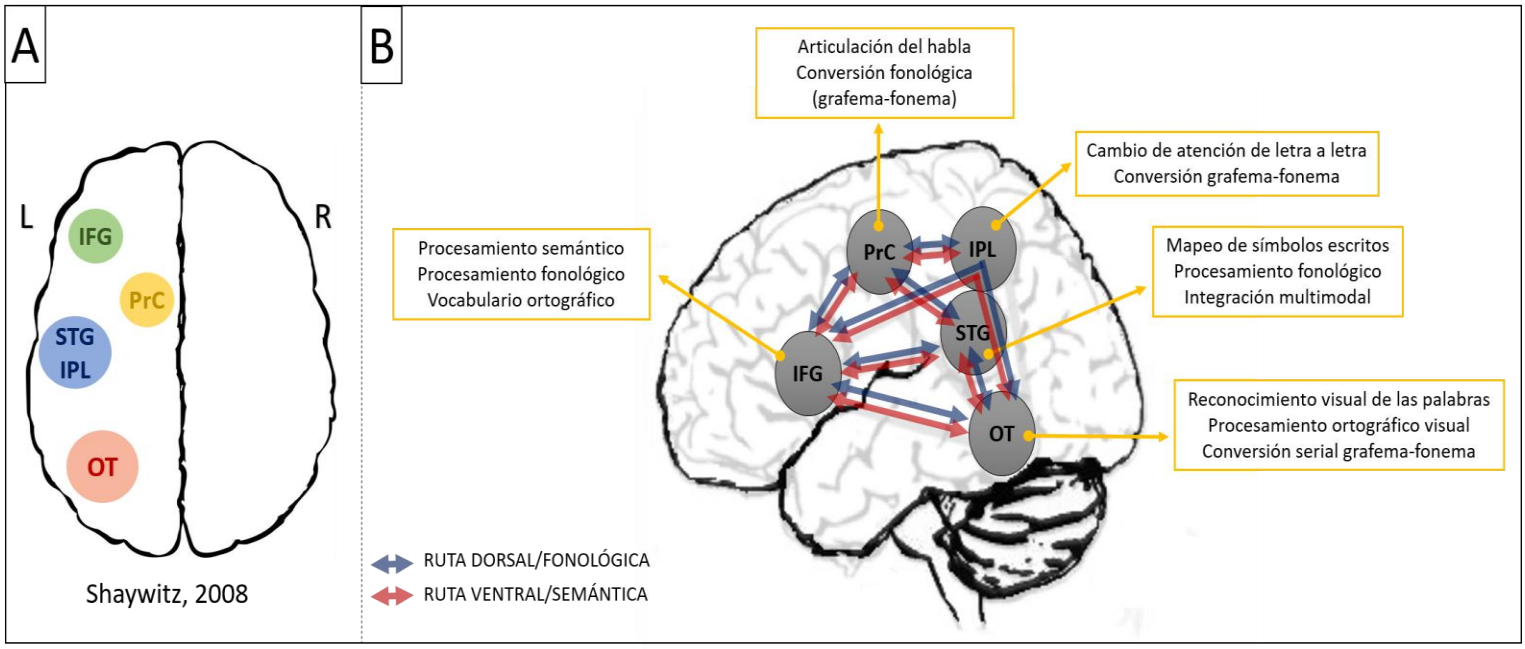


Figura 1. *Modelo de la circuitería neural que soporta a la lectura. A) Áreas cerebrales involucradas en la lectura. IFG: Circunvolución Frontal Inferior; PrC: Circunvolución precentral; IPL: Lóbulo Parietal Inferior; STG: Circunvolución Temporal Superior; OT: Corteza Occipitotemporal. B) Circuitos que interconectan a las distintas áreas que subyacen a la lectura. Las flechas azules corresponden al haz dorsal. Las rojas al haz ventral. Se postula que son multidireccionales. Modificado de Richlan (2014), funciones de las áreas (Peterson & Pennington, 2012), rutas (Perrone-Bertolotti et al., 2017).*

Cuadro 2. *Rutas dorsal y ventral para el reconocimiento visual de las palabras en procesos de lectura según Bertolotti et al. (2017)*

RUTA DORSAL PROCESAMIENTO FONOLÓGICO	**RUTA VENTRAL** PROCESAMIENTO LÉXICO-SEMÁNTICO
▪ Lóbulo Parietal Inferior (IPL): conversión grafo-fonémica ▪ Circunvolución Supramarginal: conversión grafo-fonémica ▪ Circunvolución Temporal Superior (STG): reconocimiento y selección de fonemas ▪ Circunvolución Frontal Inferior (IFG): activación de códigos de fonemas ▪ Interacción de la Corteza Occipito-temporal ventral (OT)/VWFA con IFG: codificación de entradas visuales de letras a sonidos o fonemas (conversión grafo-fonémica) **Conexiones anatómicas:** Saur et al., 2008; Friederici y Gierhan, 2013; Kellmeyer et al., 2013 en Bertolotti et al., 2017 **Conexión Temporal-Parietal-Frontal:** fascículo longitudinal superior **Conexión Fronto-temporal:** fascículo arqueado	▪ Activación de la región Occipito-Temporal ▪ Área temporal medial e inferior: ITG, MTG: Acceso y recuperación de representaciones léxicas ▪ Circunvolución Temporal anterior: procesamiento semántico ▪ Giro angular: memoria semántica ▪ Parte anterior del IFG: recuperación semántica y procesos semánticos de más alto nivel **Conexiones anatómicas:** Saur et al., 2008; Friederici y Gierhan, 2013; Kellmeyer et al., 2013 en Bertolotti et al., 2017 Dependen del Uncinado y del Fascículo inferior longitudinal fronto-occipital

Con base en lo expresado con antelación, para el caso de los individuos que manifiestan el fenotipo disléxico, se presume que las regiones OT, IFG, PrC, IPL y STG, así como los haces dorsal y ventral (o sus fascículos) presentarían alteraciones anatomo-funcionales que tendrían como consecuencia la manifestación de "dificultades" para lograr la conversión grafo-fonológica y la recuperación del significado de las palabras. En apoyo a esta posibilidad, se han generado datos anatómicos que muestran una disminución del volumen de materia gris en las regiones STG, IPL, IFG, OT, Circunvolución Fusiforme izquierda (FFG), Surco Temporal Superior (STS) y cerebelo (C) (Linkersdörfer et al., 2012; Brown et al., 2001; Eckert et al., 2016; Richlan et al., 2013). Funcionalmente, Paulesu *et al.* (2001) reportaron una disminución del área de activación en la STG y en la OT. De hecho, la OT izquierda parece no reconocer al mismo tiempo todas las letras que constituyen una palabra (Zoccolotti y otros, 2005 citado por Dehaene, 2014).

Bajo la misma óptica "patologizante", la dislexia también se ha asociado con actividad reducida en regiones Temporo-Parietales (TP) relacionadas con procesamiento fonológico (Richlan et al., 2011). Estudios enfocados a estudiar la integridad de conectividad cortical subyacente a la lectura, documentan que el fascículo longitudinal superior del hemisferio izquierdo, el fascículo arqueado y el fascículo fronto-occipital inferior (Vandermosten et al., 2012) están reducidos de tamaño en sujetos que muestran fenotipos disléxicos (Klingberg et al., 2000; Beaulieu et al., 2005; Deutsch et al., 2005; Silani et al., 2005; Niogi & McCandliss, 2006 citados en Dehaene, 2014; Kershner, 2016), lo que aparentemente sugiere que la región temporal izquierda está desconectada de otras regiones cerebrales, posiblemente causando una importante alteración en el flujo de información a la IFG (Dehaene, 2014; Yeatman et al., 2012). Finalmente, la baja activación en PT y OT (Pugh et al., 2000; Richlan et al., 2009) parece afectar el reconocimiento fluido de las palabras, mientras que la sobreactivación en los sistemas anteriores

se relaciona con la utilización de recursos fono-articulatorios para decodificar palabras desconocidas o pseudopalabras (Pearson, 2017).

En resumen, se ha propuesto un esquema general de activación del cerebro disléxico en respuesta a tareas de lectura (Simos et al., 2007; Shaywitz y Shaywitz, 2008) representado por la subactivación de las regiones posteriores del hemisferio izquierdo (PT y OT) y sobreactivación de la PrC del hemisferio izquierdo, la IFG de ambos hemisferios, así como la OT del hemisferio derecho (Figura 2). Aunque el arreglo morfo-funcional se juzga como deficiente e inadaptado, es importante notar que, en el cerebro de sujetos con fenotipo disléxico, los núcleos lectores se activan en ambos hemisferios cerebrales, es decir, la lectura es bilateral. Estos cambios sugieren más bien que la organización morfofuncional del cerebro disléxico representa una alternativa que resuelve los retos a los que se enfrenta generando estrategias distintas debido, en parte, a sus propiedades sensoriomotoras y perceptuales divergentes, y potencialmente adaptativas. De esta forma, la organización cerebral observada en individuos disléxicos no es anómala sino una opción útil, que se forja en respuesta a las contingencias del desarrollo ontogenético al que fue expuesto, y cuya adecuación o inadecuación es absolutamente circunstancial dependiendo de las tareas desempeñadas y de los contextos a los que se enfrente y tenga que resolver. Un fenómeno de reorganización semejante se ha observado en individuos invidentes o sordos, en quienes la reorganización cerebral no se considera una anormalidad sino un ejemplo de plasticidad adaptativa (Martínez-Méndez et al., 2013)

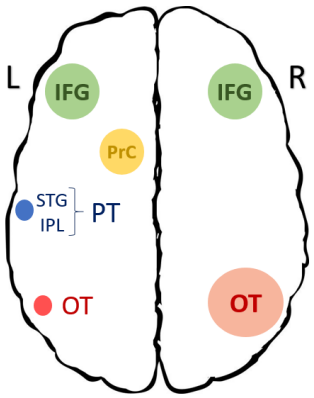


Figura 2. *Áreas de activación en procesos de lectura en el cerebro de individuos que presentan un fenotipo disléxico. Las diferencias en los patrones de activación se encuentran representadas por el tamaño de los círculos. Nótese la bilateralidad de la representación de la lectura. L: Hemisferio izquierdo; R: Hemisferio derecho.*

3. Compensación y diversidad morfofuncional en el fenotipo disléxico

La identificación del fenotipo disléxico por parte del personal médico y/o psicológico capacitado pareciera ser sencilla y categórica. Nada más alejado de la realidad. La heterogeneidad de las manifestaciones cognitivas de sujetos que son identificados como disléxicos, y de sus correlatos neuronales, es tan amplia como aquella observada entre los fenotipos eu-lectores considerada, la segunda, parte de la variación natural de la especie. De hecho, y en favor de esta última aseveración, baste recordar que la frecuencia de la dislexia en la población llega a alcanzar el 17% (APA, 2013; Barbiero et al., 2012; Zakopoulou et al. 2011; Shaywitz et al., 1992), lo que la transforma de una anomalía a un fenotipo frecuente cobijado por la curva de normalidad de la diversidad neural humana. Además, el fenotipo disléxico, como ya se subrayó, no es categórico, sino que está representado por matices. Como ejemplo, baste un botón. Estudios de morfología funcional han reportado la existencia de un patrón global de activación cortical y subcortical durante la lectura que se presume común a los sujetos disléxicos, pero que difiere del observado en los sujetos control. Este patrón se caracteriza por la activación bilateral de los ganglios basales (Bg), la IFG y la ínsula (I) (aunque ver Bach et al., 2010), unilateral derecho de la OT y C y

unilateral izquierdo de la PrC, el tálamo (Th) y la circunvolución post central (PoC) (Figura 3; Shaywitz et al., 2002; Simos et al., 2007; Shaywitz y Shaywitz, 2008; Ingvar et al., 2002; Bach et al., 2010; Hancock et al., 2017; Hoeft et al., 2007; Kronbichler et al., 2006; Maisog et al., 2008; Richlan et al., 2009, 2011; Wimmer et al., 2010; Meyler et al., 2008). Es de resaltar que algunas de las regiones que forman parte de este patrón no se relacionan primariamente con el proceso de lectura en individuos eu-lectores (aunque ver Paulesu et al., 1993; McNorgan et al., 2011; Hancock et al., 2017), lo que sugiere que el cerebro en los sujetos disléxicos representa una organización alternativa que le permite el desarrollo de estrategias fonológicas o articulatorias compensatorias.

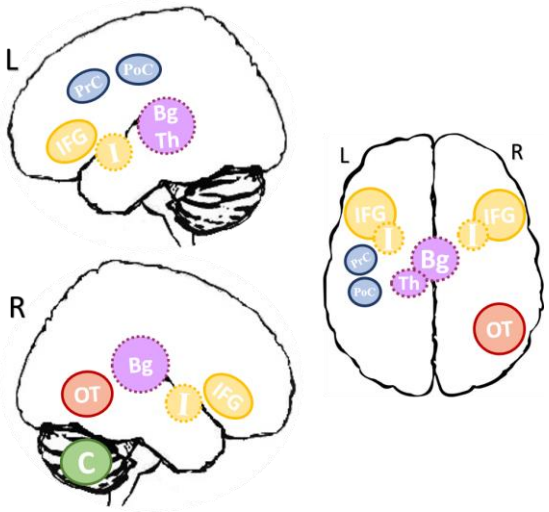


Figura 3. *Patrón de activación global cortical y subcortical durante la lectura que se presume característico de sujetos disléxicos. PrC: Circunvolución precentral; PoC: Circunvolución postcentral; IFG: Circunvolución Frontal Inferior; I: Ínsula; Bg: Ganglios basales; Th: Tálamo; OT: Región occipitotemporal; C: Cerebelo.*

Si bien los patrones de activación cortical cerebral descritos se piensan característicos de la dislexia, en realidad constituyen la base sobre la cual se construye la diversidad morfo-funcional del cerebro disléxico. Esta diversidad se manifiesta al estudiar los patrones de activación cortical cerebral consecutivos a una intervención terapéutica (Fig. 4; i.e., entrenamiento en habilidades fonológicas, procesamiento auditivo y lenguaje oral) instrumentada con el propósito de mejorar su

desempeño en la lectura. Independientemente de que los individuos mejoren la precisión de sus habilidades de lectura como resultado de la intervención, los patrones de activación difieren entre los individuos, siendo éstos significativamente más divergentes entre los individuos que responden a la intervención. De hecho, estos últimos patrones de activación no corresponden a aquellos observados en individuos eu-lectores, observación que apoya que la organización cerebral en los individuos disléxicos en verdad representa una respuesta contingente, una alternativa funcional y adaptativa para ellos, además de reflejar una diversidad de arreglos morfofuncionales cerebrales que permiten la expresión poblacional de un espectro fenotípico disléxico.

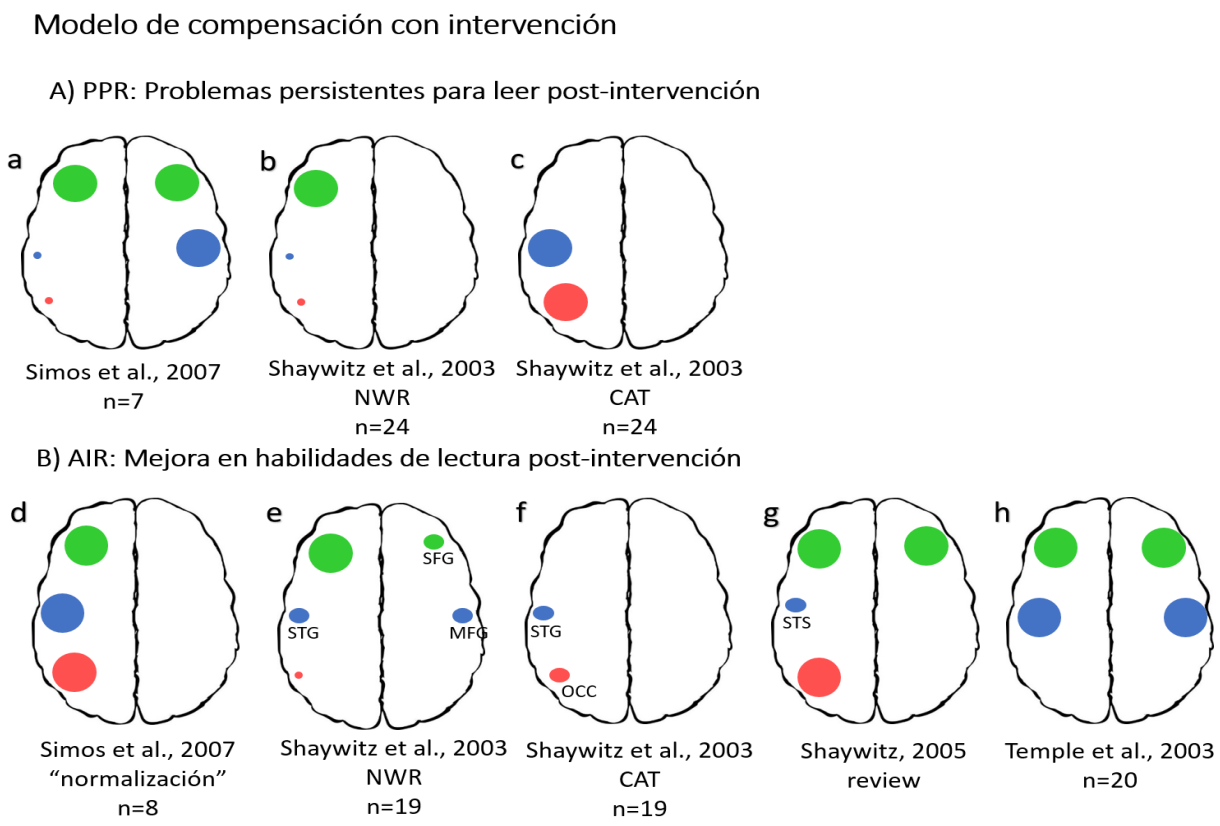


Figura 4. *Patrones de activación cortical cerebral posteriores a una intervención de entrenamiento en habilidades fonológicas, procesamiento auditivo y lenguaje oral en sujetos que muestran problemas persistentes para leer (A) y en sujetos que mejoran sus habilidades de lectura (B). Convenciones de color: verde, IFG; azul, PT; rojo, OT. Nótese que la diversidad interindividual del fenotipo disléxico es mayor en sujetos que responden positivamente a la intervención, lo que sugiere que el arreglo morfofuncional subyacente es adaptativo y funcional.*

4. El cerebro disléxico: Expresión alternativa de neurodiversidad

Con los datos presentados en la sección precedente, parece claro que la organización morfo-funcional cerebral en el fenotipo disléxico constituye, en realidad, una solución diferente con posibilidades adaptativas y de funcionalidad plena, en contextos acordes a su diseño. Si esto fuera así, uno esperaría observar "ventajas" o "fortalezas" cognitivo-conductuales en individuos disléxicos al comparar su desempeño con individuos eu-lectores, en tareas diferentes a la lectura, tal y como se observa en los procesos de plasticidad adaptativa evaluados en individuos invidentes o sordos (Martínez-Méndez et al., 2013). Como ejemplo de ello, se ha mostrado que modificaciones en el proceso de integración de la información visual periférica en los individuos con dislexia les permite llevar a cabo tareas de análisis global de las imágenes y de identificación de anomalías presentes en el contexto visual, evaluado de forma más eficaz que el anotado para individuos eu-lectores (Schneps et al., 2007). Otras fortalezas cognitivo conductuales asociadas con el fenotipo disléxico se presentan en el Cuadro 3. Al revisar el cuadro, podemos percatarnos que las organizaciones morfofuncionales de los cerebros en individuos disléxicos los capacitan, por encima de los fenotipos eu-lectores, para integrar sensorio-perceptualmente, de manera holística y generalista, la información circundante, proveyéndoles de la posibilidad de generar respuestas conductuales contingentes, divergentes y creativas. Es justo articular, por tanto, que las fortalezas del fenotipo disléxico no se presentan "a pesar de sus dificultades en la ejecución de tareas de lectura y escritura", sino que reflejan que sus cerebros están configurados estructural y funcionalmente de tal manera que exhiben otras facultades de procesamiento (Eide & Eide, 2012). Estos hallazgos están en línea con la idea de que la dislexia no representa un fenotipo discapacitado, sino que implica a una pléyade de variantes funcionales de la norma estadística (Pennington, 2006). Es importante mencionar que las fortalezas cognitivo-conductuales

observadas en los individuos disléxicos, van más allá de descripciones fenoménicas bajo condiciones relativamente controladas. En verdad, éstas poseen un correlato neural. Sirva de ejemplo que la capacidad de los sujetos de fenotipo disléxico para atender el aspecto global de las figuras, se correlaciona con la activación de la corteza temporo-occipital del hemisferio derecho (Fink et al., 1996). Elementos críticos de la creatividad artística visual como la atención global y el pensamiento viso-espacial observados en individuos disléxicos, están mediados por el lóbulo parietal derecho (Heilman & Acosta, 2013). De forma similar, se ha propuesto que los lóbulos frontales en individuos disléxicos podrían ser críticos para el pensamiento divergente (Heilman & Acosta, 2013), y que el hemisferio derecho modula su capacidad de producción artística, así como la atención global (Cohn & Neumann, 1997). Finalmente, se ha considerado que una "disfunción del hemisferio dominante" puede dar lugar a un funcionamiento desinhibido del lóbulo parietal "no dominante" resultando en un desenmascaramiento de talento artístico oculto (Kapur, 1996; entrecomillado usado por el autor de la presente monografía). Con ello, la habilidad facilitada de los individuos disléxicos para resolver tareas en las que se requiere romper las convencionalidades, podría explicar sus "dificultades" para adquirir las reglas convencionales del lenguaje y la gramática específica (Bigozzi et al., 2016; entrecomillado usado por el autor de la presente monografía).

Cuadro 3. *Características sensoperceptuales y cognitivas fortalecidas observadas en sujetos considerados disléxicos*

VENTAJAS	**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**
Habilidades viso-espaciales: tareas de completar figuras, ensamblaje de objetos y diseño de bloques, análisis de imagen, comparación visual (percepción de anomalías o inconsistencias) y discriminación de figuras posibles e imposibles: Gracias a una visión periférica favorecida. Procesamiento visual holístico	Schneps et al., 2007; Sladen, 1972; Rigel, 1974; Rack, 1981; Olagboyega, 2008; Diehl et al., 2014; Schneps, 2015; von Karolyi, 2001; von Karolyi et al., 2003; von Karolyi & Winner, 2004
Creatividad (artística o literaria)	Rack, 1981; Olagboyega, 2008; Pearson, 2017; Kiziewicz & Biggs, 2007; Chakravarty, 2009
Imaginería visual: Pensamiento espacial multidimensional (preferencia para el pensamiento en tres dimensiones); tareas de rotación mental: capacidad de	Olagboyega, 2008; Schneps, 2015; Eide & Eide, 2012

identificar elementos (letras, figuras o imágenes) presentados con diferentes orientaciones	
Resolución de problemas (creatividad): encontrar formas alternativas para resolver; pensamiento divergente y creativo	Olagboyega, 2008; Pearson, 2017; Heilman & Acosta, 2013
Tendencia a prestar atención a muchas actividades concurrentes (atención a múltiples entradas auditivas al mismo tiempo)	Geiger & Lettvin, 1987.
Persistencia (hábitos creados por el ejercicio prolongado)	Rawson, 1978
Visión periférica optimizada para un procesamiento rápido en regiones amplias (percepción de edificaciones y escenas) Lectura favorecida en la periferia	Schneps et al, 2007; Schneps, 2011; Geiger & Lettvin, 1987
Aprendizaje espacial implícito (i.e., por exposición repetida a un espacio que se hace familiar)	Howard et al., 2006
Comprensión de conceptos gracias a habilidades de asociación de significados	Pearson, 2017
Memoria de imágenes (memoria visual)	Swanson, 1984; Hedenius et al., 2013
Percepción de relaciones como analogías, metáforas, paradojas, similitudes, diferencias, implicaciones, vacíos y desequilibrios.	Eide & Eide, 2012
Habilidad para recordar experiencias personales importantes.	Eide & Eide, 2012
Habilidad para percibir y tomar ventaja de patrones sutiles en sistemas complejos y constantemente cambiantes o conjuntos de datos.	Eide & Eide, 2012
Producción artística	Cohn & Neumann, 1997; Pearson, 2017
Imaginación	Pearson, 2017; Cooper, 2009; Kiziewicz & Biggs, 2007
Procesamiento holístico de la información (vs. Procesamiento secuencial)	Cooper, 2009
Reproducción de formas visuales complejas desconocidas	Swanson, 1984
Encontrar vías alternativas para procesar la información	Cockcroft & Hartgill, 2004
Pensamiento divergente	Bigozzi et al., 2016

5. Evaluando las habilidades de lectura en el fenotipo disléxico: Del miedo y otros factores

Si las diferencias organizacionales morfo-funcionales del cerebro de los individuos disléxicos son variantes de la norma ¿Porqué es que la mayoría de ellos parecen mostrar como rasgo categórico inhabilidades en la lectura? El sentido común, como ha sucedido a lo largo de la historia, nos orillaría a pensar que el sustrato neural involucrado en la lectura pudiese estar incorrectamente estructurado, en ausencia de otras inhabilidades en la esfera neurológica. Sin embargo, un amplio cuerpo de evidencia indica que existe una asociación estrecha entre las "dificultades" para leer y síntomas de ansiedad, depresión, baja auto-estima y/o retracción social en los sujetos disléxicos (Alexander-Passe, 2006; Carroll & Iles, 2006; Maughan & Carroll, 2006; Carroll et al., 2005; Lindsay & Dockrell, 2000; Riddick et al., 1999).

Esta situación abre la posibilidad de que la dislexia resulte de una variación mayor de la morfo-fisiología cerebral. No obstante, la "inadaptación" que se presume está asociada con la dislexia podría reflejar cambios emocionales relacionados con obstáculos sociales. De hecho, se ha documentado que los individuos señalados como disléxicos se exponen socialmente a percepción y juicios erróneos debidos a sus debilidades en la ejecución de la lectura (Chinn & Crossman, 1995). Adicionalmente, el hecho de que el progreso en la cadena escolar esté basado en la lectura y la escritura, refuerza un auto-concepto en la persona disléxica que lo define como un ser que padece de un trastorno, con lo que todo esto acarrea emocionalmente. Sin embargo, el fenotipo disléxico habilita a la persona que lo posee a desarrollar destrezas que no son necesariamente apreciadas por la sociedad, ni por él mismo (Cuadro 3; Pearson, 2017; Cooper, 2009), no obstante, la existencia de circuitería que lo faculta para desempañar destrezas que no se encuentran vinculadas con la escolaridad basada en la lectoescritura (Pearson, 2017). Con esto en mente, no queda claro que fracción de las supuestas inhabilidades lectoras operativas asignadas al fenotipo disléxico resultan de la configuración alternativa de sus circuitos cerebrales y que tanto reflejan el estrés psicosocial al cual están sometidos. En el futuro, aconsejamos que se realicen estudios que traten de distinguir la contribución de estos elementos, pero no sólo desde una visión patologizada, sino también desde el entorno de la neurodiversidad.

6. Los cerebros disléxicos: Alternativas morfofuncionales

En el modelo tradicional, las áreas corticales cerebrales que se presume subyacen a la lectura se reducen a las IFG, OT, PrC, STG e IPL del hemisferio izquierdo. Este modelo, sin embargo, ha ayudado a promover una visión "patologizada" de la dislexia, pues las áreas en él consideradas no reflejan la organización observada en el cerebro de los individuos disléxicos cuando éstos ejecutan tareas de lectura. La revisión de la literatura contemporánea sobre el tema,

tanto en individuos eu-lectores como en disléxicos, nos brinda un panorama distinto, pues ahora se presume que la lectura requiere de la asociación funcional de 36 áreas cerebrales encargadas de llevar a cabo operaciones de procesamiento visual, memoria de trabajo, semántica, procesamiento auditivo, articulación del habla, imaginería visual y auditiva (Figura 5; Cuadro 6, anexo A; Price, 2012). Cabe destacar que dentro de este conjunto de áreas existen aquellas que se consideraban exclusivas de la dislexia en referencia a la lectura (Figura 5) y que ahora han sido identificadas en los individuos eu-lectores. De hecho, algunas de ellas fueron primero observadas en individuos disléxicos (e.g., activación bilateral de Bg, IFG e I). En este nuevo modelo, se propone que la integración de la información no ocurre de manera secuencial en una dirección dada, sino que resulta de la actuación concertada de áreas involucradas activadas concurrentemente e interactuando de forma flexible y dinámica dependiendo de las demandas de la tarea en ambos fenotipos. Así, el modelo predice la posibilidad de que se generen rutas alternativas de procesamiento en ambos grupos. Estas observaciones, nuevamente, permiten fortalecer el argumento de que las configuraciones morfofuncionales cerebrales de los individuos disléxicos, representan variaciones genuinas de la diversidad de la norma con posibilidades de adaptación y funcionamiento plenos.

Así, el modelo destaca la amplia distribución de los procesos de lectura a nivel cerebral. Los símbolos escritos serían procesados por el sistema visual y posteriormente seguirían rutas de procesamiento fonológico y semántico, además, al tiempo que se activan mecanismos de memoria de trabajo verbal, imaginería visual e imaginería auditiva dependiendo de los requerimientos operativos. Las salidas motoras y articulatorias se asocian con estrategias de subvocalización empleadas por los sujetos de fenotipo disléxico y a su vez constituyen entradas sensoriales que podrían seguir la ruta de procesamiento auditivo. Esto evidencia una vez más las diversas

posibilidades de procesamiento para el fenotipo disléxico teniendo en cuenta sus mecanismos de plasticidad. Así mismo, destaca la participación moduladora del Tálamo al regular la actividad cortical en respuesta a la lectura. La activación dinámica y flexible de las áreas (Figura 5) podría explicarse por el marcado solapamiento funcional que, por un lado, abre la posibilidad de que se generen rutas alternativas de procesamiento y, por el otro, permite estrategias de reorganización funcional como las exhibidas por el fenotipo disléxico, dado que un área determinada podría alternar entre diversas funciones. Esto probablemente se relaciona con la obtención de resultados de activación cerebral "inconsistentes" en sujetos eu-lectores y disléxicos, que posiblemente sean producto de la diversidad morfo-funcional exhibida por ambos fenotipos, reflejando más bien la naturaleza dinámica y diversa del modelo de lectura, en lugar de resultados conflictivos.

Con base en lo anterior, uno podría esperar adaptaciones funcionales en los individuos disléxicos. En apoyo a esto, y a manera de ejemplo, la activación significativa de la región OT del hemisferio derecho se relaciona con la capacidad de atender al aspecto global de los estímulos presentados, y la activación bilateral de la región IFG se correlaciona con procesos de creatividad y pensamiento divergente. Ambos elementos, facultan al sujeto disléxico para generar alternativas conductuales con respecto al sujeto eu-lector. lo anterior, podría evaluarse en futuros estudios.

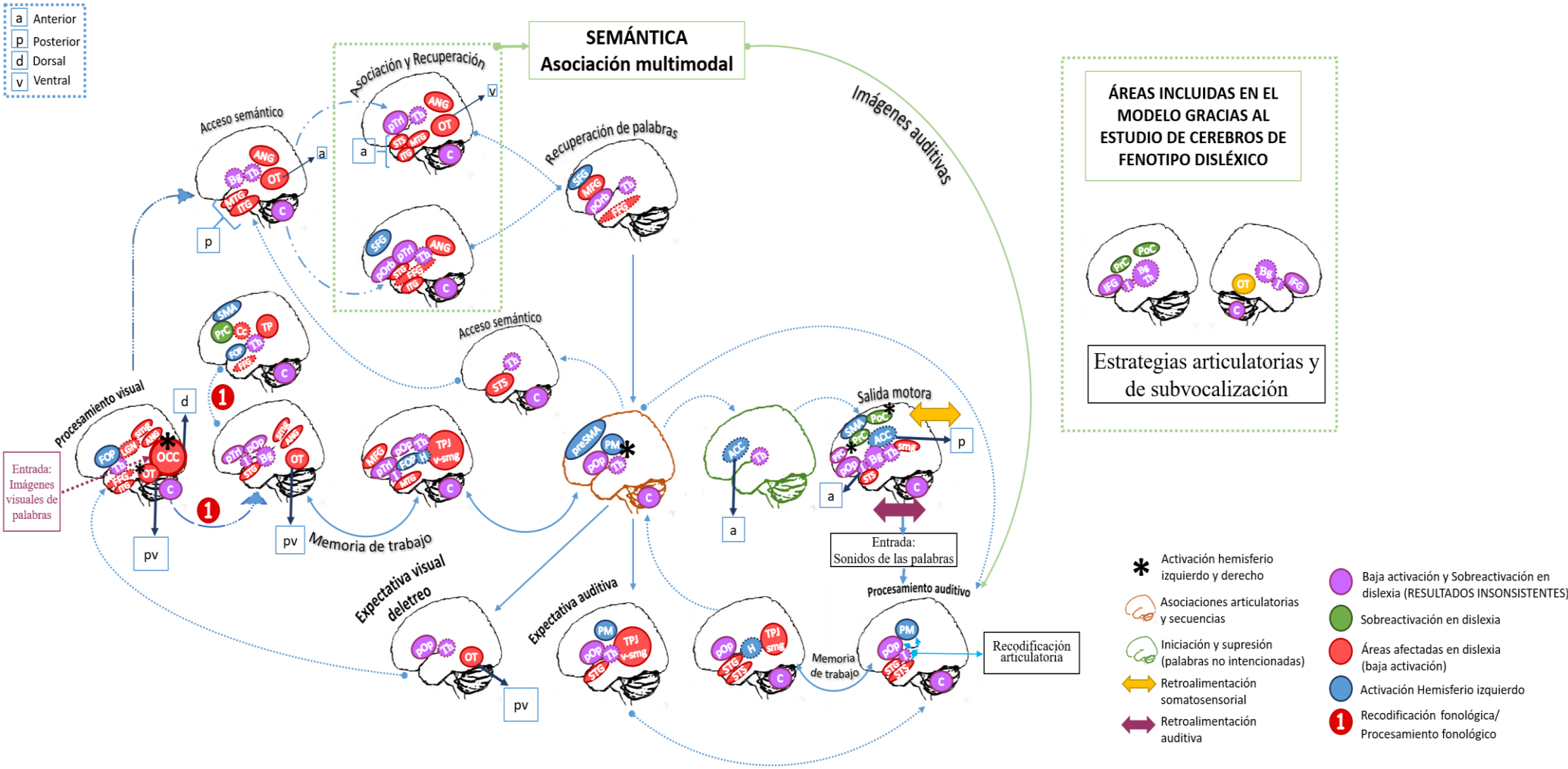


Figura 5. Modelo anatómico y funcional de la lectura actualizado

Conclusión

En suma, históricamente la dislexia ha sido considerada como un trastorno neurológico derivado de un proceso de desarrollo ontogenético deficiente, que afecta principalmente a la esfera cognitiva relacionada con la lectura. Durante el desarrollo, sin embargo, el cerebro se ensambla dinámicamente a través de procesos auto-organizativos, respondiendo de manera contingente a los retos impuestos por el ambiente gestacional en muchas ocasiones estresante. Las respuestas del cerebro en desarrollo, reflejadas en su organización morfofuncional, son el resultado de "negociaciones" entre las distintas regiones que lo forman (i.e., ontogenia regulatoria; Adolph, 1968) y que conducen a "la mejor solución posible", considerando los eventos fortuitos que el cerebro afronta en distintos momentos durante la vida prenatal. De esta forma, la revisión cualitativa de la literatura desde una perspectiva incluyente (i.e., neurodiversa) y no patologizada, indica que la dislexia representa un fenotipo alternativo a la relativa norma fenotípica del cerebro humano. El individuo disléxico no solo despliega, como se ha hecho creer, un conjunto de características cognitivas divergentes que aparentemente dificultan, bajo las formas actuales de enseñanza y estructura social, la adquisición y ejecución de la lectura (situación que por cierto tiende a resolverse en menor o mayor grado a lo largo de la vida), sino que muestra habilidades sobresalientes relativas al procesamiento e integración de la información sensorial relacionada con la expresión creativa, que le facilitan fabricar una visión y concepción general del mundo en el que se desenvuelve. Todo esto basado en un correlato neural cuyo sustrato morfofuncional es ahora claro. Por consiguiente, constituye un sinsentido considerar a la dislexia como un déficit neurológico y, por antonomasia, un error señalar a la persona disléxica como anormal. Sus cerebros son diversos y ricos en posibilidades funcionales y operativas, por lo que sugerimos que la mejor manera de describir técnicamente su fenotipo es bajo el término de holodisnomia, término que

hace referencia a sus habilidades para procesar información de manera global dando origen a procesos cognitivo-conductuales que facilitan eficazmente su operación en el mundo, al tiempo que divergen de aquellas expresadas por el fenotipo normativo, sin olvidar que éste también es relativo y variable

Anexo A. Áreas cerebrales involucradas en lectura de acuerdo al modelo neurobiológico actualizado

ABREV.	ÁREA CEREBRAL	FUNCIONES
ACC	Cingulado Anterior	Región anterior: Suprimir la producción de palabras no intencionadas; región posterior: ejecución motora, suprimir actividad motora no intencionada (Price, 2012)
ANG	Circunvolución angular	Integración y predicción semántica (Price, 2012); memoria semántica; procesamiento semántico; mapeo de percepción visual (del estímulo escrito) a estructura fonológica (Damasio & Damasio, 1983)
Bg	Ganglios basales (estriado, globo pálido, sustancia nigra y núcleo subtalámico) Striatum (S)	Control motor para la selección y supresión de acciones (Krishnan et al., 2016); aprendizaje de secuencias de acciones o estímulos (Krishnan et al., 2016); modulación de representaciones de salidas articulatorias y fonológicas (Booth et al., 2007) Striatum (Putamen, núcleo caudado y núcleo accumbens): Optimización del comportamiento a través del tiempo (automatización) (Krishnan et al., 2016), Extracción de información secuencial de tipo auditivo-verbal (Krishnan et al., 2016); procesamiento fonológico en la adultez y durante el desarrollo de la lectura (McNorgan et al., 2011) región ventral: controla el comportamiento en respuesta a estímulos emocionales o motivacionales (Krishnan et al., 2016) Núcleo caudado: Mayor precisión para la detección de anomalías fonológicas (Tettamanti et al., 2005); detección de anomalías sintácticas (Moro et al., 2001); procesamiento fonológico y semántico (Abdullaev & Melnichuk, 1997), aprendizaje de procedimientos (secuenciación) (Krishnan et al., 2016) Putamen: Sincronización de salida motora (Price, 2012); Procesamiento fonológico más rápido (Tettamanti et al., 2005); iniciación cortical de representaciones corticales (Booth et al., 2007); Aprendizaje de procedimientos (secuenciación) (Krishnan et al., 2016)
C	Cerebelo	Planeación articulatoria silenciosa, recuperación de palabras para la producción del habla, sincronización de salida motora, sensibilidad a la sincronización de entradas auditivas y actividad motora (Price, 2012); ensamble fonológico, procesamiento léxico semántico, identificación de palabras (Vlachos et al., 2007); automatización para lectura fluida (Dehaene, 2014; Kershner, 2016), control viso-motor y fijación binocular (Stein, 2001; Stein, 2018); memoria de trabajo verbal; amplificación y refinamiento de representaciones fonológicas (Booth et al., 2007)
Cc	Cuerpo calloso	Procesamiento fonológico (Kershner, 2016)
CxE	Corteza Entorrinal	Memoria declarativa, aprendizaje (Krishnan et al., 2016)
CxPe	Corteza Perirrinal	Memoria declarativa, aprendizaje (Krishnan et al., 2016)
CxPh	Corteza parahipocampal	Memoria declarativa, aprendizaje (Krishnan et al., 2016)

FFG	Circunvolución Fusiforme	Reconocimiento de palabras y números. Identificación de categorías. Categorización semántica, recuperación de palabras, atención a relaciones semánticas, generación de palabras, procesamiento de letras (individuales), comprensión de metáforas, enlace entre la ortografía y la fonología (McCandliss et al., 2003).
FOP	Opérculo frontal	Retroalimentación de errores, control voluntario de emociones faciales, sintaxis del lenguaje (Friederichi, 2016); monitoreo del desempeño: seguimiento de retroalimentación conductual interna y externa (planeación de la conducta); memoria fonológica (corto plazo) (Fiez, 2016)
H	Hipocampo	Memoria verbal, habilidad para formar asociaciones (Temple et al., 2003); Memoria declarativa (Krishnan et al., 2016)
I	Ínsula	Control de la respiración durante la producción del habla (Price, 2012); memoria fonológica (Fiez, 2016); procesamiento auditivo central, procesamiento fonológico, planeación motora del habla, procesamiento temporal auditivo (sincronización) (Steinbrick et al., 2009), recibe proyecciones eferentes de las cortezas auditivas primarias, de asociación y post-auditivas. Se activa en tareas de detección de sonido, procesamiento temporal auditivo, procesamiento fonológico y participa en la planeación motora del habla (Uddin et al.,2017).
IFG	Circunvolución Frontal Inferior (pars Orbitalis, pars Triangularis & pars Opercularis)	Región crítica para la sintaxis y la articulación, comprensión de frases, procesamiento semántico y acceso a representaciones de salida fonológica (Poldrack et al., 1999; Turken & Dronkers, 2011); control motor inhibitorio (Swick et al., 2008); activación de códigos fonémicos (Turken & Dronkers, 2011) Conversión grafo-fonológica (Burton, 2001)
IPL	Lóbulo parietal inferior (smg & ANG)	Mecanismos generales de atención (Shaywitz & Shaywitz, 2008), participa en el cambio de atención de una letra a otra en la cadena que conforma la palabra (codificación serial), conversión grafo-fonémica (Jobard et al., 2003)
ITG	Circunvolución Temporal Inferior	Región anterior: asociaciones semánticas; región posterior: acceso semántico durante tareas de producción de palabras; vocabulario ortográfico (Price, 2012); procesamiento visual de las palabras (Temple et al., 2003)
LGN	Núcleo Geniculado Lateral	Procesamiento visual de la información (Squire et al., 2012) Sensibilidad al movimiento visual (Stein, 2001)
MFG	Circunvolución Frontal Medial	Recuperación de palabras para la producción del habla (Price, 2012); memoria de trabajo (Hampson et al., 2010).
MTG	Circunvolución Temporal Medial	Memoria verbal, región anterior: asociaciones semánticas, región posterior: acceso semántico (Price, 2012); memoria a largo plazo.
OCC	Lóbulo Occipital	Procesamiento visual (Price, 2012)
OT	Región Occipito-Temporal VWFA (Visual Word Form Area: Área de la forma visual de las palabras)	Vincular formas visuales al sistema semántico; Región anterior: acceso a la semántica de formas visuales; Región posterior: procesamiento visual temprano de formas de palabras o unidades más pequeñas; configuración espacial de símbolos escritos, procesamiento fonológico de palabras completas (Richlan, 2014), procesamiento ortográfico visual, reconocimiento de palabras (Price, 2012), conversión serial grafema-fonema. Se considera un nodo central para el procesamiento visual del lenguaje (Dehaene et al., 2005, 2015)
PFC	Corteza prefrontal	Control motor inhibitorio (Swick et al., 2008)

PM	Área Premotora	Dorsal: selección de acción general (no específica para articulación del habla) (Price, 2012) Ventral: planeación motora orofacial (recodificación articulatoria) (Price, 2012)
PoC	Circunvolución Postcentral	Corteza somatosensorial primaria, producción de los sonidos del habla (Price, 2012)
pOp	pars Opercularis	Procesamiento fonológico (Levitin & Menon, 2003); memoria a corto plazo; integración de entradas, significados y expectativas. Región dorsal: secuenciar actividad motora subsecuente; Región ventral: recodificación articulatoria (Price, 2012); memoria de trabajo (Hampson et al., 2010); memoria fonológica (Fiez, 2016); activación de códigos fonémicos (Turken & Dronkers, 2011)
pOrb	pars Orbitalis	Selección/Recuperación de conceptos/palabras semánticas (Price, 2012); sintaxis y fonología (Friederichi, 2016); memoria de trabajo (Hampson et al., 2010); memoria fonológica (Fiez, 2016)
PrC	Circunvolución Precentral	Memoria fonológica (Fiez, 2016), actividad motora orofacial (Price, 2012); dorsal: participa en la red de conversión fonológica, implicada en procesos articulatorios del lenguaje.
preSMA	Área anterior al Área Motora Suplementaria	Secuenciar planes motores (no específico de articulación) (Price, 2012)
pTri	pars Triangularis	Procesamiento fonológico (Levitin & Menon, 2003), decisiones semánticas/lectura semántica (Price, 2012); memoria de trabajo (Hampson et al., 2010), memoria fonológica (Fiez, 2016)
SFG	Circunvolución Frontal Superior	Selección de palabras/semántica dependiendo del contexto semántico (Price, 2012)
SMA	Área Motora Suplementaria	Secuenciar ejecución de movimientos motores (habla y dedos) (Price, 2012); activación de códigos fonémicos (Turken & Dronkers, 2011)
Smg	Circunvolución supramarginal	Circuito articulatorio/expectativas auditivas (Price, 2012); procesamiento fonológico (Richlan, 2014); memoria fonológica (Fiez, 2016)
STG	Circunvolución Temporal Superior	Sintaxis (Friederichi, 2016) Región anterior: procesamiento auditivo temprano de sonidos complejos (Price, 2012); Región ventral: procesamiento auditivo/ recuperación de palabras con semántica mínima, procesamiento fonológico explícito, mapeo de símbolos escritos y palabras, integración auditiva-visual (sonidos-letras) Responde a estímulo auditivo unimodal o procesamiento bimodal audiovisual. (Pugh et al., 1996), imaginería auditiva (Price, 2012) memoria fonológica (Fiez, 2016)
STS	Surco Temporal Superior	Región anterior: asociaciones semánticas; región posterior: integración de sonidos familiares, articulación y significado; memoria fonológica (Fiez, 2016) Integración de semántica con fonología (Seghier et al., 2012)
Th	Tálamo	Monitor central de actividades corticales específicas del lenguaje: control y adaptación de conectividad cortical (Klostermann et al., 2013)
TP	Región Temporo-Parietal	Procesamiento acústico, imaginería auditiva, expectativas auditivas (Price, 2012) Procesamiento fonológico, ortografía, conocimiento fonológico (Temple et al., 2003); memoria a corto plazo (memoria de trabajo).
TPJ	Unión Temporo-Parietal	Memoria auditiva de corto plazo, recuperación de palabras con semántica mínima (Price, 2012)

Bibliografía

Abdullaev, Y. G., & Melnichuk, K. V. (1997). Cognitive operations in the human caudate nucleus. *Neuroscience Letters*, 151-155.

Adolph, E. F. (2013). *Origins of physiological regulations.* Academic Press.

Alexander-Passe, N. (2006). How dyslexic teenagers cope: An investigation of self-esteem, coping and depression. Dyslexia, 12(4), 256–275.

American Psychiatric Association (APA). (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th Edition ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.

Bach, S., Brandeis, D., Hofstetter, C., Martin, E., Richardson, U., & Brem, S. (2010). Early emergence of deviant frontal fMRI activity for phonological processes in poor beginning readers. *NeuroImage*, 53(2), 682–693.

Barbiero, C., Lonciari, I., Montico, M., Monasta, L., Penge, R., Vio, C., … Ronfani, L. (2012). The Submerged Dyslexia Iceberg: How Many School Children Are Not Diagnosed? Results from an Italian Study. *PLoS ONE*, 7(10).

Beaulieu, C., Plewes, C., Paulson, L. A., Roy, D., Snook, L., Concha, L., & Phillips, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *NeuroImage*, 25(4), 1266–1271.

Bigozzi, L., Tarchi, C., Pinto, G., & Donfrancesco, R. (2016). Divergent Thinking in Italian Students with and Without Reading Impairments. *International Journal of Disability, Development and Education*, 63(4), 450–466.

Booth, J. R., Wood, L., Lu, D., Houk, J. C., & Bitan, T. (2007). The role of the basal ganglia and cerebellum in language processing. *Brain Res.*, 136-144.

Brown, W. E., Eliez, S., Menon, V., Rumsey, J. M., White, C. D., & Reiss, A. L. (2001). Preliminary evidence of widespread morphological variations of the brain in dyslexia. *Neurology*, 56(6), 781–783.

Burton, M. W. (2001). The role of inferior frontal cortex in phonological processing. *Cognitive Science*, 25(5), 695–709.

Carroll, J. M., & Iles, J. E. (2006). An assessment of anxiety levels in dyslexic students in higher education. *British Journal of Educational Psychology*, 76(3), 651–662.

Carroll, J. M., Maughan, B., Goodman, R., & Meltzer, H. (2005). Literacy difficulties and psychiatric disorders: Evidence for comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(5), 524–532.

Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental. *Science*, 47, 149–180.

Chakravarty, A. (2009). Artistic talent in dyslexia-A hypothesis. *Medical Hypotheses*, 73(4), 569–571.

Chinn, S. J., & Crossman, M. (1995). Stress factors in the adolescent. *Dyslexia and stress*, 49-54.

Cockcroft, K., & Hartgill, M. (2004). Focusing on the abilities in learning disabilities: dyslexia and creativity. *Education as Change*, 61-79.

Cohn, R., & Neumann, M. A. (1997). Artistic production in dyslexic children . *Neurol. Neurocir. Psiquiatr.*, 65-69.

Cooper, R. (2009). Neurodiversity and Dyslexia: Compensatory strategies, or different approaches?

Damasio, A. R., & Damasio, H. (1983). The anatomic basis of pure alexia. *Neurology*, 1573-1573.

Dehaene, S. (2014). Reading in the brain revised and extended: response to comments. *Mind & Language*, 320-335.

Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in cognitive sciences*, 335-341.

Deutsch, G. K., Dougherty, R. F., Bammer, R., Siok, W. T., Gabrieli, J. D., & Wandell, B. (2005). Children's reading performance is correlated with white matter structure measured by Diffusion Tensor Imaging. *Cortex*, 354-363.

Diehl, J. J., Frost, S. J., Sherman, G., Mencl, W. E., Kurian, A., Molfese, P., … Pugh, K. R. (2014). Neural correlates of language and non-language visuospatial processing in adolescents with reading disability. *NeuroImage*, 101, 653–666.

Drake, W. E. (1968). Clinical and Pathological Findings in a Child with a Developmental Learning Disability. *Journal of Learning Disabilities*, 1(9), 486–502.

Eckert, M. A., Berninger, V. W., Vaden, K. I., Gebregziabher, M., & Tsu, L. (2016). Gray Matter Features of Reading Disability: A Combined Meta-Analytic and Direct Analysis Approach. *ENeuro*, 3(1).

Eide, B., & Eide, F. (2012). *The dyslexic advantage: Unlocking the hidden potential of the dyslexic brain.* Penguin.

Eidelberg, D., & Galaburda, A. M. (1982). Symmetry and Asymmetry in the Human Posterior Thalamus. *Archives of Neurology*, 39(6), 325.

Fiez, J. A. (2016). Neural Basis of Phonological Short-Term Memory. *Neurobiology of Language*, 855–862.

Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature*, 626-628.

Friederici, A. D. (2016). The Neuroanatomical Pathway Model of Language. *Neurobiology of Language*, 349–356.

Friederici, A. D., & Gierhan, S. M. E. (2013). The language network. Current Opinion in *Neurobiology*, 23(2), 250–254.

Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(17), 8010–8013.

Galaburda, A., & Livingstone, M. (1993). Evidence for a Magnocellular Defect in Developmental Dyslexia. *Annals New York Academy of Sciences*, 70-82.

Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental Dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomaly. *Annals of Neurology*, 18(2), 222–223.

Galaburda A.M., K. T. L. (1979). Cytoarchitectonic abnormalities in dyslexia. *Annals of Neurology*, (6), 94–100.

Geiger, G., & Lettvin, J. Y. (1987). Peripheral Vision in Persons with Dyslexia. *New England Journal of Medicine*, 1238-1243.

Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Research*.

Goswami, U. (2000). Phonological Representations, Reading Development and Dyslexia: Towards a Cross-Lunguistic Theoretical Framework. *Dyslexia*, 133-151.

Guttorm, T. K., Leppänen, P. H., Poikkeus, A. M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 291-303.

Habib, M., & Giraud, K. (2013). Dyslexia. En Dulac, M. Lassonde, & H. B. Sarnat, *Handbook of Clinical Neurology* (págs. 229-235). Marseilles: Elsevier.

Hahn, N., Foxe, J. J., & Molholm, S. (2014). Neuroscience and Biobehavioral Reviews Impairments of multisensory integration and cross-sensory learning as pathways to dyslexia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 47, 384–392.

Hampson, M., Driesen, N., Roth, J. K., Gore, J. C., & Constable, R. T. (2010). Functional connectivity between task-positive and task-negative brain areas and its relation to working memory performance. *Magnetic Resonance Imaging*, 28(8), 1051–1057.

Hancock, R., Richlan, F., & Hoeft, F. (2017). Possible roles for fronto-striatal circuits in reading disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 72, 243–260.

Hedenius, M., Persson, J., Alm, P. A., Ullman, M. T., Howard, J. H., Howard, D. V., & Jennische, M. (2013). Impaired implicit sequence learning in children with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 34(11), 3924–3935.

Heilman, K. M., & Acosta, L. M. (2013). Visual artistic creativity and the brain. *Progress in brain research*, 19-43.

Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1–2), 67–99.

Hoeft, F., Meyler, A., Hernandez, A., Juel, C., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., … Gabrieli, J. D. E. (2007). Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading ability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(10), 4234–4239.

Howard, J. H., Howard, D. V., Japikse, K. C., & Eden, G. F. (2006). Dyslexics are impaired on implicit higher-order sequence learning, but not on implicit spatial context learning. *Neuropsychologia*, 44(7), 1131–1144.

Humphreys, P., Kaufmann, W. E., & Galaburda, A. M., (1990). Developmental dyslexia in women: neuropathological findings in three patients. *Annals of Neurology*, 28(6), 727–738.

Ingvar, M., Af Trampe, P., Greitz, T., Eriksson, L., Stone-Elander, S., & Von Euler, C. (2002). Residual differences in language processing in compensated dyslexics revealed in simple word reading tasks. *Brain and Language*, 83(2), 249–267.

Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: A meta-analysis of 35 neuroimaging studies. *NeuroImage*, 20(2), 693–712. https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00343-4

Kapur, N. (1996). Paradoxical functional facilitation in brain-behavior research. A critical review. *Brain*, 1775-1790.

Károlyi, C., & Winner, E. (2004). Dyslexia and visual spatial talents: Are they connected? *Students with both gifts and learning disabilities*, 95-117.

Kellmeyer, P., Ziegler, W., Peschke, C., Juliane, E., Schnell, S., Baumgaertner, A., … Saur, D. (2013). Fronto-parietal dorsal and ventral pathways in the context of different linguistic manipulations. *Brain and Language*, 127(2), 241–250.

Kere, J. (2014). The molecular genetics and neurobiology of developmental dyslexia as model of a complex phenotype. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 452(2), 236–243.

Kershner, J. R. (2016). Network dynamics in dyslexia: Review and implications for remediation. *Research in Developmental Disabilities*, 24-34.

Kiziewicz, M., & Biggs, I. (2007). CASCADE - Creativity across science, art, dyslexia, education. CASCADE Creativity across Science Art Dyslexia and Education.

Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D.., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of Temporo-Parietal White Matter as a Basis for Reading Ability. *Neuron*, 25(2), 493–500.

Klostermann, F., Krugel, L. K., & Ehlen, F. (2013). Functional roles of the thalamus for language capacities. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7(July), 1–8.

Krishnan, S., Watkins, K. E., & Bishop, D. V. M. (2016). Neurobiological Basis of Language Learning Difficulties. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 701–714.

Kronbichler, M., Hutzler, F., Staffen, W., Mair, A., Ladurner, G., & Wimmer, H. (2006). Evidence for a dysfunction of left posterior reading areas in German dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 44(10), 1822–1832.

LeMay, M. (1976). Morphological cerebral asymmetries of modern man, fossil man, and nonhuman primates. *Ann NY Acad Sci*, 349-366.

Levitin, D. J., & Menon, V. (2003). Musical structure is processed in "language" areas of the brain: A possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage*, 20(4), 2142–2152.

Lindsay, G., & Dockrell, J. (2000). The behaviour and self-esteem of children with specific speech and language difficulties. *British Journal of Educational Psychology*, 70(4), 583–601.

Linkersdörfer, J., Lonnemann, J., Lindberg, S., Hasselhorn, M., & Fiebach, C. J. (2012). Grey matter alterations co-localize with functional abnormalities in developmental dyslexia: An ALE meta-analysis. *PLoS ONE*, 7(8).

Lozano, A., Ramírez, M., & Ostrosky-Solis, F. (2003). The neurobiology of developmental dyslexia: a survey. *Revista de neurología*, 1077-1082.

Maisog, J. M., Einbinder, E. R., Flowers, D. L., Turkeltaub, P. E., & Eden, G. F. (2008). A meta-analysis of functional neuroimaging studies of dyslexia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1145, 237–259.

Martínez-Méndez, R., Martínez-Martínez, E., Villafán-Monroy, H., Guzmán-López, J. A., Fuentes-Farías, A. L., Romo-González, T., … Gutierrez-Ospina, G. (2013). 4. Body and brain plasticity: Unraveling its principles through blindness. *Research Signpost India Recent Res. Devel. Neurosci*, 37661(4), 89–107.

Maughan, B., & Carroll, J. (2006). Literacy and mental disorders. [Miscellaneous]. *Current Opinion in Psychiatry* July 2006;19(4):350-354, (4), 350–354.

McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 293–299.

McNorgan, C., Alvarez, A., Bhullar, A., Gayda, J., & Booth, J. R. (2011). Prediction of reading skill several years later depends on age and brain region: Implications for developmental models of reading. *J Neurosci*, 9641-9648.

Meyler, A., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Gabrieli, J. D., & Just, M. A. (2008). Modifying the Brain Activation of Poor Readers during Sentence Comprehension with Extended Remedial Instruction: A Longitudinal Study of Neuroplasticity. *Neuropsychologia*, 2580-2592.

Moro, A., Tettamanti, M., Perani, D., Donati, C., Cappa, S. F., & Fazio, F. (2001). Syntax and the brain: Disentangling grammar by selective anomalies. *Neuroimage*, 110-118.

Niogi, S. N., & McCandliss, B. D. (2006). Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability. *Neuropsychologia*, 44(11), 2178–2188.

Olagboyega, K. W. (2008). The effects of dyslexia on language acquisition and development. *Scientific and Technical Reports of Faculty of Engineering and Resourse Science, Akita University*, 23-27.

Paulesu, E, Demonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., … Frith, U. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*, 291, 2165–2168.

Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 342-345.

Pearson, R. (2017). *Dislexia: una forma diferente de leer.* Buenos Aires: Paidós.

Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413.

Perrachione, T. K., Del Tufo, S. N., & Gabrieli, J. D. E. (2011). Human voice recognition depends on language ability. *Science*, 333(6042), 595.

Perrone-Bertolotti, M., Kauffmann, L., Pichat, C., Vidal, J. R., & Baciu, M. (2017). Effective Connectivity between Ventral Occipito-Temporal and Ventral Inferior Frontal Cortex during Lexico-Semantic Processing. A Dynamic Causal Modeling Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11(June), 1–13.

Peterson, R. L., Pennington, B. F., Olson, R. K., & Wadsworth, S. (2014). Longitudinal Stability of Phonological and Surface Subtypes of Developmental Dyslexia. *Sci Stud Read.*, 347-362.

Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Seminar: Developmental Dyslexia. *National Institute of Health*, 379(9830), 1997–2007.

Poldrack, R. A., Wagner, A. D., Prull, M. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1999). Functional Specialization for Semantic and Phonological Processing in the Left Inferior Prefrontal Cortex. *Neuroimage*, 15-35.

Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816–847.

Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., . . . Shaywitz, B. A. (2000). Functional Neuroimaging Studies of Reading and Reading Disability (Developmental Dyslexia). *Research Reviews*, 207-213.

Rack, L. (1981). Developmental dyslexia and literary creativity: Creativity in the area of deficit. *Journal of Learning Disabilities*, 14(5), 262–263.

Ramus, F., Altarelli, I., Jednoróg, K., Zhao, J., & Scotto di Covella, L. (2018). Neuroanatomy of developmental dyslexia: Pitfalls and promise. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 84(August 2017), 434–452.

Rawson, M. B. (1978). Dyslexia and learning dissabilities: Their relationship. *Bulletin of The Orton Society*, 43-61.

Richlan, F. (2014). Functional neuroanatomy of developmental dyslexia: the role of orthographic depth. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(May), 1–13.

Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2009). Functional abnormalities in the dyslexic brain: A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 30(10), 3299–3308.

Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2011). Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *NeuroImage*, 56(3), 1735–1742.

Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2013). Structural abnormalities in the dyslexic brain: A meta-analysis of voxel-based morphometry studies. *Human Brain Mapping*, 34(11), 3055–3065.

Riddick, B., Sterling, C., Farmer, M., & Morgan, S. (1999). Self-esteem and anxiety in the educational histories of adult dyslexic students. *Dyslexia*, 5(4), 227–248.

Saur, D., Kreher, B. W., Schnell, S., Kummerer, D., Kellmeyer, P., Vry, M.-S., … Weiller, C. (2008). Ventral and dorsal pathways for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(46), 18035–18040.

Schneps, M. H. (2015). The advantages of dyslexia. *Scientific American Mind*, 24-25.

Schneps, M. H., Brockmole, J. R., Rose, L. T., Pomplun, M., Sonnert, G., & Greenhill, L. J. (2011). Dyslexia linked to visual strengths useful in astronomy. *Bulletin of the American Astronomical Society*.

Schneps, M. H., Rose, L. T., & Fischer, K. W. (2007). Visual Learning and the Brain: Implications for Dyslexia. *Mind, Brain, and Education*, 1(3), 128–139.

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., Fulbright, R. K., Studlarski, P., & Gore, J. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *BiologicalPsychiatry*, 101-110.

Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2008). Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1329–1349.

Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., . . . Gore, J. C. (2003). Neural Systems for Compensation and Persistence: Young Adult Outcome of Childhood Reading Disability. *Society of Biological Psychiatry*, 25-33.

Shaywitz, S., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *The New England Journal of Medicine*, 145-150.

Silani, G., Frith, U., Demonet, J. F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., … Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: A voxel based morphometry study. *Brain*, 128(10), 2453–2461.

Simos, P. G., Fletcher, J. M., Sarkari, S., Billingsley, R. L., Denton, C., & Papanicolaou, A. C. (2007). Altering the Brain Circuits for Reading Through Intervention: A Magnetic Source Imaging Study. *Neuropsychology*, 21(4), 485–496.

Squire, L., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2012). *Fundamental neuroscience.* Academic Press.

Stein, J. (2001). The Magnocellular Theory of Developmental Dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12–36.

Stein, J. (2018). Author's Accepted Manuscript Developmental dyslexia. *Neuropsychologia*.

Steinbrink, C., Ackermann, H., Lachmann, T., & Riecker, A. (2009). Contribution of the anterior insula to temporal auditory processing deficits in developmental dyslexia. *Human Brain Mapping*, 30(8), 2401–2411.

Swanson, H. (1984). Semantic and visual memory codes in learning disabled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 124-140.

Swick, D., Ashley, V., & Turken, A. U. (2008). Left inferior frontal gyrus is critical for response inhibition. *BMC Neuroscience*, 9, 1–11.

Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), 2860–2865.

Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, S., & Scifo, P. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 273-281.

Turken, A. U., & Dronkers, N. F. (2011). The Neural Architecture of the Language Comprehension Network: Converging Evidence from Lesion and Connectivity Analyses. *Frontiers in System Neuroscience*, 5(February), 1–20.

Uddin, L. Q., Nomi, J. S., Hebert-Seropian, B., Ghaziri, J., & Boucher, O. (2017). Structure and function of the human insula. *J Clin Neurophysiol.*, 300-306.

Vandermosten, M., Boets, B., Poelmans, H., Sunaert, S., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2012). A tractography study in dyslexia: Neuroanatomic correlates of orthographic, phonological and speech processing. *Brain*, 135(3), 935–948.

Vlachos, F., Papathanasiou, I., & Andreou, G. (2007). Cerebellum and reading. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 59(4), 177–183.

Von, K. C. (2001). Visual-spatial strength in dyslexia: Rapid discrimination of impossible figures. *Journal of Learning Disabilities*, 34(4), 380–391.

Von Károlyi, C., Winner, E., Gray, W., & Sherman, G. F. (2003). Dyslexia linked to talent: Global visual-spatial ability. *Brain and Language*, 85(3), 427–431.

Watkins, N., K.e, Vargha-khadem, F., Ashburner, J., Passinham, R., Connelly, A., … Gadian, D. (2002). MRI analysis of an inherited speech and language disorder: Structural brain abnormalities. *Brain*, 125, 465–478.

Wimmer, H., & Schurz, M. (2010). Dyslexia in Regular Orthographies: Manifestation and Causation. *Dyslexia*, 283-299.

Wimmer, H., Schurz, M., Sturm, D., Richlan, F., Klackl, J., Kronbichler, M., & Ladurner, G. (2010). A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: An fMRI study. *Cortex*, 46(10), 1284–1298.

Yeatman, J. D., Dougherty, R. F., Ben-Shachar, M., & Wandell, B. A. (2012). Develooment of white matter and reading skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 1-9.

Zakopoulou, V., Anagnostopoulou, A., Christodoulides, P., Stavrou, L., Sarri, I., Mavreas, V., & Tzoufi, M. (2011). An interpretative model of early indicators of specific developmental dyslexia in preschool age: A comparative presentation of three studies in Greece. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 3003–3016.

Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Gasperini, F., Judica, A., & Spinelli, D. (2005). Word length effect in early reading and in developmental dyslexia. *Brain and Language*, 93(3), 369–373.