



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

TESI DOCTORAL

**CANVIS COGNITIUS I CEREBRALS ASSOCIATS A UNA
INTERVENCIÓ FONOLÒGICA INTENSIVA EN ALUMNES AMB
DIFICULTATS LECTORES**

Susanna Forné González

Memòria presentada per optar al grau de Doctor per la Universitat Autònoma de
Barcelona

Programa de doctorat en Psiquiatria

Directors

Dra. Anna López Sala

Dr. Josep Maria Serra Grabulosa

Tutor

Dr. Óscar Vilarroya Oliver

2020

La Dra. Anna López Sala, neuropsicòloga infantil de l'Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona i el Dr. Josep Maria Serra Grabulosa, professor titular de la Universitat de Barcelona,

Declaren que,

Com a directors han supervisat la tesi doctoral titulada *Canvis cognitius i cerebrals associats a una intervenció fonològica intensiva en alumnes amb dificultats lectores* realitzada i presentada per na Susanna Forné González. Tanmateix, certifiquen que aquesta tesi doctoral compleix els requisits acadèmics i científics necessaris per ser defensada per a l'obtenció del grau de Doctora.



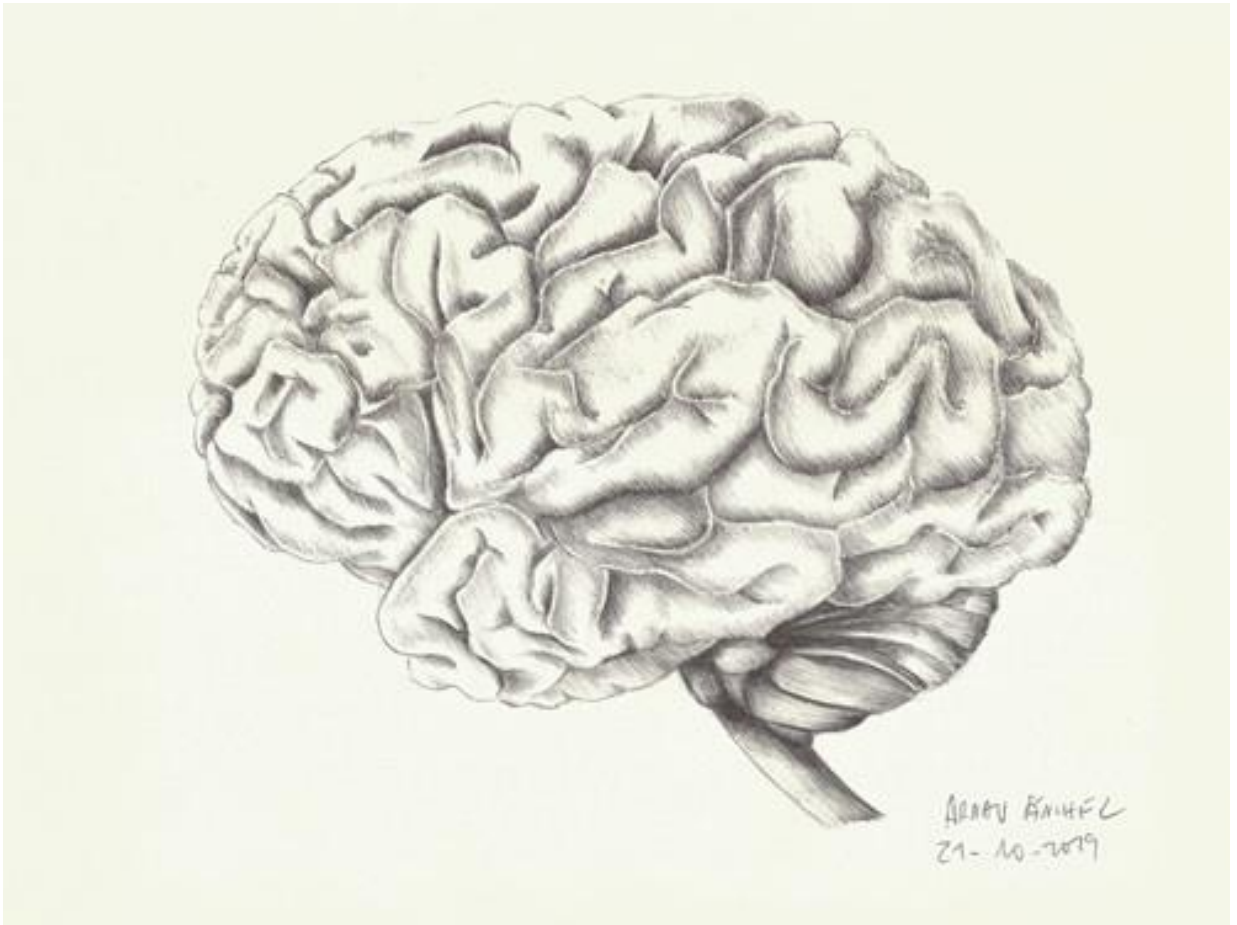
Dra. Anna López Sala



Dr. Josep Maria Serra Grabulosa

Barcelona a 17 de juliol de 2020

Aquesta tesi s'ha desenvolupat en el marc del projecte PSI2013-47216-P, subvencionat pel Ministerio Español de Economía, Industria y Competitividad.



I vet aquí que un dia vaig aprendre a llegir...

Als meus pares.
Malgrat l'absència, us sento molt a prop

Als meus fills,
el millor regal que m'ha fet la vida

I a tu, David,
per acompanyar-me, recolzar-me i estimar-me tant

Agraïments

Amb aquestes línies tanco un projecte molt engrescador que vaig començar el curs 2013-2014. Sincerament, fins fa poc, em resultava llunyà i en moments inassolible arribar on estic ara però, amb constància, esforç i un “tot ho farem”, he seguit caminant i avançant fins aquí.

Ara, és el moment d'agrair, en majúscules, a molta i molta gent, grans i petits, que han i heu fet possible aquesta tesi, per creure-hi, per caminar al meu costat, acompanyant-me, ensenyant-me i ajudant-me i, sobretot, per tenir tanta paciència, especialment en aquells moments, en què la vida ens obliga a aturar-nos i refer-nos del dolor que ens envaeix per la mort d'un pare i d'una mare.

El primer agraïment i un dels més importants és per a ells, per als meus pares, l'Andreu i la Mari, per estimar-me, per confiar i il·lusionar-se amb mi, per ensenyar-me que amb l'esforç i la perseverança som imparables i que la força interior mou muntanyes. I ara, més que mai, per mostrar-me el que és realment important a la vida i donar-me llum i força per no defallir.

De manera especial agraeixo als meus directors, la Dra. Anna López Sala i al Dr. Josep Maria Serra Grabulosa, per acceptar, des del primer moment, el repte de codirigir aquesta tesi i fer possible que la recerca es pogués fer a la Seu.

Anna, a tu, agrair-te el rigor professional, les teves aportacions i enorme capacitat de treball, el teu temps i la presència, quan el dolor i el neguit no em deixaven seguir. Gràcies per fer-me sentir la teva estima. Ens continuarem trobant en el camí.

Pep, vull posar en valor el teu coneixement i bagatge en la recerca, la teva gran capacitat pedagògica, el teu temps i flexibilitat en moments que van requerir virar per continuar.

Gràcies a tots dos per acompanyar-me en aquest projecte, per la vostra paciència, dedicació i suport per seguir endavant.

Al meu tutor, el Dr. Oscar Vilarroya, pels missatges d'ànims i esperit constructiu.

A les famílies i als infants que, voluntàriament, hi han participat. A tots ells, infinitament agraïda per fer possible que aquesta recerca es fes a casa nostra.

A nivell institucional destacar la col·laboració de l'Ajuntament de la Seu, la Fundació Sant Hospital, Pediatria dels Pirineus i totes les escoles de la ciutat; Mn. Albert Vives, la Valira, Pau Claris, la Salle i Castellciutat. Gràcies a l'àrea d'inspecció per creure en el projecte i a la implicació de tots els equips directius i mestres de primer cicle de totes les escoles.

A les tres professionals que van aplicar el programa d'entrenament als alumnes amb dificultats lectores, la Mercè Sancho, la Christina Moreno i la Núria Fontova. Gràcies a totes tres per, sense dubtar-ho, implicar-vos activament en el projecte i fer-lo realitat.

Al Dr. Josep Maria Sopena, per obrir-nos les portes de Binding.

Al Dr. Oliver Valero per la teva dedicació en les anàlisis estadístiques i resoldre la gran quantitat de dubtes que em van anar sorgint.

A l'Anna Vives, per la revisió i la correcció d'aquesta tesi.

A l'Arnau Sánchez, per fer del dibuix el teu món i deixar-me'l compartir.

Al meu germà, en record a la teva essència, i perquè he après altres formes d'estimar-te.

A tota la meva família i en especial a la iaia Cuto, per ajudar-me tant i tant, per la teva discreció, suport incondicional i gran estima.

A les meves amistats i a la meva estimada Colla, per recolzar-me i respectar el temps no compartit, sabeu que hi sou i us tinc molt presents a tots i totes. I, a tu, Txentxo, gràcies per la traducció, la maquetació i la correcció dels "enters orfes", què hagués estat d'ells sense tu!

A les meves companyes i companys de feina i de l'equip de SAINÉ. A totes i tots, gràcies per ser-hi, per acompanyar-me i formar part del meu viatge, i en especial

a la Sandra. Seguim compartint i fent camí plegades... fins i tot amb les tesis!!
Gràcies per tant!

Al David i als meus tresors, l'Ot i el Ian. Per tenir tantíssima paciència i comprensió, per respectar-me, per il·lusionar-vos amb el que us explicava, per fer que l'esforç hagi valgut la pena i perquè, tal com dius tu, Ot, "esforçant-te una miqueta més, aviat hauràs acabat". Per fer-ho tot tan fàcil, per ensenyar-me cada dia i impregnar-me amb la vostra essència. Us estimo!

Finalment, a totes les persones, grans i petites, que han caminat i caminen al meu costat cada dia, de les que aprenc i em fan millor persona, gràcies per ajudar-me i fer que aquesta tesi sigui una realitat!

Índex

Índex de taules	xvii
Índex de figures	xviii
Índex de gràfics	xviii
Glossari d'abreviatures	xix
Resum	xxiii
1. Introducció	3
1.1. El cervell i l'aprenentatge de la lectura	4
1.2. Les bases neurals de la lectura	9
1.3. El reconeixement de paraules a través del model de doble ruta	12
1.4. Etapes en el desenvolupament de la lectura	14
1.5. Les dificultats lectores: la dislèxia	17
1.5.1. Perspectiva històrica	18
1.5.2. Definició	20
1.5.3. Prevalença	21
1.5.4. Factors predictors de les dificultats lectores	22
1.5.5. Subtipus de dislèxia	27
1.5.6. Explicacions de la dislèxia des del model integrador	29
1.5.6.1. Nivell biològic	30
1.5.6.1.1. Bases genètiques	30
1.5.6.1.2. Bases cerebrals	31
1.5.6.1.2.1. Alteracions estructurals	32
1.5.6.1.2.2. Alteracions funcionals	40
1.5.6.2. Nivell cognitiu	42
1.5.6.3. Nivell conductual	49
1.6. Plasticitat cerebral	51
1.7. Intervenció de les dificultats lectores	53
1.7.1. Efectes cognitius	54
1.7.2. Efectes cerebrals	59
2. Objectius i hipòtesis	65
2.1. Objectius	65
2.2. Hipòtesis	65

3. Metodologia	70
3.1. Disseny de l'estudi	70
3.2. Participants	70
3.3. Ètica i qualitat	72
3.4. Procediment	73
3.4.1. Instruments	75
3.4.1.1. Estudi cognitiu	75
3.4.2. Descripció del programa d'entrenament intensiu	78
3.4.3. Descripció del programa d'entrenament ordinari a l'escola	80
3.5. Anàlisi estadística	81
3.6. Neuroimatge	82
3.6.1. Adquisició	82
3.6.2. Segmentació de macroestructures i estructures subcorticals	83
3.6.3. Segmentació de l'escorça cerebral	85
4. Resultats	89
4.1. Descripció de la mostra	89
4.2. Perfil neuropsicològic dels participants de cadascun dels grups previ a la intervenció	90
4.3. Identificació de les variables predictores de les dificultats lectores	93
4.4. Efectes de l'entrenament fonològic intensiu en el rendiment lector i en les habilitats fonològiques implícites intragrup	96
4.5. Efectes de l'entrenament fonològic intensiu en el rendiment lector entregrups	99
4.6. Identificació de variables predictores de l'èxit de la reeducació	102
4.7. Anàlisi de clústers	104
4.8. Resultats de volumetria cerebral	110
5. Discussió	124
5.1. Aplicabilitat i implicacions derivades de l'estudi	141
5.2. Limitacions	143
5.3. Verificació d'hipòtesis	144

6. Conclusions finals	149
7. Bibliografia	154
8. Annex	215
8.1. Annex 1. Autorització del Comitè d'Ètica	215
8.2. Annex 2. Full d'informació de l'estudi per a les famílies	216
8.3. Annex 3. Consentiment informat i autorització	217
8.4. Annex 4. Publicació en revisió associada a la tesi	220

Índex de taules

Taula 1. Classificació de les llengües en funció de la transparència ortogràfica i la complexitat sil·làbica	8
Taula 2. Descripció dels subtipus de dislèxia	28
Taula 3. Dominis cognitius, habilitats acadèmiques i proves utilitzades en l'estudi	75
Taula 4. Característiques demogràfiques de la mostra	90
Taula 5. Rendiment neuropsicològic pre intervenció en els tres grups d'estudi	92
Taula 6. Anàlisi discriminant	95
Taula 7. Rendiment lector de cada grup abans i després de la intervenció	97
Taula 8. Rendiment dels processos fonològics implícits de cada grup pre i post intervenció	98
Taula 9. Rendiment lector entre grups d'intervenció i el grup control en les proves de lectura i ortografia després de la reeducació	100
Taula 10. Mides de l'efecte entre grups d'intervenció i el grup de control en les proves de lectura	101
Taula 11. Variables predictores del grau de millora segons el grup de tractament	104
Taula 12. Rendiment dels tres clústers en les proves de lectura i ortografia abans i després de la intervenció	107
Taula 13. Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup C abans i després de la intervenció	111
Taula 14. Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup DLEI abans i després de la intervenció	113
Taula 15. Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals entre el grup C i el grup DLEI abans i després de la intervenció	115
Taula 16. Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral entre grups abans de la intervenció	116
Taula 17. Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral entre grups després de la intervenció	117

Taula 18. Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral abans i després de la intervenció de cada grup	119
Taula 19. Anàlisi de correlacions entre les variables neuropsicològiques i de volumetria posteriors a la intervenció en el grup DLEI	120

Índex de figures

Figura 1. Circuit lector proposat per Shaywitz	10
Figura 2. Xarxes corticals que intervenen en la lectura	12
Figura 3. Model de doble ruta en casada	14
Figura 4. Model per etapes en l'aprenentatge de la lectura	15
Figura 5. Adaptació gràfica del model causal de la dislèxia	30
Figura 6. Les vies de matèria blanca que formen el circuit de lectura	38
Figura 7. Diferències en l'activació cerebral en la dislèxia abans i després de la reeducació	60
Figura 8. Diagrama de la mostra	72
Figura 9. Imatge d'una cursa de lectura amb el mètode Binding	80
Figura 10. Imatge de parcel·lació amb el programa volBrain	84-85
Figura 11. Imatge de parcel·lació amb el programa GIF	85
Figura 12. Imatge durant la fase de parcel·lació amb el sistema volBrain	110
Figura 13. Segmentació de la SG en el grup DLEI amb el sistema volBrain	112
Figura 14. Segmentació de la SB en el grup DLEI amb el sistema volBrain	112

Índex de gràfics

Gràfic 1. Classificació dels grups segons les variables Can 1 i Can 2	94
Gràfic 2. Rendiment lector de cada grup posterior a la reeducació	102
Gràfic 3. Grau de millora segons el grup d'intervenció	103
Gràfic 4. Distribució de la variable gènere segons els tres clústers	105
Gràfic 5. Distribució de la variable curs segons els tres clústers	106
Gràfic 6. Perfils lectors	109

Glossari d'abreviatures

C	Grup de control
CC	Cos callós
CF	Consciència fonològica
DLEI	Grup amb dificultats lectores sotmès a un entrenament intensiu
DLEO	Grup amb dificultats lectores sotmès a un entrenament ordinari
DTI	Imatge amb tensor de difusió (de l'anglès, <i>diffusion tensor imaging</i>)
DZ	Bessons dizigòtics
FA	Fascicle arquejat
F-G	Fonema-grafema
FFOI	Fascicle frontooccipital inferior
fMRI	Ressonància magnètica funcional (de l'anglès, <i>functional magnetic resonance imaging</i>)
G-F	Grafema-fonema
GIF	Fluxos d'informació geodèsica (de l'anglès, <i>Geodesic Information Flows</i>)
GTS	Gir temporal superior
GF	Gir fusiforme
HD	Hemisferi dret
HE	Hemisferi esquerre
IRM	Imatge per ressonància magnètica
LCR	Líquid cefaloraquidi
LEC	Llei d'educació de Catalunya
MZ	Bessons monozigòtics
NGL	Nucli geniculat lateral
NPS	Neuropsicològica
NRP	Panell nacional de lectura (de l'anglès, <i>National Reading Panel</i>)
PET	Tomografia per emissió de positrons (de l'anglès, <i>positron emission tomography</i>)
QI	Quocient intel·lectual
RAN	Denominació ràpida (de l'anglès, <i>rapid automatized naming</i>)

RM	Ressonància magnètica
Rtl	Resposta a la intervenció (de l'anglès, <i>response to intervention</i>)
rsfMRI	Activitat funcional cerebral en estat de repòs (de l'anglès, <i>resting-state functional magnetic resonance imaging</i>)
SB	Substància blanca
SG	Substància grisa
SPECT	Tomografia per emissió de fotó únic (de l'anglès, <i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>)
STS	Solc temporal superior
TDAH	Trastorn per dèficit d'atenció/ hiperactivitat
V5	Àrea visual
VCT	Volum cerebral total
VBM	Anàlisi basat en vòxel (de l'anglès, <i>voxel-based morphometry</i>)
VMG	Volum de matèria grisa
VMB	Volum de matèria blanca
VIT	Volum intracranial total
VWFA	Zona visual de les paraules (de l'anglès, <i>visual word form area</i>)

Resums

Resum

Introducció: la dislèxia és el trastorn de l'aprenentatge més freqüent en la població infantil amb repercussions importants en el desenvolupament acadèmic, social i emocional dels infants que la pateixen. En els darrers anys s'ha fet un gran esforç per identificar quins són els factors de risc de les dificultats lectores i desenvolupar noves metodologies per ajudar als infants a superar-les. S'ha demostrat que la intervenció primerenca té més èxit que la tardana i que els programes d'entrenament intensiu poden beneficiar els nens i les nenes amb dificultats de lectura.

Objectiu: avaluar els canvis cognitius i cerebrals associats a l'aplicació d'un programa intensiu d'entrenament fonològic informatitzat per millorar el rendiment lector en infants de primer cicle d'educació primària amb dificultats lectores.

Metodologia: trenta-dos nens i nenes amb dificultats de lectura es van assignar aleatòriament a cadascun dels dos grups d'intervenció amb una durada de 16 setmanes, el grup amb dificultats lectores d'entrenament intensiu informatitzat (sessions diàries individuals de 10-15 minuts, 5 dies a la setmana), DLEI (n=20), centrat en el treball de consciència fonològica, fonèmica, descodificació i velocitat lectora i el grup amb dificultats lectores d'entrenament ordinari a l'aula (1 sessió setmanal de 50 minuts cadascuna, en grup reduït), DLEO (n=12), que va rebre reforç tradicional de lectura a l'escola basat en lectura col·lectiva i modelatge de la mestra. Els nens i les nenes sense dificultats lectores es van assignar al grup de control C (n=24). Tots/es els i les alumnes van ser valorats mitjançant un protocol cognitiu i de neuroimatge en dos moments temporals, abans i després de la intervenció.

Resultats: tant els infants del grup DLEI com DLEO van mostrar un major rendiment de lectura després de la intervenció sent superior el del grup DLEI. El grup de C no va mostrar canvis significatius durant el mateix període. Vam observar que presentar rendiments baixos en les variables de precisió i velocitat lectora de pseudoparauls, precisió lectora de paraules i text així com en ortografia natural són predictores d'un baix rendiment en lectura. Tanmateix, la

velocitat lectora de lletres, la precisió lectora de pseudoparaules i l'ortografia natural serien les tres variables predictores de l'èxit de la reeducació intensiva. El perfil lector dels alumnes amb dificultats lectores (65,62%) va ser d'afectació mixta. Les anàlisis VBM van objectivar un % de VSB superior en el grup DLEI associat a la intervenció intensiva.

Conclusions: els resultats suggereixen que la intervenció primerenca intensiva basada en l'entrenament fonològic, és una estratègia eficaç per solucionar les dificultats de lectura que s'hauria d'utilitzar a l'escola com a primer enfocament per afrontar-les.

Resumen

Introducción: la dislexia es el trastorno de aprendizaje más frecuente en la población infantil con repercusiones importantes en el desarrollo académico, social y emocional de los niños y las niñas que la padecen. En los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo para identificar cuáles son los factores de riesgo de las dificultades lectoras y desarrollar nuevas metodologías para ayudar a los niños y niñas a superarlas. Se ha demostrado que la intervención precoz tiene más éxito que la tardía y que los programas de entrenamiento intensivo pueden beneficiar a los niños y niñas con dificultades lectoras.

Objetivo: evaluar los cambios cognitivos y cerebrales asociados a la aplicación de un programa intensivo de entrenamiento fonológico informatizado para mejorar el rendimiento lector en niños y niñas de primer ciclo de educación primaria con dificultades lectoras.

Metodología: treinta y dos niños y niñas con dificultades lectoras fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los dos grupos de tratamiento con una duración de 16 semanas, el grupo de entrenamiento intensivo informatizado (sesiones diarias individuales de 10-15 minutos, 5 días a la semana), DLEI (n=20), centrado en el trabajo de conciencia fonológica, fonémica, decodificación y velocidad lectora y el grupo de entrenamiento ordinario en el aula (1 sesión semanal de 50 minutos cada una, en grupo reducido), DLEO (n=12), que recibió refuerzo tradicional de lectura en la escuela basado en lectura colectiva y modelado de la maestra. Los niños y niñas sin dificultades lectoras fueron asignados al grupo control, C (n=24). Todos los alumnos y alumnas fueron valorados mediante un protocolo cognitivo y de neuroimagen en dos momentos temporales, antes y después de la intervención.

Resultados: los niños y niñas del grupo DLEI y DLEO mostraron un mayor rendimiento de lectura después de la intervención siendo superior el del grupo DLEI. El grupo C no mostró cambios significativos durante el mismo período. Pudimos observar que presentar rendimientos bajos en las variables de precisión y velocidad de pseudopalabras, precisión lectora de palabras y texto así como en

ortografía natural son predictoras de dificultades lectoras. A su vez, la velocidad lectora de letras, la precisión lectora de pseudopalabras y la ortografía natural serían las tres variables predictoras del éxito de la reeducación intensiva. El perfil lector de los y las alumnos/as con dificultades lectoras (65,62%) fue de afectación mixto. Los análisis VBM objetivaron un % de VSB superior en el grupo DLEI asociado a la intervención intensiva.

Conclusiones: los resultados sugieren que la intervención precoz intensiva basada en entrenamiento fonológico, es una estrategia eficaz para solucionar las dificultades de lectura y que se puede utilizar en la escuela como primer enfoque para afrontar estas dificultades.

Abstract

Introduction: dyslexia is the most common learning disorder in children population and there have a great impact on academic, social and emotional development to the child that suffer from it. Over the last few years there has been a great amount of effort in order to identify what are the risk factors related to reading disabilities and to develop new methodologies to help children to overcome them. It has been proved that an early intervention has a better success than a late one, and that intensive training programs can benefit little boys and girls with reading disabilities.

Goal: the evaluation of brain and cognitive changes related to the use of a phonological intensive training software program to improve reading performance on children with reading disabilities in first and second grade.

Methodology: thirty-two little boys and girls with reading disabilities were randomly assigned to two intervention groups in 16-week period; one of these two groups was the intensive training software program group (10-15 minutes individual daily training sessions, 5 days per week) DLEI (n=20), focused on phonological conscience work, phonemics, decoding and reading speed, and the classic “training-at-classroom” group (1 weekly 50 minutes session in small groups), DLEO (n=12), that had received reading reinforcement at school based on collective reading and teacher modelling. Normal readers (C) were assigned to the control group (n=24). All young boys and girls were evaluated through a cognitive and neuroimaging protocol in two temporal stages, before and after the intervention.

Results: both DLEI and DLEO kids showed an improved reading capacity after the intervention, with better results on the DLEI group. C group did not show substantial changes on the same period. We found that a low performance on the accuracy and reading speed of pseudowords, words and text reading accuracy and also in natural orthography are predictor variables of a low reading performance. Nevertheless, reading speed of letters, reading accuracy of pseudowords and natural orthography are the three predictor variables that show

a favourable outcome of an intensive training. The reading profile of students with reading disabilities (65,62%) was a mixed involvement. VBM analysis put in objective terms a higher percentage of VSB in the DLEI group related to intensive intervention.

Conclusions: results suggest that an early intensive intervention based on phonological training is an effective strategy to solve reading disabilities and it can be used at school as a first approach to face up with such disabilities.

Introducció

1. Introducció

Els trastorns de l'aprenentatge probablement constitueixen una de les primeres causes de fracàs escolar. Segons estudis epidemiològics, la dislèxia n'és un dels més freqüents entre la població en edat escolar, amb una prevalença variable segons l'estudi i la llengua en la que es fa i que oscil·la entre el 3.5% i el 17% (Demont & Gombert, 2004; Jiménez, Guzmán, Rodríguez & Artiles, 2009; Katusic, Colligan, Barbaresi, Schaid & Jacobsen, 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005).

En les darreres dues dècades s'ha fet un esforç per entendre la neurobiologia de la lectura, des del naixement fins a la vida adulta (Dehaene, 2009; Horowitz-Kraus & Hutton, 2015). En paral·lel, l'interès s'ha centrat també en l'estudi de les bases neurals de les dificultats lectores, una problemàtica universal que té un cost elevat. Tal com indiquen nombrosos estudis, els nens i les nenes amb dèficits de lectura en els primers cursos de l'escola, seguiran presentant mancances en aquesta àrea en anys posteriors (Francis, Shaywitz, Stuebing, Shaywitz & Fletcher, 1996; Juel, 1988; Torgesen & Burgess, 1998, Shaywitz & Shaywitz, 2005). Els infants sense diagnòstic ni tractament tenen més risc de presentar un baix rendiment acadèmic, no acabar els estudis de secundària i universitaris i de mostrar problemes socials i emocionals associats al fracàs escolar (Aylward et al., 2003; McNulty, 2003; Bishop, 2018). Al voltant d'un 40% dels nens i les nenes amb dislèxia patiran trastorns psiquiàtrics comòrbids, especialment problemes externalitzants, baixa autoestima, símptomes depressius i ansiosos, com a conseqüència del seu fracàs en l'adquisició de la lectoescriptura (Willcutt & Pennington, 2000, Arnold et al., 2005; Mugnaini et al., 2009). Són realment importants la detecció i la intervenció precoç a fi d'evitar i/o reduir les problemàtiques acadèmiques, socials i emocionals dels infants amb dificultats lectores. Sabem que aquesta condició és resistent a la instrucció a l'aula ordinària, però, una intervenció primerenca, intensiva o en grups reduïts incloent un ensenyament sistemàtic de la consciència fonològica i estratègies de descodificació està recolzada empíricament i ha demostrat la seva eficàcia en la millora de les habilitats de lectura d'aquests infants (Ehri, Nunes, Stahl & Willows, 2001b; Gabrieli, 2009; Galuschka, Ise, Krick & Schulte-Körne, 2014).

1.1. El cervell i l'aprenentatge de la lectura

L'escriptura i la lectura són dues habilitats apreses de manera artificial i han esdevingut veritables eines de pensament. L'escriptura va començar fa aproximadament uns 5.400 anys i va sorgir per garantir la transmissió cultural i assegurar que els coneixements es poguessin transmetre entre generacions. L'alfabet en sí mateix té uns 3.800 anys, temps insuficient per a que l'arquitectura del nostre cervell es pogués adaptar a les dificultats particulars del reconeixement de paraules (McCandliss, Cohen & Dehaene, 2003; Dehaene & Cohen, 2007). Els inicis del llenguatge oral es poden remuntar a l'època de l'home Neandertal (D'Anastasio et al., 2013) i el llenguatge articulat i més elaborat al nostre avantpassat l'Homo Sapiens Sapiens fa uns 30.000-40.000 anys (Lieberman, 1987). El llenguatge, a diferència de la lectura, està predefinit en el nostre genoma i el seu aprenentatge es considera una qualitat innata que, en la majoria de casos, s'adquireix sense esforç (Artigas-Pallarés & Narbona, 2011). Molt abans que aprenguem a llegir, el cervell d'un bebè està organitzat per al llenguatge parlat, activant, en la majoria de casos i amb pocs mesos d'edat, els circuits neuronals de l'hemisferi esquerre idèntics als que s'activen en els adults quan escolten frases de la seva llengua materna (Dehaene-Lambertz et al., 2006). Durant el primer any de vida, les àrees cerebrals de la parla s'especialitzen segons el llenguatge al que hom està immers i que s'utilitza amb major freqüència. Quan els infants estan exposats repetidament a un ventall de fonemes s'estimula la formació de connexions en la seva escorça auditiva. Amb el temps, aquests circuits queden fixats i això permetrà al bebè convertir sons en paraules (Kuhl, 2004).

El cervell humà és lingüístic però no literari. Atès que no disposem d'uns circuits neurals específics per a la lectura, el cervell necessita ser entrenat durant anys mitjançant un ensenyament explícit i sistemàtic per adquirir aquesta habilitat. L'aprenentatge lector implica la connexió de dos conjunts de zones cerebrals que ja són presents a la infància, el sistema de reconeixement d'objectes i el circuit del llenguatge (Dehaene, 2009). Integrar i relacionar tota la informació provinent d'àrees visuals, auditives i lingüístiques, dependrà de la maduració de cada zona

cerebral, de les àrees associatives corresponents i de la velocitat a la que aquestes zones puguin ser connectades.

L'organització i la funcionalitat del sistema visual té lloc als pocs mesos de vida aconseguint, durant el primer any, la competència per discriminar objectes segons els seus contorns, les textures o les formes (Kraebel, West & Gerhardstein, 2007). Aquest sistema, que serà bàsic per al reconeixement de lletres, inicialment s'activa bilateralment i s'anirà especialitzant progressivament durant l'aprenentatge de la lectura fins a aconseguir una resposta clarament lateralitzada cap a l'hemisferi esquerre cap als 8 anys d'edat (Parviainen, Helenius, Poskiparta, Niemi & Salmelin, 2006). És en aquest moment quan té lloc l'especialització funcional d'una part basal de la regió temporal occipital esquerra del cervell, la VWFA (de l'anglès, *visual word form area*), i que respon especialment a les paraules escrites amb independència de la llengua o del mètode d'aprenentatge utilitzat (Nakamura, Dehaene, Jobert, Le Bihan & Kouider, 2005). Les regions sensoriomotrius ja estan mielinitzades i amb independència funcional abans dels cinc anys d'edat, malgrat regions com la circumvolució angular, necessària per aprendre el codi alfabètic i integrar la informació visual, verbal i auditiva amb rapidesa, en la majoria de casos, no ho està per complet fins als 5 o 7 anys (Wolf, 2008). És durant aquestes edats quan els nens s'inicien en l'aprenentatge de la lectoescriptura i es comencen a activar diferents zones cerebrals i processos cognitius necessaris fins al reconeixement i la comprensió de la paraula. Segons indica Dehaene, (2009) els infants de 5 o 6 anys disposen d'una representació detallada de la fonologia de la seva llengua, un lèxic ampli, un domini de les principals estructures gramaticals i la manera en què transmeten el significat. Tot això, conjuntament amb el desenvolupament del sistema visual, són aspectes requerits a nivell cerebral per iniciar l'aprenentatge de la lectoescriptura (Tokuhama-Espinosa & Rivera, 2013).

Aprendre a llegir produeix beneficis i canvis cognitius importants. Estudis realitzats amb il·letrats indiquen que la VWFA, que en lectors descodifica les paraules escrites, respon al reconeixement visual d'objectes i cares. Aquesta funció específica disminueix a mesura que augmenta el rendiment lector desplaçant-se parcialment a l'hemisferi dret (Kleinschmidt, 2011). L'escorça visual es

reorganitza, en part, per la competència entre la nova activitat lectora i les funcions més antigues que tenia (Carreiras et al., 2009, Dehaene & Cohen, 2011). En aquest sentit, els estudis de neuroimatge ens indiquen que l'aprenentatge de la lectura provoca grans canvis en les àrees del llenguatge de l'hemisferi esquerre. Autors com Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro & Eden (2003) en un estudi amb fMRI van observar un augment de l'activitat relacionada amb la capacitat lectora en el gir frontal inferior i en el gir temporal mig anterior esquerre. L'activitat del solc temporal superior esquerre es correlacionava amb l'habilitat que tenien els infants en tasques de consciència fonològica. Per als autors aquest aspecte podia plantejar que l'activitat d'aquesta zona servís com a predictor primerenc del rendiment lector.

Estudis en què s'han comparat cervells de lectors adults amb els d'illetrats, han mostrat que aprendre a llegir canvia de manera important l'anatomia cerebral, observant-se diferències en la matèria grisa, en la blanca així com en l'activació de diferents àrees cerebrals (Dehaene et al., 2010b; Carreiras et al. 2009; Skeide et al. 2017). En aquesta línia, treballs com els de Castro-Caldas, Petersson, Reis, Stone-Elander & Ingvar (1998) i Petersson, Silva, Castro-Caldas, Ingvar & Reis (2007), van posar de manifest mitjançant tècniques d'imatge per ressonància magnètica (RM) i PET (de l'anglès, *positron emission tomography*) que en el cervell de persones alfabetitzades, es produïa una major activació en l'ínsula anterior, regió propera a l'àrea de Broca i un augment de la part posterior del cos callós. Aquestes troballes explicarien un possible augment d'intercanvi d'informació entre els dos hemisferis cerebrals així com un increment en el span de memòria verbal amb l'alfabetització (Dehaene, 2009). Aquest mateix autor afirma que hi ha diversos circuits cerebrals que es modifiquen amb l'alfabetització originant un reciclatge neuronal, entès com una transformació o readaptació de les funcions al context cultural del moment. Estudis com els presentats anteriorment ens aporten informació sobre l'adquisició de la lectoescriptura i ens expliquen quin és l'impacte que té a llarg termini l'alfabetització en els circuits cerebrals.

L'habilitat lectora inclou dos aspectes fonamentals, la descodificació o reconeixement de paraules i la comprensió lectora. Un cop els nens i les nenes

han après a descodificar paraules, apareix una forma d'expertesa perceptiva en la qual els grups de lletres es combinen ràpidament i sense esforç en percepcions visuals integrades, fet que permetrà llegir amb fluïdesa i centrar els processos atencionalen en la comprensió del text. Autors com Seymour, Aro & Erskine (2003), plantegen que l'adquisició de la lectura varia entre llengües a causa de les diferències de transparència ortogràfica que tenen. Malgrat llengües com el català, l'italià, l'anglès o el francès utilitzen el mateix alfabet, han desenvolupat sistemes d'escriptura diferents. En principi, l'alfabet ens ha de permetre pronunciar una paraula escrita en una altra llengua però a la pràctica, el sistema d'escriptura de cada idioma inclou regles addicionals en la seva pronunciació (Blakemore & Frith, 2010). Conèixer les normes d'un idioma per pronunciar lletres o per fer la correspondència grafema-fonema és l'essència del principi alfabètic i convertir-se en expert en aquestes connexions modifica la forma de funcionar del cervell (Wolf, 2008). En un estudi realitzat per Paulesu et al. (2001) amb lectors experts anglesos i italians, es va observar que durant la lectura de paraules tant en veu alta com en silenci, s'activaven les mateixes regions del sistema de lectura de l'hemisferi esquerre. Tot i així van trobar diferències entre els dos grups segons l'idioma en què ho feien, de manera que els lectors anglesos activaven més la part posterior, la VWFA i els lectors italians l'àrea de Wernicke i la circumvolució angular, relacionada amb la interpretació grafema-fonema. A posteriori es va incloure en l'estudi un grup de lectors francesos i s'observà que aquests també activaven les mateixes regions de forma més similar als anglesos. Segons Blakemore & Frith (2010), aquest fet s'explicaria perquè en anglès i en francès és més important reconèixer formes de paraules globals que transcriure lletres en sons, al contrari del que es fa en l'italià, el català o l'espanyol.

Hi ha acord en classificar les ortografies en funció de dues dimensions, la complexitat sil·làbica i el grau de profunditat ortogràfica (taula 1). La primera dimensió es refereix a la distinció entre les llengües que tenen un major o menor nombre d'estructures sil·làbiques amb poques agrupacions consonàntiques inicials o finals CV (consonant-vocal) com ara l'italià o el català i aquelles amb estructures més complexes CVC (consonant-vocal-consonant) com són l'alemany o l'anglès, per exemple. La dimensió ortogràfica de profunditat contrasta els

sistemes d'escriptura alfabètica que tenen una correspondència directa grafema-fonema amb els que contenen inconsistències i complexitats ortogràfiques, un fonema pot estar representat per més d'una grafia, o a l'inrevés, diferents fonemes, regles dependents del context o irregularitats (Seymour et al., 2003).

Taula 1

Classificació de les llengües en funció de la transparència ortogràfica i la complexitat sil·làbica

		OPACITAT ORTOGRÀFICA				
		Baixa		Alta		
COMPLEXITAT SIL·LÀBICA	Simple	Finès	Grec	Portuguès	Francès	
					Italià	
				Espanyol		
	Complexa			Alemany	Holandès	Danès
		Norueg	Suec			
		Islandès				

Nota. Adaptada de Seymour et al. (2003).

En sistemes alfabètics transparents com l'espanyol o l'italià, els nens aprenen més ràpidament la majoria de les paraules i després del primer any d'instrucció ja saben llegir-les (Seymour et al., 2003). Això és així perquè existeix una correspondència molt clara entre els fonemes i els grafemes de la llengua, mentre que el procés per adquirir un bon nivell d'eficàcia lectora és una mica més lent en els sistemes alfabètics opacs caracteritzats per un major nombre d'irregularitats, com és el cas del francès o l'anglès (Dehaene, Cohen, Morais & Kolinsky, 2015). El català, tal com indiquen autors com Llauredó & Tolchinsky (2016) és una llengua amb una ortografia moderadament transparent, el 76% de les lletres només tenen una lectura. Estudis interculturals han demostrat que aprendre a llegir paraules individuals requereix més temps en ortografies menys regulars (Gabrieli, 2009; Ziegler & Goswami, 2005).

1.2. Les bases neurals de la lectura

Les tècniques de neuroimatge ens han permès tenir un millor coneixement del substrat neural de la lectura. El reconeixement visual, l'accés al lèxic mental, la recuperació del significat de cada paraula, la seva integració en el context de la frase i, finalment, la seva pronunciació, mobilitzen més d'una dotzena d'àrees del cervell distribuïdes en diferents regions cerebrals que es comuniquen entre elles establint xarxes neurals pròpies del procés lector (Dehaene, 2009).

Shaywitz et al. (2002, 2004) van descriure un circuit lector amb la implicació de tres zones cerebrals, cadascuna d'elles amb un paper diferenciat en el procés lector (figura 1). L'àrea de Broca forma la part frontal i és el sistema bàsic per a la producció de la parla. En els dislèctics, mitjançant la subvocalització de la paraula, s'amplifica el missatge fonològic facilitant-ne la lectura. La part central, formada per l'àrea de Wernicke i la circumvolució angular, s'activa durant l'anàlisi de l'estructura fonològica de la paraula. La tercera part, està ubicada a la zona posterior del lòbul temporal, al solc occipitotemporal (VWFA) i s'encarrega de l'emmagatzematge i la recuperació de paraules. El funcionament d'aquests sistemes, ens permet entendre com es desenvolupa el procés lector tant en normlectors com en els nens i les nenes amb dificultats lectores.

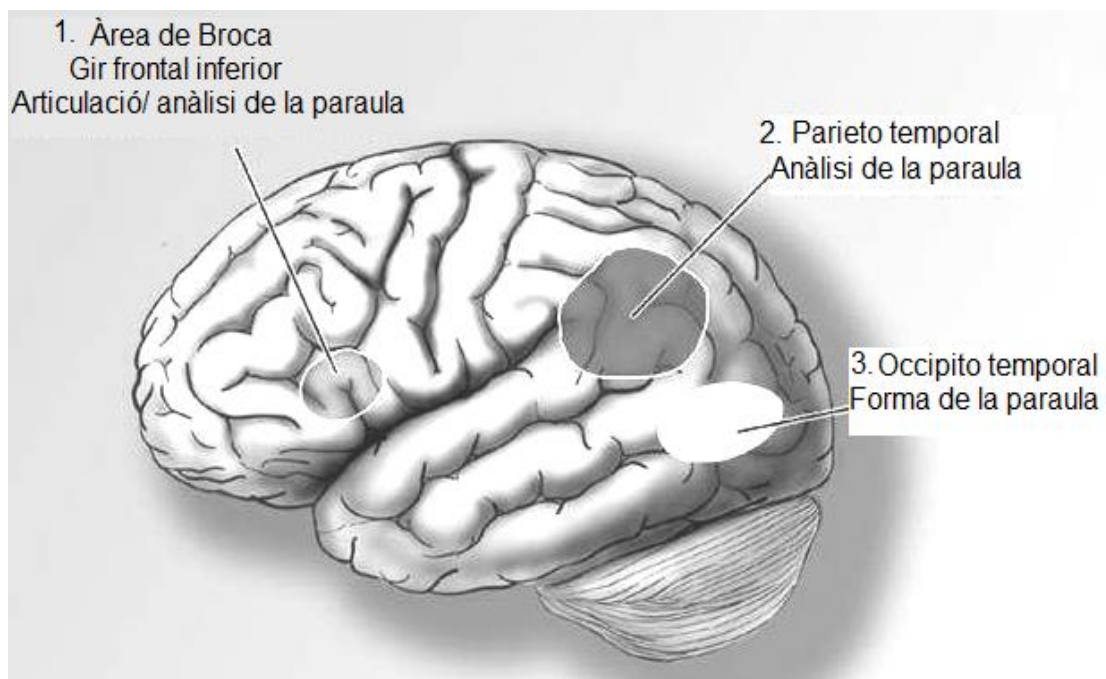


Figura 1. Circuit lector proposat per Shaywitz. 1. Sistema anterior a la regió frontal inferior esquerra 2. Sistema parietotemporal dorsal amb gir angular, supramarginal i part posterior del gir temporal superior 3. Sistema occipitotemporal ventral que inclou part del gir temporal i occipital mig. Imatge extreta i adaptada de Shaywitz (2003).

En l'actualitat es proposa que la lectura recluta dues rutes neurals diferents a l'hemisferi esquerre. La primera d'elles és la ruta fonològica dorsal i la segona és la ruta ortogràfica ventral (Taylor, Rastle & Davis, 2013; Dehaene, 2009; Kujala, et al, 2001; Shaywitz et al, 2002, 2004). La primera es localitza a la unió temporoparietal esquerra, inclou zones de la circumvolució temporal superior posterior, el gir angular i el gir supramarginal, i s'associa amb l'accés a la paraula a través de la conversió grafema-fonema (Sandak, Mencl, Frost & Pugh, 2004). Aquesta ruta està especialment activa durant les primeres etapes de l'aprenentatge de la lectura, quan el lector és menys competent i l'habilitat està poc automatitzada, reduint la seva activació a mesura que millora la precisió lectora (Carreiras et al., 2009). Turkeltaub et al. (2003), també afirmen que el

còrtex temporoparietal, incloent-hi el solc temporal superior esquerre, madura a l'inici de l'aprenentatge i continua participant en la lectura fins a la vida adulta.

La ruta lèxica es troba a la regió occipitotemporal esquerra a prop del gir fusiforme, es refereix a la VWFA (Dehaene et al., 2010a) i constitueix la ruta lexicosemàntica directa per a la lectura i està lligada al reconeixement ortogràfic de les paraules. Aquesta ruta és especialment important per realitzar la lectura global, és a dir, a partir de la forma de les paraules. És en aquest moment quan la lectura és molt més ràpida i automàtica, els recursos atencional no són necessaris per a la descodificació fonològica del text i es poden invertir en la comprensió. Autors com Parviainen et al. (2006) indiquen que és cap als 8 anys quan apareix una resposta clarament lateralitzada de la VWFA a l'hemisferi esquerre. Prèviament, les paraules escrites es comporten com qualsevol altra imatge visual i suposen un patró d'activació posterior bilateral. Tot i així, la VWFA només aconsegueix la plena maduresa a l'inici de l'adolescència, sempre i quan, l'infant estigui exposat amb suficient regularitat a la lectura per esdevenir un lector expert (Dehaene, 2009). Quan s'esdevé un lector expert, aquesta àrea s'organitza en una jerarquia posterior-anterior on les parts posteriors responen a lletres individuals, mentre que les anteriors responen a combinacions de lletres com ara bigrames (Dehaene et al., 2015).

El procés lector està regulat per moltes zones cerebrals que funcionen com una xarxa complexa. S'inicia en àrees visuals de la forma de la paraula i des d'aquí la informació es transmet per tot el cervell, principalment a l'hemisferi esquerre i seguint les dues rutes esmentades anteriorment, la dorsal, relacionada amb aspectes fonològics i la ventral, relacionada amb el reconeixement de paraules i l'ortografia. Altres àrees estan implicades i tenen un paper important en tot el procés, la xarxa d'atenció frontoparietal, per iniciar i mantenir la lectura i les àrees frontals i temporals esquerreres implicades en la codificació del significat, el so i l'articulació (Dehaene, 2009). Tal com es pot veure en la figura 2, aprendre a llegir suposa el desenvolupament de connexions bidireccionals eficients entre àrees visuals i de llenguatge. L'anàlisi visual és el primer esglaió per iniciar el procés

lector seguit de l'activació de nombroses zones corticals diferents que treballen de forma simultània i coordinada.

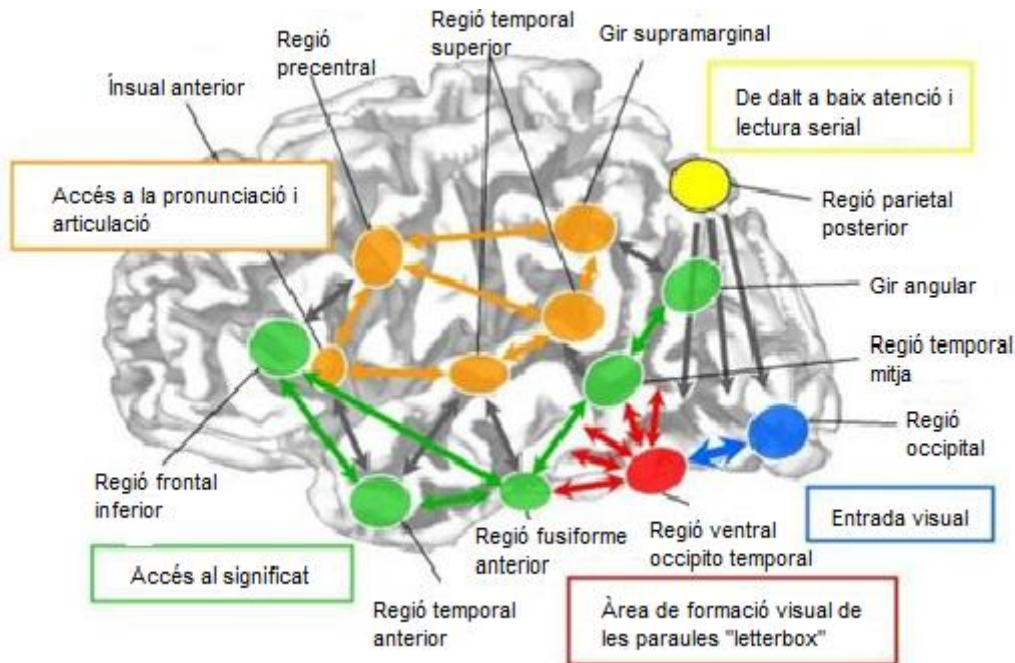


Figura 2. Xarxes corticals que intervenen en la lectura. Intercanvi d'informació constant i bidireccional entre les diferents regions cerebrals. Imatge extreta i adaptada de Dehaene (2009).

1.3. El reconeixement de paraules a través del model de doble ruta

El model en cascada de doble ruta per al reconeixement visual i la lectura en veu alta va ser desenvolupat per Colheart, Curtis, Atkins & Haller (1993). El model de doble ruta o dual, de forma abreujada, és un dels models cognitius més influents i acceptats sobre l'accés al lèxic (Colheart, 1978). Aquest és un model de processament lineal o serial en el qual la informació flueix de forma unidireccional i es distribueix entre mòduls diferents. En aquest cas, no és necessari que aquests hagin acabat la seva part del processament perquè s'activin els altres ja que també s'introdueixen processos interactius entre ells. Malgrat el seu nom, de fet consta de tres rutes; la fonològica, la lèxica i la lèxico-semàntica (figura 3).

- Via o ruta indirecta, fonològica o sublèxica requereix l'aplicació de les regles de correspondència grafema-fonema (G-F), fonema-grafema (F-G) per a la seva lectura. Mitjançant aquesta ruta és possible llegir i escriure les paraules regulars, poc freqüents o desconegudes i les pseudoparaules. A través d'aquesta ruta busquem el significat a través del so de les lletres (Dehaene, 2009; Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003). Aquesta ruta s'activa de forma predominant en les llengües transparents.
- Via o ruta directa, ortogràfica o lèxica implica un reconeixement global i directe de les paraules que han estat processades anteriorment i que estan emmagatzemades en el lèxic mental i que conté una representació de totes les paraules que coneixem. Hi ha una relació directa entre la representació ortogràfica de la paraula i el seu significat (sistema semàntic) (Dehaene, 2009; Kotz, Cappa, von Cramon & Friederich, 2002; Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003). En llengües profundes com l'anglès, aquesta ruta permet la lectura i escriptura de paraules que no tenen correspondència G-F, F-G.
- La ruta lèxico-semàntica és un desviament de la ruta lèxica que ens permet anar del lèxic ortogràfic al fonològic passant pel sistema semàntic. Té lloc quan recuperem el significat de la paraula que llegim.

Aquest model de lectura ens permet diferenciar entre el lector novell i l'expert. El primer requereix recolzar-se en la via fonològica per arribar a la pronunciació i al significat de les paraules i el segon mitjançant la pràctica lectora aconsegueix desenvolupar un lèxic ortogràfic que li permet ràpidament reconèixer les paraules escrites i arribar al seu significat, activar la pronunciació i llegir amb major fluïdesa (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001).

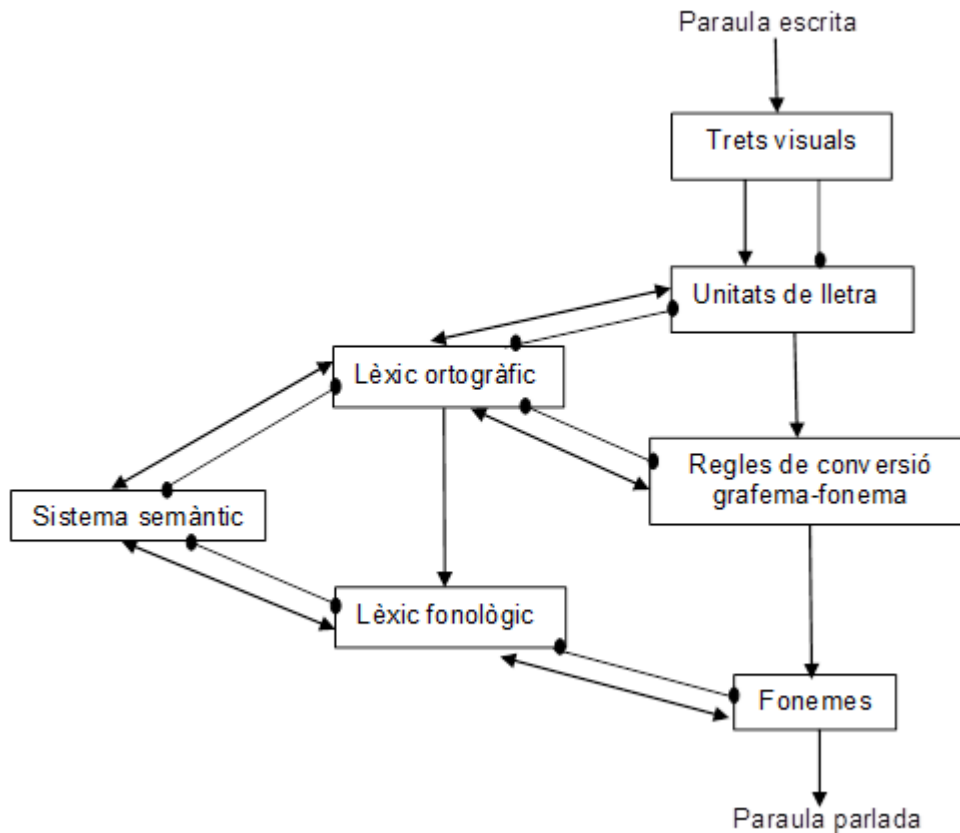


Figura 3. Model de doble ruta en casada. Imatge extreta i adaptada de Coltheart et al. (2001)

1.4. Etapes en el desenvolupament de la lectura

L'aprenentatge de la lectura és una activitat complexa i suposa la connexió de dos conjunts de regions cerebrals presents a la infància, el sistema de reconeixement d'objectes i el circuit del llenguatge (Dehaene, 2009). És durant aquest aprenentatge quan el lector novell passa per una sèrie d'etapes caracteritzades per l'adopció d'un procediment particular que li permetrà identificar paraules i arribar a l'assoliment de la lectura experta (Gough & Hillinger, 1980; Frith, 1985; Harris & Coltheart, 1986; Seymour & Evans, 1999).

Els diferents models de desenvolupament plantejats a partir dels anys vuitanta, amb independència de les diferències pel que fa a la naturalesa i/ o el nombre d'etapes proposades, coincideixen en l'existència de tres procediments principals

per a la identificació de paraules; el logogràfic, el fonològic i l'ortogràfic (Demont & Gombert, 2004).

Donada la seva influència en l'àmbit de la lectura i la dislèxia, ens centrarem específicament en el model d'adquisició de la lectura que va proposar Uta Frith (1986) que, malgrat ser un model clàssic, se segueix utilitzant ja que permet reflectir i explicar de forma clarificadora les tres etapes principals de l'aprenentatge de la lectura esmentades anteriorment (figura 4). Cal destacar que aquestes no se separen de forma estricta sinó que l'infant avança en el seu aprenentatge durant mesos i/o anys en un continuum que permet descriure la seva corba d'aprenentatge (Dehaene, 2009).

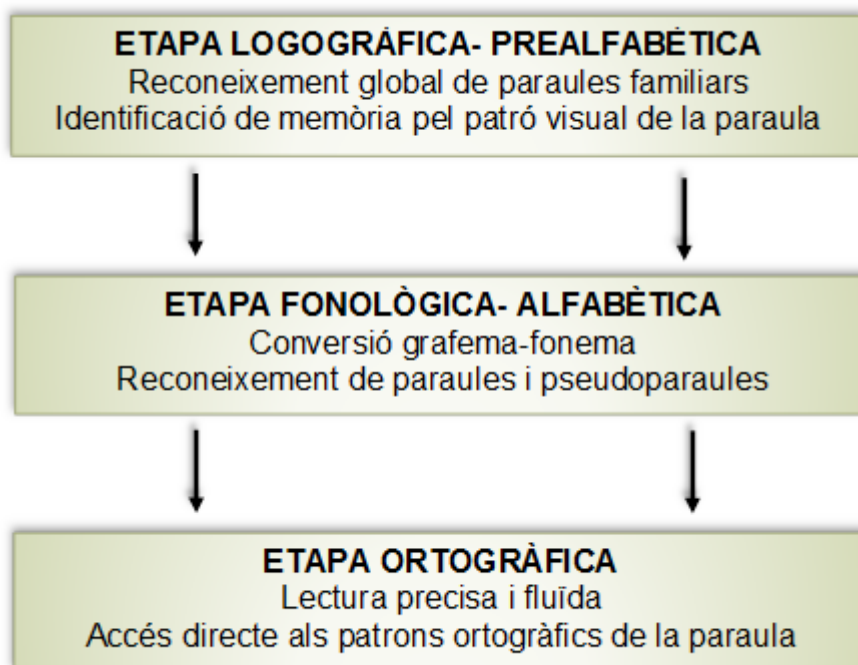


Figura 4. Model per etapes en l'aprenentatge de la lectura (Frith, 1986).
Font: elaboració pròpia.

La primera d'aquestes etapes és la *logogràfica* o *pictòrica* i té lloc abans de l'aprenentatge formal de la lectura, quan l'infant encara no ha après la lògica de l'escriptura. En aquesta etapa, s'utilitza un procediment d'identificació global amb

una estratègia visual o general (Goswami & Bryant, 1990) que consisteix en emmagatzemar el patró visual de les paraules que es veuen. Les paraules són enteses com a logogrames, és a dir, com a unitats globals, arbitràries i fàcilment reconegudes per l'infant. El seu sistema visual intenta identificar paraules com si fossin objectes o cares fent ús de tots els trets visuals disponibles i aprèn el seu significat de memòria. Durant aquesta fase, l'infant fa un tractament pictòric d'un conjunt de signes que associen una paraula oral amb la seva imatge escrita. Per exemple, els nens identifiquen el logotip de Coca Cola o Fanta malgrat no saber les lletres. Un fet similar també passa quan a l'escola mostren els noms dels nens en diferents situacions i aquests els identifiquen. Les paraules semblen ser tractades com a imatges gràcies a un sistema semàntic pictòric (Morton, 1990) que inclou un vocabulari visual de desenes de paraules. La lectura logogràfica és totalment dependent de les característiques perceptives, com el color o el fons de l'escriptura, és un mètode de lectura poc eficaç que porta a nombrosos errors de confusió d'unes paraules amb unes altres.

Per anar avançant, l'infant ha d'aprendre a segmentar les paraules en les lletres que les componen i associar-les als sons de la parla. Aquest treball de conversió de grafemes en fonemes és característic de la segona etapa d'adquisició de la lectura, *l'etapa fonològica* (Frith, 1985). Arribat aquest moment, es deixen de processar les paraules completes i l'infant aprèn a centrar la seva atenció en els elements més petits, unint els grafemes als sons de la parla (Dehaene, 2009). El nen o la nena descobreix que la parla està formada per fonemes i que poden recombinar-se per formar paraules noves, és el que es coneix com a consciència fonològica. Estudis realitzats per Morais, Bertelson, Cary & Alegria (1986) van demostrar que el descobriment dels fonemes no és automàtic sinó que s'aprèn de forma explícita mitjançant el codi alfabètic. El mateix autor va demostrar que en el grup d'adults il·letrats, el rendiment per tractar els segments fonètics en una tasca de detecció i en una tasca progressiva de segmentació lliure era més baix que en el grup d'exil·letrats.

La darrera etapa del model de Frith (1985) és *l'ortogràfica* i es caracteritza per un reconeixement de la paraula mitjançant el processament de configuracions

d'ortografia visuals sense un ús sistemàtic de conversió fonològica. L'ús repetit del procediment alfabètic comporta la familiarització de determinades paraules que apareixen en cada idioma. L'infant ha emmagatzemat a la memòria informació específica sobre les característiques ortogràfiques de les diferents paraules de la llengua i aquestes esdevenen directament accessibles (Demont & Gombert, 2004). En aquesta etapa, el temps de lectura no ve determinat per la longitud de la paraula o per la complexitat dels grafemes, cada vegada està més influenciat per la freqüència amb la que es troba una paraula (Dehaene, 2009). Autors com Suárez-Coalla, Avdylí & Cuetos (2014) van trobar que amb una tasca de lectura repetida de pseudoparaules amb o sense regles contextuais, els normolectors són capaços de tenir una visió global de la paraula amb tan sols sis exposicions. En canvi, els dislèctics espanyols tenen problemes per formar representacions ortogràfiques tant amb grafemes dependents de context com amb grafemes simples i seguir utilitzant la lectura sublèxica fins i tot després de diverses exposicions amb temps de latència elevats.

A mesura que la lectura esdevé més fluïda i experta s'articulen procediments fonològics i ortogràfics automàtics que faciliten el reconeixement de paraules amb precisió i rapidesa, disminuint el cost atencional i permetent al lector invertir més recursos en la seva comprensió (Demont & Gombert, 2004). Aquesta etapa permetrà utilitzar la lectura com a eina d'adquisició d'informació i de coneixements, és en aquest moment quan serveix per aprendre (Chall, 1983).

1.5. Les dificultats lectores: la dislèxia

Els problemes d'aprenentatge en la lectoescriptura han existit des que es va inventar el codi escrit. Antigament i atès que l'alfabetització era només un privilegi de pocs, aquest aspecte no rebia molta atenció. L'extensió de l'alfabetització i l'educació a la població, van fer necessari que es desenvolupessin i utilitzessin diferents estratègies i mètodes per aconseguir que tothom tingués accés al llenguatge escrit (Díaz, 2006). Aquest punt és realment important si tenim en compte que la dislèxia és el trastorn de l'aprenentatge més freqüent entre la població infantil.

1.5.1. Perspectiva històrica

Els primers informes científics sobre la dislèxia van aparèixer a finals del segle XIX. L'oftalmòleg alemany Rudolf Berlin (1872) va utilitzar el terme *dislèxia* per descriure la pèrdua de la capacitat per llegir que tenien alguns adults com a conseqüència d'una lesió cerebral. Uns anys més tard, al 1877, A. Kussmaul va publicar per primera vegada un cas aïllat d'un pacient que va perdre la capacitat per llegir malgrat mostrar unes condicions intel·lectuals, visuals i lingüístiques preservades. Ell va anomenar aquesta condició com a *ceguesa verbal* i corresponia al que actualment coneixem com a lèxia, la forma adquirida del trastorn d'aprenentatge de la lectura (Artigas-Pallarés & Narbona, 2011). Posteriorment, al 1896, P. Morgan va descriure per primera vegada la dislèxia evolutiva com a *ceguesa congènita de les paraules*. Va explicar la història d'en Precy, un noi de 14 anys que, malgrat tenir un nivell intel·lectual normal, tenia una incapacitat gairebé absoluta per desenvolupar-se amb el llenguatge escrit (Morgan, 1896). A principis del segle XX, James Hinshelwood, cirurgià òptic de Glasgow, es va interessar pels infants que no podien adquirir la lectura i va realitzar la primera publicació a la revista *The Lancet* (Hinshelwood, 1900). Anys més tard, Samuel Orton (1928) va presentar les conclusions del seu estudi de nens amb dificultats de lectura, escriptura i llenguatge indicant que l'origen dels problemes es devien a una lateralització defectuosa del llenguatge. En les seves anàlisis va observar una gran quantitat d'errors d'inversió de lletres durant la lectura i l'escriptura de paraules proposant la teoria *estrefosimbòlia*, ("símbols torts"). El mateix autor va substituir el terme inicial pel *d'alèxia del desenvolupament* i anys més tard, al 1950, Hallgren va començar a parlar de la *dislèxia constitucional*. Posteriorment, el neuròleg del *King's College* de Londres, McDonald Critchley (1968, 1970), va introduir el terme de *dislèxia específica del desenvolupament*, fent èmfasi en les dificultats fonològiques del trastorn i la *World Federation of Neurology* va utilitzar per primera vegada el terme de *dislèxia del desenvolupament* per definir el trastorn com una dificultat per a l'aprenentatge de la lectura malgrat tenir una educació convencional, un nivell d'intel·ligència adequat i bones oportunitats socioculturals.

De forma similar es contempla la definició en la *Classificació Internacional de Malalties (CIM-10)* i en el *Manual diagnòstic i estadístic de malalties mentals (DSM-IV-TR)* que basa el diagnòstic en l'existència d'una discrepància entre el nivell d'intel·ligència i el nivell lector de l'infant. Aquestes definicions han estat criticades per tenir en compte el quocient intel·lectual a l'hora de definir el trastorn.

Amb independència del debat del moment a l'hora de definir la dislèxia, les causes o els símptomes que la defineixen, bona part de la comunitat científica d'aquell moment, amb divergències en el mètode a utilitzar, coincidia en la possibilitat de recuperació de les persones que patien el trastorn així com en el reconeixement de l'impacte emocional que tenien les dificultats en l'aprenentatge de la lectura en les persones amb dislèxia (Fernald, 1943; Guillingham & Stillman, 1960).

El 1994, la *International Dyslexia Association*, el *National Center for Learning Disabilities* i el *National Institute of Child Health and Human Development* van començar el projecte per definir la dislèxia de forma consensuada entre diferents experts.

La investigació de la dislèxia i la comprensió científica de les discapacitats d'aprenentatge que ha tingut lloc en els darrers anys ha introduït aspectes diferenciats en la definició diagnòstica allunyant-se dels plantejaments anteriors i fent èmfasi que la dificultat en la precisió i fluïdesa lectora no són congruents amb l'edat cronològica, les oportunitat educatives i les habilitats cognitives *Manual diagnòstic i estadístic de malalties mentals (DSM-5)* (Associació Americana de Psiquiatria, 2013).

En l'última edició del Manual diagnòstic i estadístic dels trastorns mentals, la paraula "dislèxia" es considera un terme alternatiu per a un trastorn específic d'aprenentatge amb deteriorament o dificultats en la lectura, és a dir, en la precisió lectora de paraules, la velocitat o la fluïdesa i la comprensió lectora.

1.5.2. Definició

Etimològicament el concepte prové del grec i es compon del prefix “dys” que indica dificultat, pobre, inadequat i lexis que es refereix a la parla, les paraules o la dicció. Així doncs, fa referència tant a problemes amb la lectura com a d’altres aspectes del llenguatge, lletreig, escriptura o ortografia (Díaz, 2006).

Al llarg dels anys i com hem vist anteriorment, han estat diversos els plantejaments teòrics per definir el trastorn. Al 2002 i de forma consensuada, la *International Dyslexia Association* va proposar la següent definició:

La dislèxia es caracteritza per dificultats en el reconeixement precís i/o fluid de paraules i per les dificultats amb l'ortografia i la descodificació. Aquestes dificultats resulten d'un dèficit en el component fonològic del llenguatge que sovint és inesperat en relació amb altres habilitats cognitives i a la provisió d'una instrucció efectiva a l'aula. Les conseqüències secundàries a la dislèxia inclouen problemes en la comprensió lectora i en una experiència de lectura reduïda, que poden dificultar l'augment del vocabulari i del coneixement bàsic.

Quan s’inicien en l’aprenentatge de la lectoescriptura, els infants amb dislèxia tenen una lectura lenta i amb errors. La manca de velocitat i de precisió lectora és el motiu pel qual aquests alumnes han d’esforçar-se i invertir més temps per llegir que la resta de companys. La manca d’automatització de les normes ortogràfiques fan que presentin dificultats amb conceptes gramaticals i en la redacció o estructuració d’un text. Les característiques descrites tenen lloc en infants amb un grau de motivació normal, que han tingut una escolarització adequada i han disposat de les oportunitats educatives que es requereixen per a l’adquisició d’aquesta habilitat, en absència de dèficits neurològics o sensorials (Peterson & Pennington, 2012; Lyon, Shaywitz & Shaywitz, 2003). La dislèxia es considera un trastorn de base neurobiològica, amb forta càrrega hereditària, universal, d’expressió i severitat variables i que persisteix al llarg de tota la vida, afectant amb diferent grau el desenvolupament acadèmic, professional i la qualitat de vida de la persona que el pateix (McNulty 2003; Maughan, Rowe, Loeber &

Stouthamer-Loeber, 2009). És per aquest motiu que els suports i les intervencions que se'ls ofereixen s'han d'anar adaptant i modificant al llarg de tota l'escolaritat de la persona afectada. Autors com Terras, Thompson & Minnis (2009) indiquen que els infants amb dislèxia poden tenir associats problemes d'autoestima, emocionals i conductuals indicant la necessitat de cuidar l'esfera psicològica com a punt clau per afrontar millor les seves dificultats.

Els nens que estan sense diagnosticar ni tractar tenen més risc de tenir un baix rendiment acadèmic, no acabar els estudis de secundària i universitaris, i patir problemes socials i emocionals associats al fracàs escolar (Aylward et al., 2003; Arnold et al., 2005; Mugnaini et al., 2009).

Els factors ambientals, familiars i culturals poden agreujar o millorar el risc de dislèxia i la seva manifestació es pot prevenir amb una detecció i intervenció precoç (Fletcher, 2009; Pennington et al., 2009)

1.5.3. Prevalença

La dislèxia és un fenomen comú en tots els idiomes i sistemes d'escriptura, convertint-se en el trastorn de l'aprenentatge més freqüent en la població infantil amb una prevalença estimada que oscil·la entre un 5% i un 17% segons la llengua i diferents estudis realitzats (Shaywitz i Shaywitz, 2005; Katusic et al., 2001; Jiménez et al., 2009). Malgrat la manca d'estudis epidemiològics amb mostres grans en el nostre entorn, no hi ha dubte que la dislèxia representa un problema greu que comporta repercussions importants en el desenvolupament acadèmic, social i emocional de molts dels infants que la pateixen (Benton & Pearl, 1978).

Diversos estudis han mostrat que la prevalença de la dislèxia difereix segons la llengua estudiada (Landerl, Wimmer & Frith, 1997; Paulesu et al., 2001; Ziegler & Goswami, 2005). Les estimacions del trastorn a diferents països semblen estar relacionades amb la poca profunditat de l'ortografia. Per exemple, les llengües que tenen una ortografia transparent o poc profunda com l'italià, la prevalença de la dislèxia és la meitat que als Estats Units (Lindgren, de Renzi & Richman, 1985). Aprendre a llegir en aquestes llengües és més fàcil que en idiomes que tenen una

ortografia profunda com l'anglès o el francès. Brunswick, McDougall & Davies (2010) estima que la dislèxia és d'un 10% en anglès i d'un 3.5% en italià. Autors com Jiménez et al. (2009) van estimar que, d'una mostra de 1050 nens i nens de Canàries que cursaven educació primària, un 8.6% presentaven dificultats d'aprenentatge i d'aquests un 3.2 % presentaven dislèxia. No hi ha cap estudi de la prevalença de la dislèxia en llengua catalana.

1.5.4. Factors predictors de les dificultats lectores

Segons la regularitat de la llengua en què ens trobem i la severitat del trastorn, les dificultats en l'aprenentatge de la lectura es fan més o menys evidents en els primers cursos escolars. Molts casos de dislèxia encara es detecten tardanament, quan això passa, la desmotivació i el rebuig són cada vegada més evidents i el rendiment acadèmic i l'esfera emocional es veuen afectats (Gómez-Velazquez, González-Garrido, Zarabozo & Amano, 2010). Els resultats de la metaanàlisi del *Report of the National Reading Panel* (National Institute of Child Health and Human Development, 2000) indiquen que tenir una bona capacitat per descodificar en fases inicials és necessària per convertir-se en un bon lector. També existeix evidència que altres habilitats de processament fonològic, com la memòria verbal a curt termini i la velocitat de denominació prediuen l'adquisició lectora (Badian, 2000; Bowers, 1995; Scanlon & Vellutino, 1997).

Un objectiu comú a tots els trastorns del comportament és la seva prevenció. Si els nens amb risc de patir dislèxia es poden identificar abans del procés d'aprenentatge lector o de forma primerenca (entre l'etapa infantil i el primer curs de primària), apareix l'oportunitat d'intervenir terapèuticament i minimitzar o eliminar el possible fracàs en la lectura. Hi ha bones evidències que indiquen que es pot predir i prevenir la dislèxia en molts infants. Avaluacions de cribratge breus que se centren en el coneixement de noms i sons de lletres, consciència fonològica i velocitat de nomenament, administrades individualment a infants de llars d'infants i inici de cicle infantil, són eines amb una bona capacitat de predicció del futur nivell lector (Gabrieli, 2009).

Diversos estudis han demostrat que la intervenció primerenca té més èxit que la intervenció tardana (Caravolas, Volin & Hulme, 2005; Gabrieli, 2009; Torgesen et al., 2001), per tant, a més edat pitjor és el pronòstic i la resposta al tractament. D'aquí la importància que té una detecció primerenca en els infants en risc de patir el trastorn, identificant les variables que poden predir el desenvolupament de la lectura (Hulme & Snowling, 2016) i així desenvolupar metodologies i programes d'intervenció per ajudar els infants que ho requereixin (Fuchs & Vaughn, 2012; Snowling & Hulme, 2012).

Un rendiment deficient en aquestes habilitats sembla estar en la base de les diferències individuals de la lectura (Siegel, 2003) i és predictor de les dificultats lectores posteriors:

- a) Llenguatge. Molts infants amb dislèxia tenen història de retard en l'adquisició del llenguatge i problemes fonològics. S'ha demostrat una relació entre el desenvolupament precoç del llenguatge i les habilitats de lectura posterior en nens de 8 a 30 mesos (Scarborough, 1998). La percepció i la producció del llenguatge serveixen de fonament per a l'adquisició de la fonologia i, posteriorment, del coneixement alfabètic. El desenvolupament lent del llenguatge, que es manifesta amb una aparició tardana de la parla, dificultats de pronunciació, una menor complexitat de les síl·labes produïdes i un vocabulari receptiu o expressiu deficient, s'ha associat a uns resultats d'alfabetització pobres (Lyytinen, Eklund & Lyytinen, 2005). Si bé la majoria dels parlants amb llenguatge receptiu típic desenvoluparan habilitats d'alfabetització típiques, els nens amb retard lingüístic tant en els àmbits expressius com receptius tenen més probabilitats de presentar dificultats en la llengua i la lectura de forma persistent (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016). Malgrat aconseguir superar les seves dificultats en aquest domini, al final de preescolar, continuen tenint un risc més gran que altres alumnes per desenvolupar dificultats de lectura (Scarborough & Dobrich, 1990; Stark et al., 1984). El risc de patir dèficits en l'aprenentatge lector és més gran quan la discapacitat del llenguatge és greu en qualsevol àmbit, amb un abast ampli o persistent durant els anys

preescolars (Bishop & Adams, 1990). Entre el 40 i el 75% dels preescolars amb dificultats en l'adquisició del llenguatge sovint desenvolupen dificultats de lectura i d'altres problemes acadèmics (Snow, Burns & Griffin, 1998). Segons López-Escribano, Suro & Leal (2018), fins als 4 anys d'edat, el desenvolupament del llenguatge és la variable que prediu millor el rendiment posterior de la lectura. Segons Dockrell & Messer (2004), el coneixement de vocabulari és un predictor fort de l'èxit acadèmic i juga un rol central en el desenvolupament cognitiu, especialment en la relació d'aprenentatge i alfabetització.

Segons Blakemore & Frith (2010) en la dislèxia el principal impediment per aprendre a llegir i escriure té a veure amb la parla. Molts infants amb dislèxia també tenen problemes amb el llenguatge parlat, els costa repetir i recordar paraules noves malgrat no tinguin cap dificultat per entendre el seu significat augmentant el risc de desenvolupar dèficits en l'adquisició de la lectura.

- b) La consciència fonològica (CF). És l'habilitat que indica el coneixement de cada persona sobre els sons de la seva pròpia llengua (Mattingly, 1972) i consisteix en la capacitat que tenim per identificar, segmentar o combinar, de forma intencional, les unitats sublèxiques de les paraules, és a dir, les síl·labes, les unitats intrasil·làbiques i els fonemes (Defior & Serrano, 2011). Segons Torgesen, Wagner & Rashotte (1994) o Bravo (2002), les habilitats de consciència fonològica més bàsiques apareixen de forma precoç en el desenvolupament, a partir dels tres anys d'edat, experimentant una progressió i millora quan s'inicia l'escolarització. Entre els 3 i 4 anys es desenvolupen les habilitats menys complexes, rimes, síl·labes o unitats intrasil·làbiques i posteriorment, als 5 i 6 anys tenen lloc les més complexes, les habilitats fonètiques, reconeixement i manipulació dels fonemes en la paraula. Aquesta consciència fonèmica és el nivell més alt de consciència fonològica i el darrer en desenvolupar-se (Defior, 2004) normalment es desenvolupa quan s'aprèn a llegir i escriure en un sistema alfabètic. Per a López-Escribano et al. (2018) entre els 4 i 5 anys la consciència fonològica és el predictor dominant. Autors com Furnes & Samuelsson (2009),

Speece, Cooper & Roth (2002), han demostrat que la consciència fonològica en preescolars és un predictor fiable de l'inici de l'aprenentatge de la lectura en diferents llengües. Estudis realitzats en llengua anglesa mostren que la consciència fonològica és el predictor més fort i durador de la precisió i fluïdesa lectores mentre que els que s'han realitzat en llengües transparents mostren una disminució de la seva influència (de Jong & Van der Leij, 2002; Defior, 2008; Landerl & Wimmer, 2008). En canvi, autors com Caravolas et al., (2005) indiquen que la consciència fonològica té una forta influència en llengües transparents i opaques. Segons Defior & Serrano (2011) aquesta manca de consistència en els resultats podria ser explicada pel tipus de tasca i les mesures utilitzades. D'altra banda, diversos estudis longitudinals (Leppänen et al., 2002; Richardson, Leppänen, Leiwo & Lyytinen, 2003) que han mesurat la competència fonològica abans de l'edat escolar, també indiquen que és predictora dels resultats que l'infant obtindrà en l'adquisició de la lectura. Estudis com els de Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky & Seidenberg (2001) apunten que els preescolars que són més fluents realitzant jocs fonològics aprenen a llegir amb major rapidesa. En el cas de l'espanyol, autors com Jiménez & Ortiz (2000), han mostrat la importància de la síl·laba i de la consciència sil·làbica com a predictora de les habilitats lectores dels infants. Tot i així, autors com Jiménez & Muñeton (2002) indiquen que un cop els nens espanyols coneixen el codi alfabètic i dominen la consciència fonèmica, ja no són necessaris els components intrasil·làbics per llegir.

- c) La velocitat de denominació. Investigacions inicials realitzades per Geschwind (1965) i posteriorment per Denckla & Rudel (1974) amb la creació del test RAN (*Rapid Automated Naming*), que consisteix en la denominació ràpida d'estímul visual coneguts, com ara dígit, lletres, objectes i colors, van destacar que un dèficit en la velocitat de denominació era un factor predictor de l'èxit lector en diferents idiomes. La velocitat de denominació, especialment de lletres, representa una primera aproximació a la velocitat de lectura de les paraules i un important predictor de la

fluïdesa lectora (Defior & Serrano, 2011). Segons diversos estudis, l'execució en tasques RAN és altament predictora dels èxits en l'aprenentatge de la lectura i de l'escriptura en les ortografies transparents però també ho és, encara que en menor grau, en les opaques (de Jong & Van der Leij, 2002; Landerl & Wimmer, 2008; Onochie-Quintanilla et al., 2011; Parrila, Kirby & McQuarrie, 2004; Wolf & Bowers, 1999). Altres estudis descriuen que, les mesures RAN, juntament amb la CF i el coneixement del nom de les lletres, prediuen de manera consistent la dificultat de la lectura futura en anglès (Pennington & Lefly 2001; Scarborough 1998; Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson & Foorman, 2004).

Wolf (2008) indica que el temps que triga el cervell en connectar els processos visuals i lingüístics per nombrar colors, lletres o números, més que l'exactitud, seria un bon indicador diferenciat d'aquells infants que no seran capaços d'aprendre a llegir amb normalitat. Lander & Wimmer (2008), van trobar que la tasca RAN era la millor variable predictora de creixement de la fluïdesa lectora mentre que la consciència fonològica ho era de l'ortografia. La investigació relacionada amb la velocitat de denominació, pot tenir conseqüències importants en la detecció precoç de la dislèxia en infants prelectors (Wolff, 2014). Amb independència de l'edat, sabem que els dislèctics mostren problemes d'automatització en la denominació ràpida d'estímuls (Snowling & Hulme, 2011) mostrant-se notablement més lents en la recuperació de noms (Ackerman, Dykman & Gardner, 1990). Així, la tasca RAN ens permetria detectar i monitoritzar aquests infants durant els cursos d'educació infantil. El poder predictiu de RAN també varia segons els estímuls utilitzats (per exemple, números, imatges o lletres), Norton & Wolf (2010) indiquen que els colors i els objectes són els predictors més forts en les cursos inferiors.

- d) Memòria de treball i verbal a curt termini. La memòria verbal a curt termini s'entén com la capacitat per codificar una petita quantitat d'informació verbal, emmagatzemar-la temporalment i mantenint-la en la memòria

durant un curt període de temps, tot just uns segons si s'evita la repetició o el manteniment actiu (Defior & Serrano, 2011). La capacitat de conservar la informació verbal en la memòria de treball és essencial per a la lectura i l'aprenentatge, de manera que es podria esperar que les mesures de memòria verbal fossin predictores dels èxits futurs en aquesta àrea. Per altra banda, la memòria de treball s'utilitza per mantenir i manipular de forma temporal la informació en la memòria a curt termini. En el model de Baddeley (1986), la memòria de treball constaria de dos mecanismes d'emmagatzematge, un de caràcter fonològic i un altre de caràcter visual. La memòria fonològica és la que està més estudiada i relacionada amb la lectura. El component fonològic de la memòria de treball, té un paper important en l'adquisició del llenguatge i l'aprenentatge de la correspondència grafema-fonema. Els dèficits de memòria fonològica podrien explicar el baix nivell de vocabulari, la baixa velocitat de denominació i la baixa fluència en els subjectes amb dislèxia (Gathercole & Baddeley, 1993; Ramus, Marshall, Rosen & van der Lely, 2013). Autors com de Jong & Van der Leij (1999), afirmen que les habilitat de memòria verbal en educació infantil són predictores de l'execució en lectura en anys posteriors. En la mateixa línia, la memòria operativa és un bon predictor de l'execució en lectura, comprensió lectora, escriptura (Alloway, 2009; Alloway, Gathercole, Kirkwood & Elliott, 2009; Hannon & Daneman, 2001) i reconeixement de paraules, independentment de la CF (Georgiou, Das & Hayward, 2009).

1.5.5. Subtipus de dislèxia

La dislèxia és un trastorn que impedeix que el sistema de lectura en desenvolupament esdevingui eficient i automatitzat mostrant característiques variables en els infants que la presenten. Les classificacions més esteses i acceptades estan basades en models de doble ruta de la lectura (Castles & Coltheart, 1993). Segons aquests models, el grau d'adquisició i desenvolupament de les dues rutes utilitzades per llegir (ruta lèxica o fonològica) definirà el tipus de dislèxia, fonològica, superficial o mixta (Ziegler et al., 2008; Jiménez & Rodríguez,

2014). Tanmateix la classificació d'aquests tipus no és tan clara i moltes vegades les característiques presents en cadascun d'ells se solapen. La pràctica clínica ens demostra que els nens que presenten patrons purs són pràcticament inexistents i que, en menor o major grau, són mixtes.

Taula 2

Descripció dels subtipus de dislèxia

Dislèxia	Descripció de la lectura
Fonològica o sublèxica	<p>Dificultat per utilitzar la ruta sublèxica (problemes en la conversió grafema-fonema). Utilitzen més la ruta lèxica durant la lectura i per tant, van més ràpid.</p> <p>Problemes per llegir paraules molt llargues o pseudoparaules (tirpaco, per exemple) o paraules poc freqüents (planificador, per exemple) donat que no estan en el seu vocabulari. Són capaços de llegir paraules més freqüents o familiars per la via lèxica i això fa que presentin major nombre d'errors (paralèxies visuals; menjava per penjava o pilota enloc de pistola, per exemple o errors de derivació; sabata per sabateria).</p> <p>L'ortografia arbitrària està més ben conservada.</p>
Superficial o lèxica	<p>Dificultat per utilitzar la ruta lèxica i per llegir globalment la paraula. Tenen més preservada la ruta sublèxica.</p> <p>Utilitzen la via fonològica provocant lletreig i alentiment durant la lectura de pseudoparaules, paraules poc o molt freqüents. Cometen menor nombre d'errors.</p> <p>Dèficits en l'ortografia arbitrària en aquells casos que no hi ha correspondència G-F (majúscules, signes d'accentuació...).</p>
Mixta	Dificultats per utilitzar la ruta fonològica i la lèxica. Comparteixen característiques dels dos tipus de dislèxia.

Nota. Adaptada de Jiménez et al. (2014).

La simplicitat fonològica i la poca profunditat ortogràfica de les llengües transparents fan que fomentin el desenvolupament del processament fonològic, per tant seria d'esperar que la dislèxia sublèxica fos menys freqüent en espanyol o català que en anglès (Jiménez & Ramírez, 2002; Jiménez et al., 2009). Les

investigacions generalment donen suport a la hipòtesi d'una taxa d'incidència més alta de dislèxia fonològica en anglès en comparació amb la dislèxia superficial (Castles & Coltheart, 1993; Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang & Petersen, 1996; Stanovich, Siegel & Gottardo, 1997), però s'han trobat resultats contradictoris en estudis espanyols (Jiménez & Ramírez, 2002; Serrano, Defior & Jiménez-Fernández, 2005). La justificació d'aquestes troballes rau en les diferències metodològiques per validar la classificació en els diferents subtipus.

1.5.6. Explicacions de la dislèxia des del model integrador

La definició i els factors causals de la dislèxia han suposat un punt de desacord entre la comunitat científica. Frith (1997, 1999) va proposar que l'explicació de la dislèxia podia fer-se des de diferents nivells descriptius i proposa un model causal integrador que té en compte la influència de l'entorn, agreujant o millorant, i que interactua amb qualsevol o amb els tres nivells de processament, el biològic, el cognitiu i el conductual (figura 5). Aquest model permet integrar els diferents nivells d'explicació en els que s'ha fet èmfasi en la literatura sobre la dislèxia de manera separada i aportant una visió integradora del trastorn, tenint en compte la diversitat de les seves manifestacions en la població.

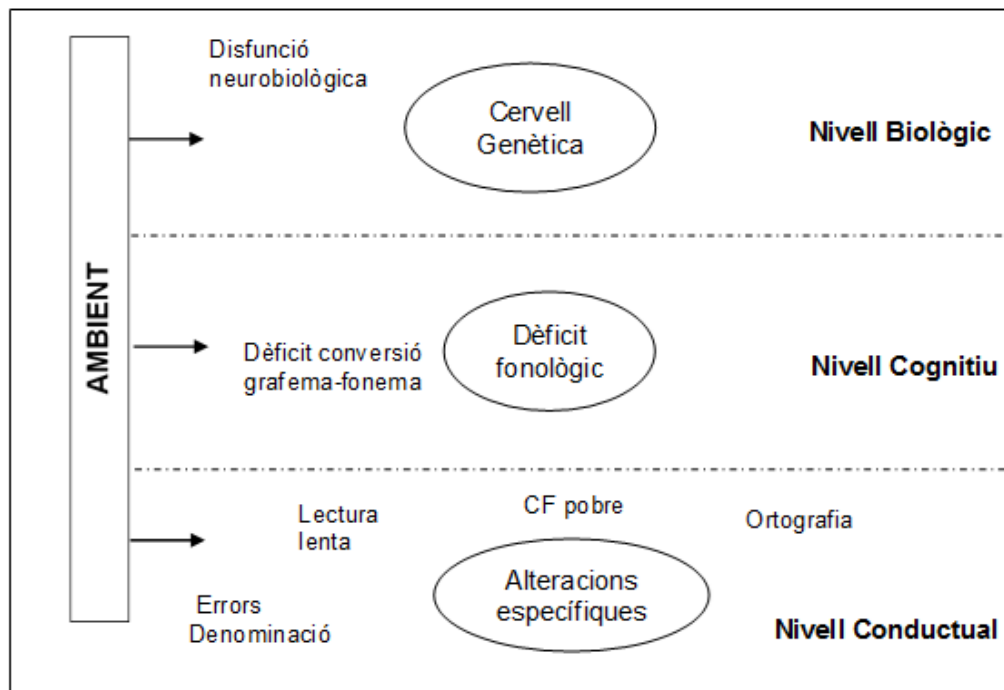


Figura 5. Adaptació gràfica del model causal de la dislèxia (Frith, 1985).

1.5.6.1. Nivell biològic

1.5.6.1.1. Bases genètiques

En l'actualitat els estudis genètics i neurobiològics són els que més suport científic tenen. Els primers aporten evidència a l'origen genètic de la dislèxia, mentre que els segons es basen en examinar el fonament neurobiològic de la lectura i de la dislèxia. S'han fet avenços considerables en la descripció dels mecanismes que subjauen a la dislèxia, tot i així encara necessitem entendre allò que causa les anomalies inicials en la migració neuronal que se suposa que originen aquesta discapacitat (Dehaene, 2009). Els antecedents familiars de dislèxia es coneixen com a factor de risc de desenvolupar-ne, augmentant la probabilitat de desenrotllar el trastorn al 30-50% (Gilger et al., 1991). En la dècada de 1950 es va demostrar que la dislèxia tenia un component hereditari amb els estudis de famílies (Hallgren, 1950; Olson, 1999; Fisher & DeFries, 2002). Estudis posteriors amb bessons van confirmar que hi ha una contribució genètica substancial als dèficits lectors (Bishop, 2015). En aquest àmbit cal destacar estudis de

concordança amb bessons, la presència de dislèxia és significativament major en bessons monozigòtics (MZ), amb una composició genètica pràcticament idèntica, més que en els dizigòtics (DZ). Un estudi a gran escala va demostrar una taxa de concordança d'un 68% en bessons MZ en comparació a un 38% en els DZ, indicatiu d'un component genètic important (DeFries & Alarcón, 1996). Desenes de grups d'investigació han estudiat l'heretabilitat, els models de transmissió i els antecedents genètics de dificultats específiques en la lectura (Fisher & DeFries, 2002). S'han identificat múltiples regions genètiques d'interès que suggereixen la implicació de diversos gens i marcadors relacionats amb la dislèxia, el gen DYX1C1 al locus DYX1 del cromosoma 15 (15q21); els gens KIAA0319 i DCDC2 en el locus DYX2 del cromosoma 6 (6p22.3-p21.3); els gens C2ORF3 i MRPL19 en el locus DYX3 del cromosoma 2 (2p16-p15); i el gen ROBO1 al locus DYX4 i DYX5 del cromosoma 6 (6q11.2-q12) i 3 (3p12-q13). Els gens candidats associats a dislèxia, DYX1C1, KIAA0319, DCDC2 i ROBO1 com a reguladors de connexions interhemisfèriques, han estat implicats en mecanismes de migració neuronal mitjançant estudis de models animals (Mascheretti et al., 2017; Paracchini et al., 2011; Paracchini, Scerri & Monaco, 2007; Scerri & Schulte-Körne, 2010). Està clar que aquesta no és la seva única funció cel·lular i encara es desconeix el paper específic de cadascun d'ells en el desenvolupament del trastorn (Carrion-Castillo, Franke & Fisher, 2013; Gringorenko, 2003; Fisher & Vernes, 2015). Recentement, alguns autors han qüestionat els aspectes metodològics dels treballs en què se sustenta la teoria de la migració neural, pel que es recomana cautela en la seva interpretació (Guidi et al., 2018). Autors com Dehaene (2009) hipotetitzen que la gran quantitat de gens implicats en la dislèxia podrien contribuir en els processos d'ajustament dels circuits corticals en les nombroses regions que estan implicades en la lectura.

1.5.6.1.2. Bases cerebrals

Els estudis anatòmics mitjançant autòpsia i tècniques de neuroimatge han aportat moltes dades al coneixement de la dislèxia. Una contribució destacada arriba de Galaburda (1978, 1985) amb les anàlisis postmortem dels cervells de dislèctics. Els resultats van mostrar la presència d'ectòpies neuronals i displàsies

arquitectòniques a les regions perisilvianes esquerres i, a diferència dels normolectors, no existia asimetria en el pla temporal (Galaburda & Livingstone, 1993). Aquesta zona cerebral és una de les àrees implicades en la comprensió del llenguatge i fonamental per al processament fonològic.

Les diferències entre les persones amb dislèxia i els bons lectors inclouen variacions bioquímiques en lòbuls temporals i parietals (Rae et al., 1998), menys mielina en aquestes mateixes regions (Klingberg et al., 2000), i anomalies estructurals a l'ínsula, (Pennington et al., 1999), pla temporal, cerebel i gir de Heschl (Leonard, 2001). Gràcies a l'avenç metodològic en les imatges cerebrals, les bases biològiques de la dislèxia han quedat paleses i han permès un millor coneixement del funcionament neuronal.

1.5.6.1.2.1. Alteracions estructurals

En els darrers anys, la demostració que es poden produir canvis estructurals en el cervell, més enllà dels associats al propi desenvolupament, l'envelliment i la neuropatologia, ha mostrat un nou enfocament per estudiar la base neuronal del comportament (Richardson & Price, 2009). Una part important d'aquest coneixement s'ha assolit mitjançant imatges cerebrals per ressonància magnètica centrades en l'estudi del volum i la densitat de la substància grisa a través de la morfometria basada en el vòxel (VBM, de l'anglès *Voxel-Based Morphometry*) o de l'estudi de la integritat de la substància blanca mitjançant imatges de tensor de difusió (DTI, de l'anglès *diffusion tensor imaging*). Durant els últims quinze anys, s'han publicat un nombre creixent d'estudis mitjançant la tècnica VBM per avaluar de forma automàtica els canvis estructurals del cervell i fins ara ha estat la tècnica més utilitzada per analitzar diferències neuroanatòmiques en la dislèxia i altres trastorns (Ashburner & Friston, 2000). S'han publicat al voltant de més de vint estudis VBM amb l'objectiu d'examinar les diferències estructurals entre adults i nens dislèctics i normolectors (Ramus, Altarelli, Jednoróg, Zhaod & Scotto di Covella, 2018).

En un article de revisió, Richardson & Price (2009) van observar que els augments i les reduccions del volum de matèria grisa (VMG) entre grups de dislèctics i

normolectors es distribuïen en regions tant de l'hemisferi esquerre com del dret. Les àrees més freqüentment indicades inclouen regions temporoparietals posteriors amb augment i disminució del VMG en dislèctics (Brambati et al. 2004; Hoeft et al. 2007a; Steinbrink et al. 2008), disminucions del VMG a la regió frontal inferior esquerra (Brown et al. 2001; Eckert et al. 2005), disminucions de VMG en regions occipitotemporals bilaterals (Eckert et al. 2005; Kronbichler et al. 2008) i disminucions de VMG en el cerebel (Brambati et al. 2004; Eckert et al. 2005; Kronbichler et al. 2008). En estudis com el de Pernet, Andersson, Paulesu & Démonet J. F. (2009) no es van observar diferències en el volum cerebral total ni parcial entre dislèctics i normolectors. Van suggerir que els dislèctics presentaven patrons significativament diferents de variacions de volum respecte al grup normolector, principalment en el solc temporal superior, gir fusiforme i cerebel. Van veure que els patrons de variacions de volum correlacionaven en tots dos grups amb els rendiments en pseudoparaules, els dislèctics se situaven a la cua inferior de la distribució en termes de volums i de rendiments.

Hi ha estudis que convergeixen i reporten evidències en la reducció del VMG en un conjunt de regions, majoritàriament de l'hemisferi esquerre (Eckert, 2004; Norton, Beach & Gabrieli, 2015; Pugh et al., 2001; Richardson & Price, 2009). Tanmateix, tres metaanàlisis han mostrat una consistència limitada d'aquestes troballes (Eckert, Berninger, Vaden, Gebregziabher & Tsu, 2016; Linkersdörfer, Lonnemann, Lindberg, Hasselhorn & Fiebach, 2012; Richlan, Kronbichler & Wimmer, 2013). En la metaanàlisi realitzada per Richlan et al., (2013) es van seleccionar i analitzar nou estudis amb participants anglesos, alemanys, francesos i italians amb edats mitjanes compreses entre els 11 anys en l'estudi més jove fins als 41 anys. Els nou estudis van trobar una disminució de la SG (substància grisa) en el grup dislèctic en el gir temporal superior dret i en el solc temporal superior esquerre. En canvi, en dos estudis es van trobar increments de SG en el gir temporal mig posterior esquerre (Silani et al., 2005) i en el gir precentral dret (Vinckensbosch, Robichon & Eliez, 2005). En una altra metaanàlisi realitzada per Linkersdörfer et al. (2012) utilitzant un mètode d'estimació de la probabilitat d'activació, van detectar reduccions de VMG en el grup dislèctic en el gir supramarginal bilateral, cerebel, gir temporal superior dret, fusiforme esquerre

i gir temporal inferior. No es van trobar diferències significatives en el VMG i el VMB cerebral total. En un altre estudi Ma et al. (2015) no van detectar anormalitats en el VMG en nois i noies amb antecedents de dislèxia. En canvi, Raschle, Chang & Gaab (2011) van informar que els nens prelectors amb antecedents familiars de dislèxia tenien menys VMG a la xarxa de lectura, en relació amb els nens controlats sense antecedents familiars de dislèxia. Aquesta troballa suggereix que les anomalies cerebrals estructurals en la dislèxia estan presents abans de l'experiència lectora i no en funció d'aquesta.

Ramus F. et al. (2018) indiquen que el volum cerebral total (VCT) reduït en la dislèxia del desenvolupament sembla ser la mesura més robusta en comparació amb altres mesures globals suggerint que aquest pugui ser un factor de susceptibilitat general per a molts trastorns del desenvolupament, juntament amb altres factors més específics. Encara està per determinar si la disminució del volum cerebral participa en l'etiologia de la dislèxia o si és una simple conseqüència de la disrupció precoç del desenvolupament cerebral. De totes maneres, cal tenir en compte les diferències de grup en el VCT, ja que poden afectar moltes altres diferències cerebrals locals.

En la metaanàlisi recent d'Eckert et al. (2016) amb 11 estudis analitzats i un total de 462 participants, descriuen un VMG menor en el còrtex orbitofrontal esquerre, solc temporal superior posterior esquerre, gir temporal mig i cerebel dret en dislèctics. En el seu estudi amb mostra de joves dislèctics, Yang, Yang, Chen, Zhang & Bi (2016) van trobar una reducció significativa del VMG del cerebel esquerre.

Jednoróg, Gawron, Marchewka, Heim & Grabowska (2014) suggereixen que l'heterogeneïtat de les mostres, l'edat i el perfil conductual de les mateixes fan que els estudis de dislèxia amb la tècnica VBM no sempre obtinguin resultats similars i molts cops són impossibles de comparar a causa de les propietats específiques de l'escaner i del lloc on es realitza (May & Gaser, 2006). Segons Ramus et al. (2018) les possibles variabilitats en els resultats podrien produir-se pel nivell i tipus de correcció estadística per a múltiples comparacions o pels índexs utilitzats. Tot i que no són intercanviables, alguns autors empren indistintament mesures

globals, volum intracranial total (VIT), VMG, VMB, sense tenir en compte que aquestes mostren tendències longitudinals diferents amb l'edat.

Els estudis VBM utilitzats per avaluar canvis en el VMG després d'una intervenció de lectura en mostra pediàtrica són escassos. Krafnick, Flowers, Napoliello & Eden (2011), van presentar per primera vegada un estudi amb la tècnica VBM mostrant que les millores de lectura provocades per la intervenció en infants dislèctics van acompanyades de canvis en el VMG.

Van formar part de l'estudi 11 nenes i nens dislèctics amb edats entre els 7 i els 11 anys sotmesos a una intervenció de 8 setmanes utilitzant el programa Seeing Stars (Lindamood-Bell Learning Processes ©) que treballa la lectura de forma multisensorial per ajudar l'infant a millorar les representacions visuals i fonològiques. Després d'aquest període de reeducació es van registrar mesures a les 8 setmanes posteriors sense instrucció (mesura control). Els autors van observar que després de la intervenció i en comparació amb les imatges prèvies, es van evidenciar increments del VMG en el gir fusiforme anterior esquerre, precuneus, cerebel dret i hipocamp dret.

D'altra banda, diversos autors s'han centrat en l'estudi del cos callós (CC) i el seu paper en la transmissió interhemisfèrica d'informació visual i auditiva òptima durant la lectura (Plessen et al., 2002). Els estudis de cas d'infants amb agenèsia del CC han descrit un perfil de lectura comparable a la dislèxia fonològica del desenvolupament postulant que aquesta estructura pot ser fonamental en el desenvolupament de la ruta fonològica (Temple, Jeeves & Vilarroya, 1990). La mielinització de les fibres del CC durant la infància suggereix un procés de desenvolupament continu per establir una comunicació eficient entre els hemisferis cerebrals (Giedd et al., 1996). Aquesta maduració és coherent amb l'increment d'habilitats neuropsicològiques complexes i la maduració de les àrees corticals corresponents. Diversos estudis han buscat anomalies estructurals en el CC en subjectes dislèctics però han trobat resultats contradictoris a causa de les diferències en la tècnica de RM aplicada i de les mesures analitzades. Autors com Larsen, Ödegaard & Höien (1992); Pennington et al. (1999) no van trobar diferències estructurals en el CC entre els subjectes dislèctics i els controls. En

canvi, autors com Duara et al. (1991) i Rumsey et al. (1996) van reportar una part posterior augmentada del CC en dislèctics adults. Un altre grup d'autors, Robichon & Habib (1998) van comparar la mida i la forma del CC en un grup de dislèctics adults i un grup de control. Van concloure que els dos grups es diferenciaven respecte a la forma del CC: el dels dislèctics mostrava una forma general més circular i uniformement més gruixuda i la superfície mitjana era més gran que en els controls, en particular, en l'istme. Estudis més clàssics ja reporten una diferència en el tamany del terç posterior del CC, istme i espleni, trobant-se de major tamany en els subjectes dislèctics. Aquestes àrees contenen fibres de l'escorça parietal temporal i posterior, així com del còrtex occipital (Pandya et al. 1971; Rockland & Pandya 1986; Witelson 1989). Així, aquesta regió està associada a àrees de llenguatge posteriors en les quals s'han reportat asimetries anatòmiques alterades i altres anomalies en dislèxia (Duara et al 1991; Hynd, Semrud-Clikeman, Lorys, Novey & Eliopoulos, 1990; Kushch et al. 1993; Leonard et al. 1993).

Un altre grup d'autors (von Plessen et al., 2002) va comparar la forma i la mida del CC en una mostra de dislèctics i controls amb una tècnica de traçat de contorns manual i un mètode d'anàlisi d'alineació automàtica de formes. Els seus resultats descriuen que van obtenir una forma més curta del CC en el grup de dislèctics, concretament la zona posterior (istme) sense que trobessin diferències entre els grups respecte a la resta de regions analitzades. En un estudi més recent, Elnakib, Casanova, Gimelfarb, Switala & El-Baz (2012) utilitzant una tècnica 3-D RM van comparar un grup de 16 adults dislèctics i un de 14 controls i van obtenir diferències significatives en les quatre regions del CC analitzades (espleni, rostre, genoll i cos). Van trobar que la SB en els subjectes dislèctics era superior als controls, bilateralment al llarg del cos del CC, aquest era més gruixut i l'extrem anterior i posterior era més reduït en el grup dislèctic.

El CC és el grup de fibres més gran que connecta els hemisferis cerebrals esquerre i dret del cervell humà. Les variacions de superfície del CC es relacionen amb alteracions de la connectivitat intrahemisfèrica i, per tant, també proporcionen

una correlació a les troballes recents que suggereixen defectes en la connectivitat entre diferents regions cerebrals en la dislèxia (Wolf, 2008).

Altres estudis realitzats amb VBM i RM estructural també han trobat una reducció del volum del nucli caudat bilateral, de l'ínsula bilateral i l'àrea 6 de Brodmann en grups de dislèctics (Jagger-Rickels, Kibby & Constance, 2018; Hoeft et al., 2007a; Eckert et al., 2005; Tamboer, Scholte & Vorst, 2015; Brown et al., 2001). Aquestes àrees estan implicades en el procés lector, el caudat i l'ínsula participen en la lectura de paraules de baixa freqüència (Fiebach, Friederici, Müller & Cramon, 2002), el còrtex precentral està involucrat en diversos aspectes de la lectura i el processament fonològic (Brown et al., 2001) i segons Pennington et al. (1999) l'ínsula també està implicada en la planificació motora del discurs. Autors com Jagger-Rickels et al. (2018) destaquen la necessitat de realitzar una anàlisi centrada en les xarxes funcionals del cervell per ajudar a determinar com les estructures anteriorment esmentades donen suport a les principals xarxes cerebrals per a la lectura.

Altres estructures com el tàlem també s'han vist implicades en diversos estudis sobre dislèxia, particularment amb troballes d'anomalies cel·lulars (Galaburda, Menard & Rosen, 1994; Livingstone, Rosen, Drislane & Galaburda, 1991) i una reducció de la substància grisa en aquesta regió (Brown et al., 2001; Jednoróg et al., 2015). Müller-Axt, Anwander & von Kriegstein (2017) van trobar que subjectes amb dislèxia havien reduït connexions estructurals en la via directa entre el nucli geniculat lateral (NGL) del tàlem esquerre i l'àrea temporal mitjana V5 esquerra, però no entre el NGL esquerre i el còrtex visual primari esquerre. D'altres autors com Giraldo-Chica, Hergarty & Schneider (2015), van investigar l'estructura anatòmica del NGL en un grup de subjectes dislèctics i controls. Ells van trobar diferències significatives en el volum, la morfologia i la ubicació del NGL entre els dos grups, proporcionant evidència d'anomalies anatòmiques del NGL associades a la dislèxia.

Un altre grup d'autors com Casanova et al. (2005) van realitzar un estudi on van descriure la distribució d'anomalies estructurals relacionades amb la simetria cerebral en subjectes dislèctics utilitzant imatges RM tridimensionals. Els resultats

van mostrar anomalies significatives en cinc estructures de l'hemisferi esquerre; amígdala, hipocamp, gir parahipocampal, putamen i globus pàl·lid.

Per tal que hi hagi un desenvolupament òptim en l'aprenentatge de la lectura, és necessària la implicació de les regions corticals distants, de la seva activació i comunicació adequades. En aquest sentit, s'ha plantejat que la dislèxia podria contemplar-se com una síndrome de desconexió (Paulesu et al., 1996) i com a conseqüència d'una disfunció en la connectivitat cortical (Pugh et al., 2000). Tenint en compte el caràcter interactiu i dinàmic del cervell i seguint en la línia del descrit anteriorment, un nombre d'investigacions han suggerit que el dèficit neuronal de la dislèxia podria no originar-se a les regions corticals, sinó a les connexions de la matèria blanca (Boets et al., 2013; Saygin et al., 2013; Wang et al., 2017). Les tres regions principals de la xarxa de lectura estan connectades dorsalment a través del fascicle arquejat, la regió temporoparietal esquerra i el gir frontal inferior esquerre, i una connexió ventral sostinguda pel fascicle frontooccipital inferior que connectaria la regió occipitotemporal esquerra i el gir frontal inferior esquerre (Vandermosten, Boets, Wouters & Ghesquière, 2012) (figura 6).

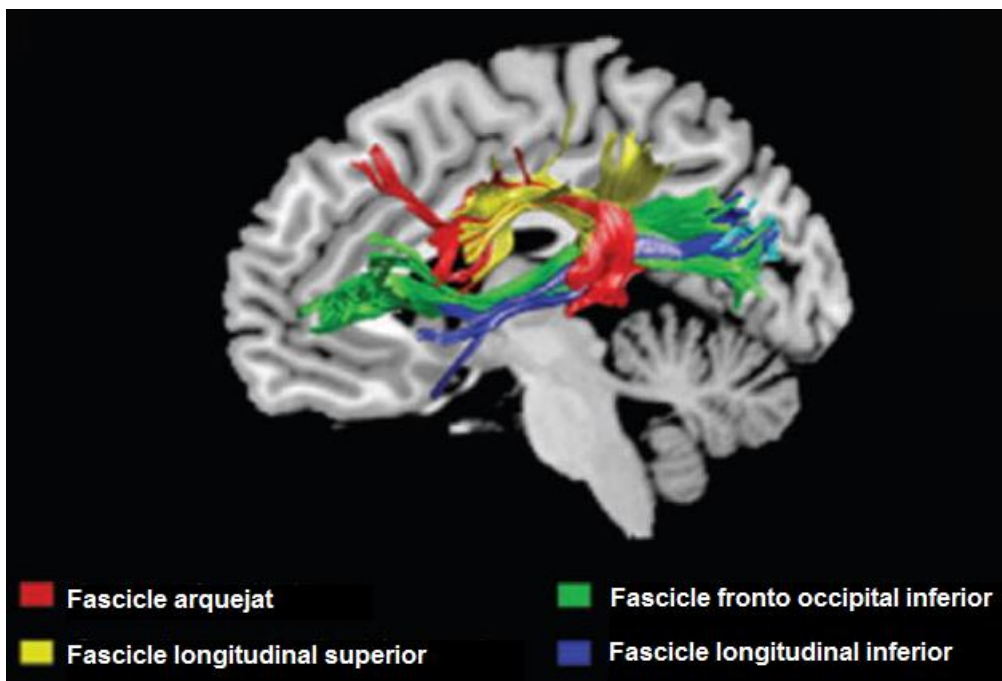


Figura 6. Les vies de matèria blanca que connecten les regions dorsal, ventral i anterior per formar el circuit de lectura. Imatge adaptada d'Ozernov-Palchik & Gaab (2016).

En aquest sentit, i a través de tècniques DTI s'ha observat que les persones amb dislèxia tenen una connectivitat estructural reduïda o absent entre les regions de la xarxa de lectura (Cao, Bitan & Booth, 2008; Pugh et al., 2000; Rimrodt, Peterson, Denckla, Kaufman & Cutting, 2010; Shaywitz et al., 2002; Stanberry et al., 2006; Van der Mark et al. 2011).

Altres estudis també apunten que les connexions recíproques entre el cerebel dret i les àrees de processament fonològic (gir frontal inferior esquerre i còrtex temporal esquerre) són importants per a la lectura fluida (Booth, Bebko, Burman & Bitan, 2007) mostrant una connectivitat funcional cerebrocerebel·lar alterada durant les tasques fonològiques en el grup de dislèctics (Stanberry et al., 2006). Feng, Li & Ding (2016) van observar que la connectivitat funcional era més forta per als lectors dislèctics en relació als normolectors entre el lòbul VI del cerebel dret i el gir fusiforme esquerre durant la tasca ortogràfica i entre el lòbul VI del cerebel esquerre i el gir supramarginal esquerre durant la tasca fonològica. Aquest patró de resultats suggereix que el cerebel compensa la deficiència lectora a través de les connexions amb regions cerebrals específiques responsables de la tasca de lectura. Un altre grup d'autors (Vanderauwera, Wouters, Vandermosten & Ghesquière, 2017) han proporcionat evidència que els infants dislèctics presenten anomalies de la substància blanca prèvia a la lectura en el segment llarg esquerre i dret del fascicle arquejat. Estudis recents amb infants amb risc de dislèxia (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016; Vandermosten, Hoeft & Norton, 2016) i amb aquells que desenvolupen habilitats lectores pobres (Wang et al., 2017) suggereixen que hi ha diferències neuronals abans de l'inici de l'aprenentatge lector. Així, la literatura fins ara descrita suggereix que les alteracions estructurals de la matèria grisa i blanca precedeixen l'inici de la lectura, per tant, seran necessaris i valuosos els estudis de RM en nadons per analitzar les característiques cerebrals innates de la dislèxia i establir la seva causalitat (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016).

1.5.6.1.2.2. Alteracions funcionals

Per estudiar quin és el patró d'activació cerebral durant la lectura en els dislèctics s'utilitzen diferents tècniques de neuroimatge funcional (PET, SPECT, fMRI...) Els estudis realitzats mitjançant imatges per ressonància magnètica funcional (fMRI, de l'anglès, *functional magnetic resonance imaging*) troben un patró d'activitat més reduït en el lòbul temporal esquerre en persones amb dislèxia quan es comparen amb un grup normolector (Richlan et al., 2013; McCrory, Mechelli, Frith & Price, 2005; Shaywitz et al. 2002; Temple et al., 2001). Estudis realitzats a infants i adults amb dislèxia comparats amb un grup normolector mostren patrons d'activació diferents en algunes zones cerebrals. S'observa una hiperactivació del gir frontal inferior esquerre quan els dislèctics llegeixen o realitzen tasques fonològiques (Shaywitz, 2002; Richlan, Kronbichler & Wimmer, 2011). Aquesta zona està relacionada amb l'articulació i la denominació i la seva activació probablement sigui el resultat d'una estratègia compensatòria que tenen els dislèctics per la poca activació que tenen de les zones posteriors per descodificar de forma automàtica (Paulesu et al., 2001; Dehaene, 2011). Seguint en aquesta línia també s'ha trobat una hipoactivació de la regió temporoparietal esquerra, en el gir temporal inferior, mitjà i superior, així com en el tall parietal inferior que inclou el gir angular i el supramarginal. Una darrera àrea que s'ha vist amb una clara hipoactivació en tots els estudis amb dislèctics és la zona occipitotemporal esquerra, gir occipital inferior i fusiforme juntament amb una activació majoritària de les regions homòlogues dretes, àrees dorsals prefrontals bilaterals, tàlem dret i ínsula anterior (Burton, Small & Blumstein, 2000; Hoeft et al., 2007b; Maisog, Einbinder, Flowers, Turkeltaub & Eden, 2008; Díaz, Hintz, Kiebel & von Kriegstein, 2012; Peterson & Pennington, 2012; Pugh et al., 2000; Simos et al., 2007; Temple, 2002; Richlan et al., 2010). En una metaanàlisi d'estudis de fMRI Linkersdorfer et al. (2012) van descriure una hiperactivació del cerebel durant les tasques de lectura suggerint aquesta activació com a conseqüència d'un major esforç o d'estratègies compensatòries dels dislèctics durant les tasques de lectura. Altres estudis més recents com els de Feng et al. (2016) també van observar una hiperactivació cerebel·losa durant les tasques de lectura, a pitjor rendiment lector

major era l'activació. Amb aquests resultats, els autors també van suggerir el paper compensatori del cerebel en els alumnes amb dislèxia.

D'altra banda, les tècniques de registre de l'activitat elèctrica cerebral (electroencefalografia i potencials evocats) han aportat informació sobre com el cervell processa la informació auditiva i visual, i la seva relació amb la dislèxia. Estudis com els de Goswami (2011) i Goswami, Power, Lallier & Facoetti (2014) indiquen que el dèficit fonològic de la dislèxia podria ser degut a una alteració de les xarxes neuronals implicades en la descodificació dels sons en general i de la parla en particular, havent-se proposat la teoria del “*sampling*” auditiu. En aquest sentit, s'han observat diferències en els ritmes d'activitat electroencefalogràfica de baixa freqüència (25-35 Hz, específica de la parla humana) entre els dislèxics i els controls, fet que reflectiria una dificultat dels primers per accedir a la representació fonèmica de la parla (Hämäläinen, Salminen & Leppänen, 2013; Lehongre, Morillon, Giraud & Ramus, 2013). Tot i així, les alteracions observades en el processament auditiu i de la parla no serien raons suficients per explicar completament els dèficits associats a la dislèxia sinó un factor de risc que, combinat amb altres aspectes, contribuiria al desenvolupament del trastorn (Leppänen et al., 2012; Plakas, van Zuijen, van Leeuwen, Thomson & van der Leij, 2013).

Cal esmentar els estudis que investiguen la connectivitat funcional en la dislèxia. Autors com Koyama et al. (2010) van indicar que els patrons de connectivitat funcional en els dislèctics es veuen influenciats pel tipus de tasca aplicada i van recomanar el seu estudi en estat de repòs (rsfMRI de l'anglès, *resting-state functional magnetic resonance imaging*). Investigadors com Schurz et al. (2015) van descriure una connectivitat reduïda entre les àrees temporals posteriors esquerreres i el gir fusiforme esquerre en adolescents dislèctics. Estudis com els de Finn et al. (2014) apunten resultats similars. Koyama et al. (2013) emprant rsfMRI van estudiar els patrons de connectivitat intrínseca en tres grups de dislèctics que havien rebut diferents tipus d'intervenció. Els seus resultats van destacar que la connectivitat entre el solc intraparietal i el gir frontal mig esquerre era més feble

en els tres grups de nens dislèctics, trobant diferents patrons de connectivitat segons la intervenció rebuda.

Tot i que la connectivitat en estat de repòs és una eina prometedora per a la investigació cerebral sobre la dislèxia, calen més estudis que aportin resultats més homogenis.

1.5.6.2. Nivell cognitiu

Les diverses teories explicatives de la dislèxia se centren en un o diversos dèficits cognitius bàsics per justificar les dificultats de l'aprenentatge lector. Totes elles fan referència al dèficit fonològic com a factor implicat en la dislèxia, bé sigui com a factor únic o com a part d'un problema més complex. Actualment conviuen quatre teories principals explicatives de la dislèxia agrupades en dues línies antagonistes:

Teories centrades en un dèficit específic

Des d'aquesta perspectiva les teories del dèficit en el processament fonològic i del dèficit en la velocitat de processament són les que han guanyat més força en l'explicació de la dislèxia.

1. Teoria del processament fonològic

És la teoria més acceptada per la literatura científica a l'hora d'explicar les dificultats que es produeixen en la dislèxia. Defensa que el dèficit principal és un problema en el processament fonològic del llenguatge i que resideix en una dificultat i manca d'automatització en el mecanisme de conversió dels grafemes amb els fonemes (representacions mentals dels sons de la parla que permeten la diferenciació entre les paraules) (Snowling, 2000). Segons Morris et al. (1998), en els nens petits en edat escolar, el dèficit fonològic representa la correlació més fiable i específica de discapacitat lectora.

Diferents estudis consideren el processament fonològic com una habilitat de caràcter implícit i explícit (Adams, 1990; Defior & Serrano, 2011; Dehaene, 2009). La primera apareix a l'hora d'utilitzar la informació fonològica sense reflexionar i de forma automàtica, fent ús de la informació

que es troba en la memòria a llarg termini (Herrera & Defior, 2005; Savage et al., 2005). La segona implica reflexionar sobre els sons de les paraules i la manipulació dels sons que les componen, la CF forma aquest habilitat explícita. La relació que aquesta té amb l'aprenentatge de la lectura encara suposa debat entre alguns autors. Kjeldsen, Niemi & Olofsson (2003) o Jiménez et al. (2005) defensen que la consciència fonològica és un prerrequisit per a l'adquisició de la lectura, Goswami & Bryant (1990) postulen que es desenvolupa com a conseqüència de l'aprenentatge lector i autors com Wise et al. (2008) integren els dos postulats anteriors defensant que la lectura fomenta la CF i que el nivell que presenti cada infant en aquest punt marcarà els avenços en la seva habilitat lectora.

La dificultat dels infants amb dislèxia per a la conversió de lletres en sons té un origen més bàsic, i és que la majoria d'ells pateixen un dèficit de processament dels fonemes. Aquesta afirmació es posa de manifest quan es comparen nens dislèctics i normolectors realitzant tasques de consciència fonològica (rimes, segmentació de paraules en fonemes, recombinació mental dels sons de la parla per formar paraules noves, etc.) (Bradley & Bryant, 1983). Els experiments de Liberman han demostrat que els infants esdevenen conscients de l'estructura fonològica del llenguatge entre els quatre i els sis anys d'edat. Aquesta autora va observar que els lectors deficientes no tenen consciència que les paraules escrites es poden dividir en fonemes. Aquesta dificultat els condueix a tenir una representació empobrida dels sons de les lletres al cervell i fa que els manqui un dels principals recursos per a la identificació de la paraula, la descomposició de les paraules en fonemes a partir dels grafemes (Liberman & Shankweiler, 1991).

Els estudis de Stanovich & Siegel (1994) o Gottardo, Stanovich & Siegel (1996) van demostrar que el dèficit fonològic era el marcador més significatiu i consistent en la població d'infants amb dislèxia. Els infants que no arriben a desenvolupar una adequada habilitat per al processament dels fonemes, tindran dificultats per entendre el sistema de codificació del llenguatge a través de l'alfabet. D'aquesta manera, qualsevol dèficit que

l'afecti es manifestarà amb una incapacitat per accedir ràpidament al significat de les paraules, degut a l'esforç que requereix l'aparellament de la informació ortogràfica i lingüística. D'aquí que la velocitat i la precisió en descodificar paraules siguin dues mesures importants en l'evolució del trastorn.

Diverses investigacions amb estudis postmortem (Geschwind & Levitsky, 1968; Galaburda, 1985), morfometria cerebral (Richlan, Dronbichler & Wimmer, 2013) o fMRI (Richlan, Kronbichler & Wimmer, 2011; Schurz et al., 2015; Shaywitz, Lyon & Shaywitz, 2006; Paulesu et al., 2001; Temple et al., 2003; Simos, Breier, Fletcher, Bergman & Papanicolaou, 2000) recolzen la hipòtesi del dèficit fonològic amb dades que indiquen una disfunció de l'hemisferi esquerre, en la regió parietal posterior on s'ubiquen les representacions fonològiques i en la regió occipitotemporal inferior on ho fan les representacions gràfiques de les paraules.

2. *Teoria de la velocitat de processament*

Aquesta teoria es basa en els resultats dels estudis de Denckla & Rudel (1976), confirmant les altes latències i la vacil·lació en la denominació d'estímuls familiars que mostren els dislèctics. La velocitat de denominació constitueix una mesura que permet diferenciar entre la majoria dels dislèctics i dels normolectors i igual que passa amb els dèficits en el processament fonològic, el dèficit en la velocitat de denominació sembla persistir en el temps. Alguns autors plantegen que la velocitat de denominació pronostica la precisió i la fluïdesa en la lectura de paraules i pseudoparaules afirmant que són un factor pronòstic en la lectura de paraules (Cirino, Israelian, Morris & Morris, 2005; Landerl & Wimmer, 2008; Moll, Fussenegger, Willburger & Landerl, 2009).

En un esforç integrador, Wolf & Bowers (1999, 2000) han proposat la teoria del doble dèficit segons la qual el dèficit fonològic i els processos subjacents a la velocitat de denominació tenen una contribució diferent a les dificultats de lectura, i la seva combinació conduiria a una greu dificultat lectora. Les dificultats lectores podrien manifestar-se per un dèficit en el

processament fonològic que dificulta la manipulació dels sons de les paraules o com un dèficit en la velocitat de denominació que dificulta l'accés i la recuperació dels noms dels estímuls visuals. L'aparició individual d'aquests dèficits posaria de manifest l'existència de diferents subtipus de nens amb dislèxia (Wolf & Bowers, 1999; Lovett, Steinbach & Frijters, 2000).

Des de les teories del dèficit específic s'està evolucionant cap a un model de dèficit múltiple i cada vegada són més els investigadors que el proposen per entendre la dislèxia i els trastorns del neurodesenvolupament en general (Pennington, 2006). Des d'aquesta vessant, es defensa que el dèficit fonològic també aniria associat a un dèficit en la velocitat de processament i des d'aquesta visió s'explicaria els subtipus de dislèxia, fonològica, de superfície o mixta en funció del tipus d'afectació.

Teories centrades en un dèficit general

Des d'aquesta perspectiva s'han desenvolupat diverses teories que indiquen que la dislèxia es produeix per un dèficit primari i que està lligada a dèficits sensorials (auditius i visuals) o disfuncions cerebel·lars i motores.

1. Teoria del processament auditiu ràpid

Aquesta teoria va ser desenvolupada per Paula Tallal (1980) i proposa que la lectura requereix de la percepció gairebé instantània d'estímuls auditius de molt curta durada i/o de successió ràpida. Tallal va demostrar que persones amb dislèxia, igual que nens amb problemes de llenguatge, presenten dificultats importants a l'hora de realitzar tasques que requereixen el processament d'estímuls auditius presentats successivament de forma ràpida. La base teòrica es basa en el baix rendiment dels dislèctics a l'hora de discriminar freqüències. La baixa percepció dels trets auditius bàsics dels sons genera dificultat en discriminar fonemes. Per aquest motiu, argumenta que els dislèctics requereixen de més temps que els normolectors per processar tons breus

separats (Tallal & Piercy, 1973). Els autors que es basen en aquesta teoria, expliquen que el dèficit fonològic és una conseqüència del primer (Tallal, Miller & Fitch, 1993). Tot i així, l'evidència contra aquesta teoria és àmplia i ben documentada. Tampoc s'ha trobat una relació fiable entre mesures auditives i altres mesures més generals d'habilitats fonològiques i lectura (Ramus et al., 2003b). A través dels seus estudis, autors com Kronbichler, Hutzler & Wimmer (2002) i Ramus, Pidgeon & Frith (2003), van afirmar que el dèficit més important en la dislèxia és el dèficit fonològic, aquest seria suficient per a la seva aparició i que el dèficit auditiu, malgrat no estar present en tots els dislèctics, en aquells en què sí que es manifesta, també és important i podria agreujar els problemes fonològics.

2. *Teoria visual*

La implicació del sistema visual en la dislèxia apareix des de les primeres teories que afirmaven que la causa de les dificultats lectores es basava en una disfunció perceptiva i de memòria visual i que es manifestava amb una inversió de lletres i de paraules (Orton, 1925). Recordem que un dels treballs pioners sobre la dislèxia la va descriure com a una ceguera congènita per a les paraules (Morgan, 1896), reforçant d'aquesta manera el paper nuclear del sistema visual en la lectura. La base de la teoria és una dificultat en el processament visual de les lletres i de les paraules escrites i considera que el problema visual contribueix de forma important l'aparició de dificultats lectores.

S'entén la relació entre la lectura i el sistema visual pel fet que aquest és la clau d'accés al procés lector i qualsevol problema que hi hagi en aquest nivell afectarà el seu rendiment. Els possibles dèficits visuals lleus que influïrien en la lectura tenen a veure amb la dificultat per enfocar a curta distància, la fixació binocular inestable o la funció sacàdica deficient (Stein & Fowler, 1981). Una altra línia de recerca, apunta que la dislèxia és causada per un dèficit específic en la transferència de la informació sensorial des dels ulls fins a les àrees primàries de processament visual en el còrtex. Estudis com el de Hogben (1997) han trobat que l'interval de

processament entre estímuls en els dislèctics és més llarg que en els normolectors, això fa pensar que quan es presenta un segon estímul és possible que encara estiguin processant el primer.

La teoria visual considera que de les dues vies que contribueixen a la percepció visual, la via neural magnocel·lular dorsal (responsable dels esdeveniments visuals temporals en llegir) i la parvocel·lular ventral (se centra en el processament visual dels colors i la percepció fina de detalls espacials), la primera està alterada en alguns dislèctics (capes magnocel·lulars del NGL del tàlem i com a conseqüència apareixerien els problemes de processament visual (Goswami, 2014; Livingstone et al., 1991). Segons Stein (2001), la sensibilitat al moviment visual sembla ajudar a determinar el grau de desenvolupament de l'habilitat ortogràfica en lectors bons i dolents. En els dislèctics, la seva sensibilitat al moviment es redueix, molts d'ells mostren una fixació binocular inestable, per tant, una localització visual deficient, sobretot al costat esquerre. La inestabilitat binocular i visuoperceptiva poden provocar moviment i creuament de les lletres que intenten llegir.

La via magnocel·lular dorsal s'acaba principalment a l'escorça parietal posterior, regió que controla l'atenció selectiva (Corbetta & Shulman, 2002, 2011). Així doncs, un input d'entrada de la via magnocel·lular debilitat o alterat podria donar lloc a un dèficit d'atenció espacial i temporal en infants i adults amb dislèxia (Facoetti et al., 2006; Facoetti, Ruffino, Peru, Paganoni & Chelazzi, 2008; Gori & Facoetti, 2014).

La teoria magnocel·lular s'ha reformulat en termes d'un dèficit de processament temporal general i pretén integrar les diferents propostes plantejades, de manera que els nens amb dislèxia tenen dèficits específics en el processament d'estímuls ràpids en les modalitats visuals o auditives (Goswami, 2011; Vidyasagar, 2013; McLean, Stuart, Coltheart & Castles, 2011).

3. *Teoria cerebel·lar i motora*

Aquesta es fonamenta en què la lectura àgil és un procés automàtic. El cerebel és l'estructura que està implicada en els aprenentatges automàtics i està connectat amb pràcticament totes les regions corticals importants i això equival a dir que contribueix en gairebé totes les funcions cognitives, inclòs el processament de la parla, de la fonologia i l'escriptura (Dehaene, 2009). Les dificultats que presenten alguns infants a l'hora d'adquirir de forma normalitzada alguns automatismes donaria lloc a les dificultats lectores. Des d'aquesta teoria s'afirma que una disfunció cerebel·lar provoca dèficits en l'adquisició d'habilitats visuomotrius i automàtiques com són la lectura i l'escriptura (Yang et al., 2016). Sota aquesta perspectiva el dèficit fonològic seria una conseqüència d'aquesta falta d'automatització (Nicolson & Fawcett, 2006). Els defensors d'aquesta teoria donen suport a les dificultats de coordinació motora que presenten alguns dislèctics. Autors com Nicolson, Fawcett & Dean (2001) proposen que els trastorns del desenvolupament cerebel·lós poden provocar afectació de la lectura i de l'escriptura característics de la dislèxia, destacant el paper del cerebel en les habilitats relacionades amb el llenguatge. Com a suport de la teoria, els estudis amb diferents enfocaments han trobat que anomalies estructurals en el cerebel són un marcador neurobiològic vàlid per a la dislèxia (Eckert et al., 2003).

Tot i així, autors com Ramus et al. (2003a), afirmen que no s'ha trobat evidència ferma de relació entre les dificultats motores i el processament fonològic i lector. Malgrat que cada vegada hi ha més estudis que avalen la hipòtesi del dèficit cerebel·lós, el paper que té el cerebel en la dislèxia encara està lluny de ser clar. Els estudis de neuroimatge aporten coneixement i revelen la participació del cerebel en tasques de lectura així com les connexions recíproques que existeixen entre aquest i les àrees de processament fonològic (Feng et al., 2017). Tot i així, l'origen i les implicacions que té la reducció del VMG en estudis de BVM en el cerebel no són clars i calen més estudis per donar força a aquesta hipòtesi (Linkersdörfer et al., 2012).

1.5.6.3. Nivell conductual

Des del model integrador, la dislèxia es defineix per una sèrie de manifestacions clíniques diverses tenint en compte els correlats biològics i cognitius presentats anteriorment. Existeix un ampli consens entre la comunitat científica en reconèixer que la dislèxia té un dèficit bàsic en el processament fonològic (Ramus, 2003b; Shaywitz & Shaywitz, 2005; Vellutino, Scanlon & Lyon, 2000; Lyon, Shaywitz & Shaywitz, 2003; Paulesu et al., 2001; Snowling, 2000, Jiménez, et al., 2009; Suárez-Coalla & Cuetos, 2012; Snowling et al., 2019) entès com totes aquelles operacions mentals que fan ús d'informació fonològica o sonora quan es processa el llenguatge oral i escrit (Passenger, Stuart & Terrel, 2003).

El problema per accedir i processar la informació fonològica es posa de manifest amb una automatització deficient dels mecanismes de conversió grafema-fonema que presenten els dislèctics.

Les habilitats fonològiques correlacionen altament amb l'aprenentatge inicial de la lectoescriptura. Tal com indica Defior (1994), existeixen diferents nivells d'habilitats fonològiques depenent de l'edat i del tipus de tasca. La segmentació de síl·labes precediria a la manipulació de fonemes, seguida del reconeixement i diferenciació entre sons inicials i de final de paraula, la capacitat de segmentació i la consciència de cadascuns dels sons de la paraula. Aquest és un dels principals problemes amb què s'enfronten els infants prelectors. Les habilitats fonològiques són importants a l'hora de llegir i escriure paraules i pseudoparaules. Tal i com indica Snowling (2000) els infants amb dislèxia tenen un ritme lector més lent i cometen més errors durant la lectura de pseudoparaules que els normolectors, això es manifesta de forma evident en les llengües opaques. El procés d'aprenentatge de l'anglès és significativament més lent que en llengües més transparents com el castellà o el finès (Caravolas, Lervåg, Defior, Seidlová Málková & Hulme, 2013). Estudis com els de Serrano & Defior (2008) demostren que les dificultats en la lectura de pseudoparaules dels nens dislèctics, tant en ortografies opaques com transparents, apareixen quan aquesta no es pot realitzar mitjançant el reconeixement contextual ortogràfic ni s'assimilen a les paraules

reals. És d'aquesta manera quan es fan evidents les dificultats que presenten a l'hora de posar en marxa les habilitats fonològiques per realitzar la tasca.

Un altre element important en l'aprenentatge de la lectura és la memòria verbal, i concretament la memòria de treball, entesa com aquella habilitat per retenir una informació a la memòria a curt termini mentre s'està processant una altra informació nova. Estudis com els de Kramer, Knee & Delis (2000) posen de manifest que infants amb dislèxia presenten dificultats en memòria verbal i de treball. El problema que presenten els dislèctics es relaciona amb el llaç articulador, un component especialitzat en retenir la informació verbal durant un període de temps breu (Baddeley, 1986). Aquest component conté un magatzem per a la informació fonològica i desenvolupa el repàs necessari que mantindrà temporalment aquesta informació abans no passi a la memòria a llarg termini (Baddeley, 1998).

Un altra característica que apareix en els dislèctics és l'alentiment en tasques de denominació d'objectes familiars. La rapidesa de denominació és una capacitat decisiva en l'aprenentatge de la lectura que està relacionada amb la capacitat per accedir al lèxic (Cuetos, 2008). Els dislèctics són més lents en aquesta tasca, fet que comporta majors dificultats per formar representacions de les paraules i accedir a elles (Denckla & Rudel, 1976). Les habilitats en denominació es relacionen amb el vocabulari i tenir un bon nivell és un prerrequisit per assolir un rendiment lector òptim (Joshi, 2005). Pel que fa al llenguatge oral, Denckla & Rudel (1976), van trobar un resultat inferior en dislèctics en tasques de fluïdesa fonològica i semàntica. Hi ha consens en acceptar les dificultats que presenten els dislèctics en fluïdesa verbal a nivell fonològic però no a nivell semàntic (Frith, Landerl & Frith, 1995; Plaza, Cohen & Chevrie-Muller, 2002).

Un altre dels aspectes disfuncionals en infants amb dislèxia són les dificultats que presenten en ortografia. El procediment fonològic i ortogràfic són bàsics per a l'aprenentatge de la lectoescriptura. El segon és necessari per al reconeixement directe de paraules familiars, lectura i escriptura de paraules irregulars, infreqüents, homòfones o quan la informació fonològica no és suficient. En un estudi recent, Rodrigo et al. (2004) van objectivar dèficits en un grup d'infants

dislèctics comparat amb un grup del mateix nivell lector però més petits. Per tal que una paraula s'emmagatzemi en el lèxic ortogràfic cal que el lector s'hi exposi de forma repetida. Per norma, els infants dislèctics tenen un nombre d'exposicions a la lectura menor i això fa que el seu lèxic ortogràfic sigui inferior i en conseqüència tinguin més dificultats en aquesta àrea.

De forma més controvertida comença a definir-se una subcategoria d'infants dislèctics amb dèficits d'atenció visuoespacial (Valdois, Bosse & Tainturier, 2004; Bosse, Tainturier & Valdois, 2007; Facoetti & Molteni, 2001). Alguns estudis han demostrat que les habilitats visuoatencionals estan implicades en la lectura normal (Waechter et al., 2011; Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli & Facoetti, 2012) i també en la dislèxia (Hari, Renvall & Tanskanen, 2001; Vidyasagar & Pammer, 2010). Diverses investigacions han posat èmfasi en el span d'atenció visual, entès com la quantitat d'informació visual que es pot mantenir a través de breus interrupcions de l'entrada sensorial (per exemple, durant el parpelleig o els moviments sacàdics) i el rendiment de la lectura. Es postula que la capacitat visual es redueix en la dislèxia i que aquestes dificultats en la capacitat de processar matrius de diversos ítems limita el desenvolupament de la lectura (Bosse et al., 2007). Els nens amb un span d'atenció visual major processen més lletres a cada fixació i mostren una lectura de text més ràpida (Prado, Dubois & Valdois, 2007). L'impacte del span d'atenció visual en la lectura de text s'apropa a la dels lectors adults (Awadh et al., 2016). Autors com Goswami (2014) argumenten que el dèficit del span d'atenció visual seria la conseqüència de les poques habilitats de lectura dels lectors dislèctics.

1.6. Plasticitat cerebral

L'aprenentatge es produeix al llarg de tota la vida i el cervell gaudeix d'una plasticitat ininterrompuda, té la capacitat d'adaptar i reorganitzar les vies neurals com a resultat de noves experiències i aprenentatges (Blakemore & Frith, 2010). Cada episodi d'aprenentatge modifica els patrons d'expressió dels nostres gens i altera els nostres circuits neuronals, d'aquesta forma apareix una oportunitat per superar la dislèxia i altres trastorns del neurodesenvolupament (Dehaene, 2009).

Segons Goswami (2004) és important l'estudi dels processos que té el cervell per aprendre i recordar, des dels nivells moleculars i cel·lulars fins als sistemes i estructures cerebrals. El volum cerebral es quadruplica entre el naixement i l'edat adulta. Això es deu a la proliferació de connexions i a l'enorme plasticitat que té el cervell en resposta a nous aprenentatges o esdeveniments ambientals a que s'exposa.

Tal com comenta Wolf (2008), una de les meravelles del cervell és la seva capacitat per a reordenar-se a sí mateix i aprendre habilitats noves. En aquest sentit, l'aprenentatge de la lectura posa en marxa aquesta capacitat plàstica i reorganitza les xarxes neuronals preexistents de diferents regions cerebrals per especialitzar-les en l'habilitat lectora. Com passa amb totes les destreses acadèmiques, no hi ha etapes crítiques per a iniciar l'habilitat però sí sensibles per a fer-ho (Tokuhama-Espinosa, 2013). Tal i com indica Dehaene (2009), els circuits de la lectura són plàstics al llarg de tota la vida. Aquest tipus de plasticitat és dependent de l'experiència i no suposa cap etapa o finestra crítica per al seu aprenentatge, requereix d'unes habilitats bàsiques, d'exposició i d'entrenament (Bruer, 2000). Segons Dehaene (2009), els infants aprendran a llegir ja que els seus cervells ja tenen dissenyada una arquitectura cerebral necessària per a fer-ho. Estimular i contribuir al desenvolupament de les habilitats lingüístiques i visuals en les primeres etapes del desenvolupament pot jugar un rol bàsic en la preparació dels seus cervells per a llegir.

Els resultats amb tècniques d'imatge cerebral revelen el gran impacte de l'educació primerenca en diferents habilitats cognitives, l'alfabetització, l'aritmètica o el raonament. Els canvis cerebrals induïts per l'educació són possibles gràcies a l'adaptabilitat del cervell en desenvolupament i que està associat a una formació i eliminació contínua de connexions neuronals que vénen determinades per l'experiència a la que hom està exposat (Dehaene et al., 2010b).

Els coneixements actuals que disposem sobre la plasticitat i el funcionament cerebral ens ajuden a entendre quins són els factors implicats i facilitadors d'una intervenció exitosa. Alguns estudis han demostrat que la plasticitat cerebral es maximitza amb la intervenció precoç (Caravolas et al, 2005; Gabrieli, 2009) o amb

l'entrenament intensiu alternant períodes de son (Dehaene, 2009). Diversos estudis han demostrat l'impacte positiu de la intervenció cognitiva intensiva. Altres autors han obtingut canvis cerebrals significatius posteriors a la intervenció posant de manifest el restabliment parcial d'un patró d'activitat cerebral normalitzat en nens dislèctics i un efecte de compensació activant zones simètriques a les del circuit de lectura en l'hemisferi dret (Simos et al. 2002; Kujala et al., 2001; Temple et al., 2003; Shaywitz et al., 2004; Gabrieli, 2009).

1.7. Intervenció de les dificultats lectores

Diverses investigacions han mostrat que els nens que presenten dificultats lectores durant l'escolarització primària probablement continuaran mostrant-ne en anys posteriors (Francis et al., 1996; Juel, 1988; Torgesen & Burgess, 1998; Morgan, Farkas & Hibel, 2008) de manera que la reeducació primerenca podria millorar-ne el pronòstic (Vaughn, Denton & Fletcher, 2010; Ozernov-Palchik & Gaab, 2016). Donada la cronicitat de la dislèxia i els coneixements que disposem sobre la plasticitat del cervell i els sistemes neurals implicats en la lectura, els nens, adolescents i fins i tot els adults poden beneficiar-se de programes de reeducació específics amb l'objectiu d'aconseguir una lectura efectiva (Temple, 2002; Carreiras et al., 2009; Dehaene et al., 2010b).

Les intervencions que són efectives per a la majoria de nens i nenes impliquen instruccions explícites i aborden els cinc components que segons el National Reading Panel (NRP, 2000) són bàsics per treballar la lectura; la consciència fonològica, el coneixement alfabètic, la fluïdesa, el vocabulari i la comprensió. Tanmateix indiquen que per convertir-se en un bon lector, és important tenir una bona habilitat per descodificar en les fases inicials. Concretament, a finals de segon curs de primària, aproximadament cap als 7 anys, els nens han d'haver après a llegir per poder utilitzar aquestes destreses en l'aprenentatge d'altres matèries (Chall, 1983). Per aquest motiu, en els darrers anys s'ha produït un esforç significatiu per identificar els factors de risc de les dificultats lectores (Hulme & Snowling, 2016) i desenvolupar noves metodologies i programes per ajudar els infants amb retard lector (Fuchs & Vaughn 2012; Snowling & Hulme, 2012).

Moltes de les intervencions realitzades en països de parla anglesa i EUA estan recolzades dins del marc teòric de resposta a la intervenció (Rtl) (Fuchs & Fuchs, 2006). Aquests sistemes Rtl tenen molt present que la pràctica educativa ha de basar-se en el coneixement científic *event-based practise*. Mentre que aquest punt està implícit en l'entorn de salut, constitueix una autèntica novetat en els sistemes educatius (Serniclaes & Luque, 2011). La resposta a la intervenció (Rtl) és un enfocament multinivell per a la identificació i suport precoç dels estudiants amb necessitats d'aprenentatge i comportament. L'enfocament comença amb el cribratge universal i la intervenció basada en proves. Es fa un seguiment de l'evolució de cada infant i es redissenyen les tasques en base al nivell lector de l'alumne fins que aquest assoleix el resultat previst. És important destacar que la monitorització de la progressió del nen o la nena ha demostrat ser útil en la millora de rendiment lector (Hamilton et al., 2009). Si bé l'enfocament Rtl té molt suport en països de parla anglesa (Fuchs & Vaughn, 2012; Denton, 2012), a Espanya i a Catalunya encara està poc implementat (Crespo, Jiménez, Rodríguez, Baker & Park, 2018; Jiménez, 2010).

1.7.1. Efectes cognitius

Diversos estudis han demostrat que la intervenció primerenca té més èxit que la tardana (Caravolas et al, 2005; Gabrieli, 2009; Torgesen et al, 2001; Suggate, 2016). Si ens centrem en els tipus d'intervencions, la instrucció fonètica, incloses les que ensenyen sistemàticament correspondències de so de lletres i estratègies de descodificació, són les més investigades i han demostrat promoure millores significatives en lectura i ortografia en les primeres etapes del seu aprenentatge (Duff & Clarke 2011; Ehri et al., 2001a; Suggate, 2016; Suárez, García & Cuetos, 2013). En nens i adolescents la instrucció fonètica també s'ha demostrat que és l'enfocament més efectiu per a les dificultats de lectura (vegeu Galuschka et al., 2014 per a una revisió; McArthur et al., 2015; Ehri et al., 2001a). En aquesta línia, Suggate et al., (2010) van demostrar que les intervencions de descodificació fonètica eren més efectives en alumnes de primer curs mentre que les que estaven orientades a treballar la comprensió eren més efectives a partir de tercer. Els abordatges de sensibilització fonètica són àmpliament reconeguts com a

eficaços per a la reeducació de nens en edat preescolar amb risc de dificultats lectores (Ehri et al., 2001a, Bus & van Ijzendoorn, 1999; Suárez et al., 2013). Autors com Balbi, von Hagen, Cuadro & Ruiz (2018) indiquen que en llengües amb un grau alt de consistència ortogràfica com l'espanyol i encara que en menor mesura el català, la consciència fonològica i el principi alfabètic, dos punts claus a tenir en compte en tot programa d'intervenció segons el NRP (2000), serien més fàcils d'adquirir que en les llengües més profundes com l'anglès, el gran repte seria el d'aconseguir uns nivells òptims de fluïdesa lectora.

Un altre aspecte clau i directament relacionat amb la velocitat d'aprenentatge té a veure amb l'activació dels circuits d'atenció, recompensa i de plaer quan l'infant ha de realitzar algun aprenentatge que li és altament motivant. Aquest punt és un gran repte per als equips educatius, aconseguir que l'aprenentatge lector dels alumnes amb dificultats es faci a través d'activitats motivadores i plaents per tal de fomentar el desig i les ganes de continuar aprenent. En els darrers anys s'han provat moltes maneres noves d'ensenyar habilitats acadèmiques mitjançant tecnologies multimèdia en forma de jocs educatius o videojocs a fi d'aconseguir augmentar el nivell de motivació i de participació en diferents activitats d'aprenentatge (Girard, Ecalle & Magnan, 2013; Boot, Kramer, Simons, Fabiani & Gratton, 2008). És des d'aquesta finestra que s'està treballant per aconseguir intervencions dirigides a obtenir nivells de lectura òptims en infants amb dislèxia.

Tanmateix és interessant destacar que en els darrers anys s'han desenvolupat i aplicat diferents programes de formació assistida per ordinador per tal de millorar les dificultats lectores (Saine, Lerkkanen, Ahonen, Tolvanen & Lyytinen, 2011; Fälth, Gustafson, Tjus, Heimann & Svensson, 2013; Jiménez et al., 2007; Huges, Phillips & Reed, 2013; Wise, Ring & Olson, 2000; Lyytinen, Ronimus, Alanko, Poikkeus & Taanila, 2007. En aquest sentit, Saine et al. (2011) van realitzar un estudi amb 166 infants finesos de 7 anys, 50 d'ells amb risc de patir dificultats lectores. Se'ls va assignar a tres grups d'intervenció durant 28 setmanes, 4 dies a la setmana i 45 minuts de treball a cada sessió. Al primer grup se li va aplicar una instrucció fònica basada en activitats de lectura prèvia, CF, segmentació de paraules, identificació i manipulació de síl·labes, rimes, activitats de

descodificació, ortografia i vocabulari. El segon grup va rebre el mateix programa d'intervenció però a diferència del primer, l'activitat inicial de lectura prèvia es va substituir per un treball individualitzat amb el programa GraphoGame (Lyytinen et al., 2007), un software desenvolupat per prevenir les dificultats lectores en infants. L'aplicació oferia pràctiques lliures de context sobre síl·labes específiques i habilitats d'identificació de paraules. El tercer grup eren infants sense dificultats i rebien, igual que la resta de companys, instrucció de lectura a l'aula ordinària. Els resultats van indicar que aquells infants amb baixes habilitats prelectores que es van formar amb la intervenció de lectura correctiva assistida per ordinador van mostrar una millora en el coneixement de les lletres, precisió lectora, fluïdesa i ortografia, mantenint-se aquestes millores 16 mesos després de la intervenció.

Resultats com aquests avalen la importància de realitzar una intervenció primerenca per obtenir un nivell lector òptim mitjançant un entrenament específic en habilitats lectores amb ordinador. Reforça la idea que possiblement, l'entrenament de les habilitats fonològiques hauria de començar el més aviat possible en els infants amb risc, sobretot en països com Finlàndia on els nens i les nenes inicien l'educació formal als 7 anys (Elbro & Peterson, 2004).

Altres estudis han mostrat resultats positius després d'aplicar programes d'intervenció informatitzats. Fälth et al. (2013) van oferir una intervenció informatitzada a un grup de 130 nens i nenes suecs de segon curs, 100 infants amb dificultats lectores i 30 normolectors. Es van assignar a quatre tipus d'intervencions; bottom-up, top-down, combinada i ordinària. El programa d'entrenament va durar 25 sessions de 15-25 minuts cadascuna. El primer grup va rebre un entrenament fonològic mitjançant el programa informatitzat COMOHOT (Ferreira et al., 2003), el segon grup va tenir un entrenament informatitzat en comprensió mitjançant el programa Omega-IS (Heimann et al., 2004) que utilitza una estratègia top-down centrada tant en el processament a nivell de paraules com de frases. El tercer grup va rebre entrenament combinat mitjançant els dos programes, COMOHOT i Omega-IS i el darrer grup va tenir intervenció ordinària a l'aula. En comparació als altres tres grups, el treball d'aquest últim era menys sistemàtic i consistia en realitzar activitats de lectura i

escriptura, entrenament en CF i memòria, entre d'altres. Els resultats van demostrar que es poden obtenir avantatges en la descodificació, la comprensió lectora i la lectura de pseudoparaulas mitjançant un entrenament fonològic intensiu en combinació amb un entrenament en comprensió lectora i que aquests guanys persisteixen durant un període de seguiment d'un any. Aquestes troballes són coherents amb altres estudis (Lovett et al., 2000; Frost, Madsbjerg, Niedersoe, Olofsson & Sorensen, 2005) que també van demostrar que tant les habilitats fonològiques com les semàntiques són importants en el desenvolupament de la lectura primerenca.

En mostra espanyola tenim l'estudi d'en Jiménez et al. (2007), que va analitzar els efectes d'una instrucció assistida per ordinador (TEDIS, tractament experimental de la dislèxia) en els processos fonològics i de lectura en nens amb dificultats lectores. L'estudi va durar 15 sessions, 5 dies a la setmana amb un temps de treball de 30-40 minuts per sessió. La mostra de 83 infants d'edats compreses entre els 7 i els 10 anys es va assignar aleatòriament a 5 grups d'intervenció: reconeixement de paraules, de síl·labes, de principi-rima, de fonemes i un darrer grup que va seguir el programa de lectura estàndard que incloïa comprensió auditiva, ortografia, lectura en veu alta i activitats de comprensió lectora. Excepte el programa de lectura estàndard, les activitats presentades en els altres grups van ser ressaltades seqüencialment i parlades per l'ordinador.

Els resultats de l'estudi van indicar que el grup que va participar en la instrucció basada en el reconeixement de fonemes i de síl·labes va millorar la descodificació en comparació al grup control i al d'inici-rima. El castellà té una correspondència grafema-fonema molt consistent, les síl·labes estan ben definides, la pronunciació depèn del context sil·làbic i les fronteres de les síl·labes sempre són clares. L'entrenament en el reconeixement de paraula no va contribuir a millorar la descodificació fonològica. Segons els autors, només els bons lectors haurien utilitzat la ruta ortogràfica per llegir de manera efectiva. Per tant, aquesta condició no seria una bona opció per a resoldre un dèficit de processament fonològic, problema bàsic dels infants amb dificultats lectores. Els resultats d'aquest estudi

suggerixen que l'entrenament en processos fonològics millora la descodificació de paraules en infants amb dificultats lectores en una ortografia transparent.

En els darrers anys s'està treballant en una altra línia de recerca més controvertida que incideix en els aspectes atencionals relacionats amb les habilitats lectores. L'atenció eficient millora la percepció d'estímul i augmenta el desenvolupament de les connexions neuronals entre el so de lletres i el discurs (Yeshurun & Rashal, 2010). Sota aquesta premissa, un dèficit atencional reduiria l'èxit dels tractaments tradicionals de la dislèxia i causaria una discapacitat d'aprenentatge. Per tant, el tractament dels dèficits atencionals podria ser crucial en la intervenció de la dislèxia (Franceschini, Gori & Facoetti, 2013). Autors com Schneider (2011) i Schneider & Kastner (2009), reporten que l'activitat del NGL està modulada per l'atenció visual i aquest podria ser el mecanisme mitjançant el qual una via magnocel·lular deficient provoqués els dèficits lectors (Facoetti et al., 2010; Franceschini et al., 2012; Gabrieli & Norton, 2012). Basant-se en aquesta hipòtesi hi ha diversos estudis que afirmen que les estratègies de reeducació intensiva basades en videojocs d'acció, sense cap mena de treball fonològic o ortogràfic directe, són capaços de millorar les habilitats de lectura i d'atenció dels infants dislèctics (Antzaka et al., 2017; Franceschini et al., 2013, 2017). Autors com Green & Bavelier (2012) indiquen que investigacions realitzades durant l'última dècada han demostrat que la formació sobre "videojocs d'acció" produeix aprenentatges que transfereixen més enllà de la tasca formativa. Els jocs d'aquestes característiques, promouen les habilitats perceptuals i atencionals i es distingeixen d'altres tipus per tenir elevades càrregues perceptives, cognitives i motrius, fent èmfasi en el processament de camps visuals perifèrics i l'atenció dividida.

Tal com hem indicat anteriorment, treballs com els de Gori & Fracoetti (2013) recomanen un entrenament dirigit a millorar la via magnocel·lular per aconseguir un millor rendiment lector en els infants dislèctics.

1.7.2. Efectes cerebrals

En els últims anys s'ha produït un nombre creixent d'estudis de RM per avaluar els efectes de la reeducació sobre les alteracions cerebrals estructurals i funcionals característiques de la dislèxia. La recerca realitzada en l'àmbit de la intervenció fonològica en infants i adults amb dislèxia donen resultats exitosos (Duff & Clarke, 2011), diversos estudis de neuroimatge han demostrat l'efecte que té la reeducació en el cervell de persones amb dislèxia.

Una intervenció efectiva promou la normalització de la xarxa del llenguatge i de la lectura de l'hemisferi esquerre que s'ha vist que redueix la seva activitat en la dislèxia. A més, s'ha observat un augment en l'activació de l'hemisferi dret després de la intervenció, segurament com a procés compensatori. Els patrons d'activació que prèviament es mostraven disfuncionals en els infants amb dislèxia es modifiquen de forma significativa després d'una intervenció aproximant-se als que presenten els normolectors (Barquero et al., 2014; Koyama et al., 2013; Richlan, Kronbichler & Wimmer, 2009; Shaywitz et al., 2004; Peterson & Pennington, 2015).

Quan la reeducació fonològica és a curta edat, hi ha evidència que millora la fluïdesa lectora i facilita el desenvolupament dels sistemes neurals subjacents a la lectura experta (Shaywitz et al., 2004).

Quan els programes de tractament són intensius i es fonamenten en una base fonològica, disminueixen les diferències trobades en el funcionament cerebral entre dislèctics i normolectors (Aylward et al. 2003; Davis et al., 2011; Meyler, Keller, Cherkassky, Gabrieli & Just, 2008; Shaywitz et al., 2004; Simos et al., 2002; 2007; Temple et al., 2003) i s'aconsegueixen efectes de millora parcials amb patrons d'activació similars als lectors sense dificultats en el còrtex temporoparietal posterior i en el gir frontal inferior esquerre (Gaab, Gabrieli, Deutsch, Tallal & Temple, 2007; Odegard, Ring, Smith, Biggan & Black, 2008; Temple et al., 2003) (figura 7).

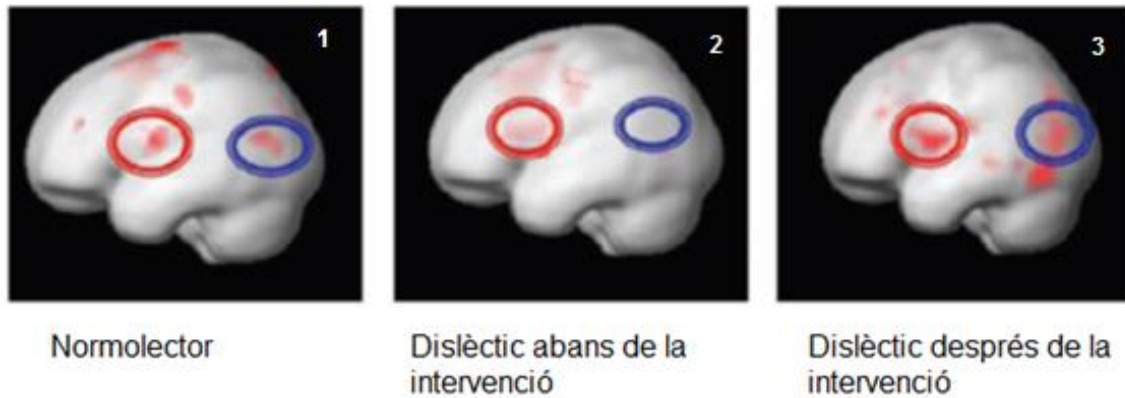


Figura 7. Diferències d'activació cerebral en la dislèxia abans i després de la reeducació. 1. Patró d'activació de l'HE durant la realització d'una tasca fonològica en un normolector. 2. Hipoactivació frontal (vermell) i temporoparietal esquerra (blau) en els dislèctics. 3. Activació de les dues regions de l'HE després de la intervenció fonològica en els dislèctics. Imatge adaptada de Gabrielli (2009).

La majoria d'estudis relacionats amb l'avaluació dels canvis cerebrals associats a la reeducació de la dislèxia s'han realitzat mitjançant dissenys dependents de tasca. No obstant això, en els darrers anys s'està aplicant un disseny de repòs (resting state), amb el qual s'ha observat que la reeducació indueix canvis en la connectivitat funcional cerebral, a la xarxa neural posterior de l'hemisferi esquerre relacionada amb la lectura, especialment en el gir fusiforme esquerre (Koyama et al. 2013).

Com hem citat anteriorment, després de la reeducació també s'activen àrees de l'hemisferi dret que normalment no estan actives durant tasques de processament fonològic (Simos et al, 2002). Aquests resultats són consistents amb estudis de recuperació de la funció lingüística després de lesions en l'hemisferi esquerre que han mostrat un augment de l'activitat en els homòlegs de l'hemisferi dret associats a la millora d'aquesta funció (Temple, 2002; Vikingstad et al., 2000). És possible que moltes d'aquestes activacions compensatòries en regions del cervell que no estan implicades normalment en el processament fonològic disminueixin a mesura que els nens aprenguin a llegir millor (Keller & Just, 2009). En el seu estudi, Simos et al. (2007) van presentar evidències que els nens i nenes que responien a la

intervenció mostraven un patró cortical caracteritzat per una activitat normalitzada mentre que aquells que no ho feien mostraven una activitat compensatòria detectada fora de les xarxes de lectura conegudes. Tot i que l'evidència és limitada, les diferències en la resposta a les intervencions podrien ser indicatives de diferents tipus o graus de severitat de les dificultats lectores que presenten els infants.

Objectius i hipòtesis

2. Objectius i hipòtesis

2.1. Objectius

Objectiu principal

Avaluar els canvis cognitius i cerebrals associats a l'aplicació d'un programa informatitzat d'entrenament fonològic intensiu per millorar el rendiment lector en infants de primer cicle d'educació primària amb dificultats lectores.

Comprovar si els nens i les nenes que rebin la intervenció fonològica intensiva obtindran un millor rendiment lector que un grup control amb dificultats lectores que es beneficiarà del tractament ordinari a l'aula.

Objectius específics

- Identificar quines variables neuropsicològiques basals són predictores de les dificultats lectores.
- Classificar els alumnes amb dificultats lectores segons perfils lectors.
- Quantificar els canvis neuropsicològics provocats per la reeducació intensiva i valorar si l'entrenament aplicat ha estat eficaç.
- Identificar quines variables són predictores de l'èxit de la reeducació.
- Avaluar els efectes de la reeducació sobre la plasticitat cerebral quantificant els canvis cerebrals estructurals abans i després de la intervenció.

2.2. Hipòtesis

Hipòtesi 1

Un baix rendiment en mesures de vocabulari, memòria de treball i denominació ràpida d'estímul visual serà predictor de les dificultats lectores.

Hipòtesi 2

El grup DLEI millorarà el seu rendiment en proves de lectura després de rebre una intervenció fonològica intensiva.

Hipòtesi 3

Després de la intervenció, el grup DLEI obtindrà un rendiment en proves de lectura i ortografia superior al grup DLEO.

Hipòtesi 4

La millora en el rendiment lector ens permetrà identificar les variables que són predictores de l'èxit de la reeducació segons la intervenció aplicada.

Hipòtesi 5

Identificarem perfils de dificultats lectores que es relacionaran majoritàriament amb un subtipus d'afectació mixt.

Hipòtesi 6

Després de la intervenció intensiva, el grup DLEI presentarà canvis volumètrics en l'hemisferi esquerre centrats en les regions d'interès analitzades relacionades amb la lectura (gir precentral, frontal superior, mig i inferior, temporal superior i inferior, supramarginal, angular, fusiforme i occipital inferior).

Metodologia

3. Metodologia

3.1. Disseny de l'estudi

L'estudi presentat s'ha fet a partir d'un disseny longitudinal de cas-control pre i post tractament en què es van realitzar comparacions entre els grups per valorar l'efectivitat de la intervenció realitzada i l'existència de canvis estructurals mitjançant RM cerebral.

3.2. Participants

El curs 2013-2014 van ser escolaritzats un total de 1.927 nens i nenes a les 5 escoles de la Seu d'Urgell, d'aquests 312 van cursar 1r cicle. Els participants de l'estudi van ser alumnes reclutats de totes les escoles del municipi. L'equip educatiu de cada escola va fer una selecció inicial d'aquells alumnes amb sospita de dificultats lectores (n= 59).

Els criteris d'inclusió van ser els següents:

1. Cursar 1r cicle d'educació primària (6-8 anys).
2. Estimació del rendiment intel·lectual no verbal $QI \geq 85$.
3. Presentar un rendiment d'1,5 desviacions per sota de la mitjana en un mínim de tres proves de lectura.

Els criteris d'exclusió van ser els següents:

1. Alumnes nouvinguts que no parlessin català.
2. Antecedents de trastorn psiquiàtric, neurològic o mèdic que poguessin explicar les dificultats.
3. Portadors de pròtesis metàl·liques (a efectes de l'estudi de RM).
4. Infants amb molta por o que requerissin sedació per ansietat elevada (a efectes de l'estudi de RM).
5. Dominància manual esquerra.

La mostra inicial proposada pels i les mestres es va reduir a n= 40 alumnes amb dificultats lectores, 19 dels 59 alumnes inicials es van excloure per diversos motius; 11 casos per negativa familiar a participar a l'estudi, 2 casos per QIM<85, 4 casos diagnosticats o amb sospita de Trastorn per Dèficit d'Atenció amb Hiperactivitat (TDAH) i altres 2 casos amb pròtesis metàl·liques (ortodòncia). Els participants van ser assignats aleatòriament a un grup que va rebre un entrenament intensiu (n=20) i un altre que va seguir un entrenament ordinari a l'escola (n=20).

D'aquesta manera la mostra final de l'estudi va estar formada per un grup control d'infants sense problemes de lectura (n=24, grup C), un segon grup d'alumnes amb dificultats lectores que van seguir un programa d'entrenament intensiu (n=20, grup DLEI) i un darrer grup que va estar integrat per alumnes amb dificultats lectores que es va beneficiar d'un programa d'entrenament ordinari a l'aula (n=12, grup DLEO). Aquest grup va reduir a 12 la mostra inicial, 2 alumnes es van excloure per trasllat a una altra escola després de dues i cinc setmanes d'entrenament, 4 van estar malalts durant un llarg període de temps i 2 van incrementar les hores de suport (figura 8).

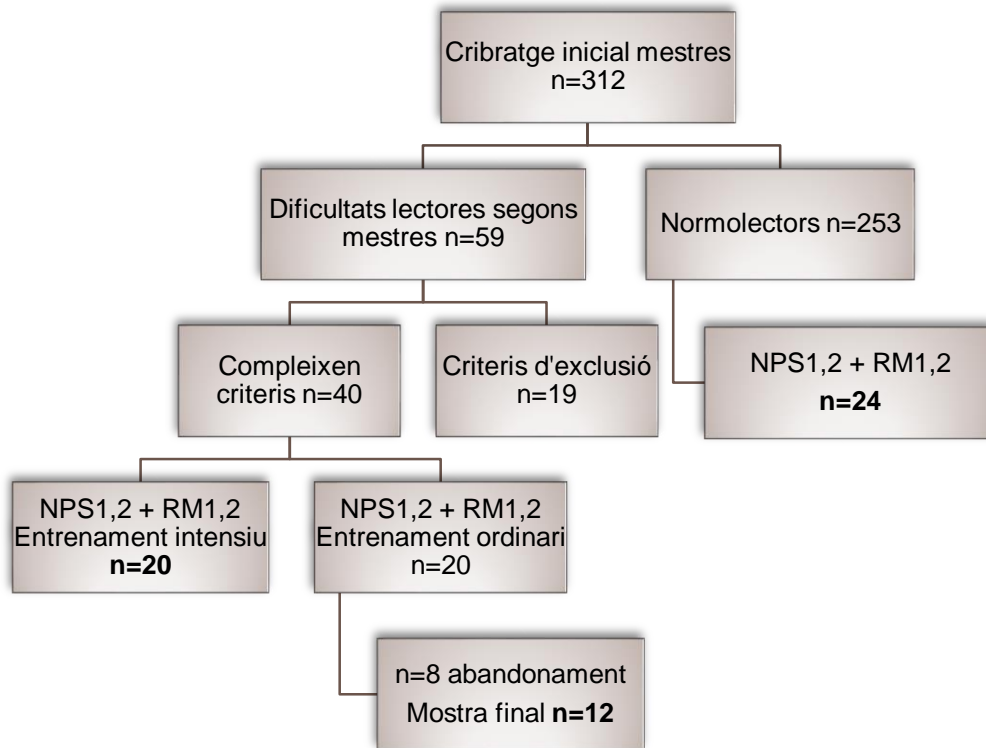


Figura 8. Diagrama de la mostra

3.3. Ètica i qualitat

L'estudi es va presentar a la Comissió de Bioètica de la Universitat de Barcelona i es va signar el certificat d'aprovació del projecte des del punt de vista bioètic (s'adjunta còpia a l'annex 1). Durant tot l'estudi es va vetllar per l'aplicació de les bones pràctiques en la recerca així com en els principis ètics per a les investigacions que es realitzen amb éssers humans fixats a la Declaració de Helsinki de l'Associació Mèdica Mundial.

Atès que l'estudi es va realitzar amb menors, tots els progenitors van ser informats de les característiques del mateix i es va proporcionar un full explicatiu a cadascun dels participants on s'exposaven els objectius, el procediment que es duria a terme, i es facilitaven els telèfons i els correus electrònics de contacte per resoldre qualsevol dubte i/o aclariment a les famílies. Posteriorment totes les mares i els pares van signar el full d'autorització per participar a l'estudi.

Es va tenir en compte la legislació vigent en relació a la preservació i protecció de dades personals dels participants inclosos a l'estudi, la Llei Orgànica 15/1999 de Protecció de Dades de Caràcter Personal (LOPD) (veure annex 3) i la Llei 14/2007 d'Investigació Biomèdica. En tot moment es va garantir la confidencialitat de les dades amb l'assignació d'un codi alfanumèric a cada participant pel seu tractament i identificació.

Cada alumne va rebre dos informes amb els resultats neuropsicològics, un abans i l'altre després de finalitzar la intervenció juntament amb els dos informes de resultats de la RM i dos CD amb les imatges obtingudes. Un cop conclòs l'estudi es va oferir a tots els alumnes del grup DLEO que van rebre la intervenció ordinària a l'aula la possibilitat de realitzar la reeducació intensiva aplicada al grup experimental.

3.4. Procediment

El projecte es va iniciar amb una primera reunió de presentació als equips directius dels centres educatius a fi d'informar-los i demanar la seva col·laboració en l'estudi. Un cop confirmada la voluntat de participar en el projecte durant el curs 2013-2014, es va realitzar una segona reunió convocant, també, al Departament d'Inspecció d'Educació, a la coordinadora de l'Equip d'Assessorament Psicopedagògic i a la direcció de Pediatria dels Pirineus. Finalment i amb conformitat del Departament d'Inspecció per iniciar el projecte a totes les escoles de la Seu, es van programar diferents sessions informatives per a tot l'equip educatiu de primer cicle i per a les famílies de totes les escoles, facilitant, també, informació escrita de l'estudi a tot l'alumnat (veure annex 2).

Un cop realitzat el treball de difusió del projecte i durant el primer trimestre del curs, els i les mestres de primer i segon curs de primària de tots els centres van realitzar un cribratge al seu alumnat en base al rendiment lector i l'evolució que presentaven en aquest domini. Aquells/es alumnes amb un rendiment lector inferior a l'esperable van ser seleccionats per participar a l'estudi. Un cop rebuda l'autorització i el consentiment signat per part dels progenitors (veure annex 3),

cada infant seleccionat va ser valorat neuropsicològicament amb l'objectiu de determinar si complia els criteris d'inclusió per participar-hi. Totes les valoracions que es van realitzar les va portar a terme la mateixa persona. Les exploracions van tenir lloc en els diferents centres educatius, individualment i amb una durada per sessió al voltant dels 45 minuts aproximadament. L'administració de les proves i l'ordre en què es van aplicar va ser el mateix per a tothom. Tots els casos que es van incloure a l'estudi també van desplaçar-se a Barcelona un cap de setmana assignat per realitzar la ressonància magnètica cerebral prèvia a l'inici del programa de reeducació.

Es va contactar i formar en el programa d'entrenament intensiu a tres professionals de l'àmbit educatiu (una mestra d'educació especial, una pedagoga i una educadora infantil) que, voluntàriament, van acceptar participar en el projecte de recerca. Elles mateixes van ser les encarregades de desplaçar-se fins a les escoles per aplicar diàriament el programa d'entrenament intensiu.

Un cop realitzades totes les valoracions neuropsicològiques i les RM prèvies a la intervenció, els alumnes amb dificultats lectores es van assignar aleatòriament a dos grups experimentals, un grup va rebre entrenament intensiu informatitzat (DLEI), un altre es va beneficiar d'una instrucció ordinària a l'aula (DLEO) i un tercer grup de control (C) va estar format per nens i nenes sense dificultats. Un cop finalitzada la intervenció es va tornar a aplicar als alumnes el protocol cognitiu i de neuroimatge utilitzat abans d'iniciar l'estudi. Cal esmentar que en relació a les imatges de RM, les de 4 infants del grup C es van haver de descartar per estar artefactades (n=20), del grup DLEI també se'n va excloure 2 per la mateixa causa (n=18) mentre que del grup DLEO, només 5 alumnes tenien RM pre i post intervenció. Aquesta reducció es va produir a conseqüència de l'obtenció d'imatges artefactades per moviment i a la negativa d'alguns infants a l'hora d'entrar a la màquina de ressonància en algun dels dos moments temporals. Atès que la mostra es va reduir considerablement es va decidir no incloure les imatges de RM d'aquest grup en els resultats finals.

3.4.1. Instruments

3.4.1.1. Estudi cognitiu

El protocol neuropsicològic utilitzat en l'estudi va ser el mateix abans i després de la intervenció a excepció de l'estimació del quocient intel·lectual que només es va realitzar abans de la reeducació. En la taula 3 es presenten els dominis cognitius i les habilitats acadèmiques valorades així com les proves utilitzades segons l'ordre d'administració.

Taula 3

Dominis cognitius, habilitats acadèmiques i proves utilitzades en l'estudi

Domini cognitiu i habilitat acadèmica	Proves cognitives
Lectura mecànica, velocitat i comprensió lectora Ortografia arbitrària i natural	TALEC PROLEC-R
Atenció	Dígits directes WISC-IV
Funcions executives	Fluències verbals (fonètiques i semàntiques) Dígits inversos WISC-IV
Denominació ràpida	Mesures RAN
Estimació del quocient intel·lectual	Vocabulari i cubs WISC-IV

Nota. TALEC. Test d'anàlisi de lectura i escriptura en català (Cervera et al., 1991); PROLEC-R. Bateria d'avaluació dels processos lectors, revisada. Adaptació catalana (Cuetos et al., 2007); WISC-IV. Escala d'intel·ligència de Weschler per a nens IV, (2005); RAN, Rapid Automated Naming Test (Wolf & Denckla, 2005); Fluències verbals fonètiques i semàntiques (Strauss, Sherman & Spreen, 2006).

A continuació es descriuen les diferents proves aplicades:

Lectura

- Prova de lletres, síl·labes, paraules i textos. TALEC (Cervera et al., 1991). Es va demanar als nens i les nenes que llegissin el millor possible les làmines escrites que se'ls anaven presentant. Es feien registres de temps i errors durant la lectura. S'obtenien mesures de velocitat i de precisió lectora.
- Prova de comprensió lectora. TALEC (Cervera et al., 1991). Es demanava a l'infant que llegís una lectura en silenci i després se li feien preguntes oralment relacionades amb el text que havia llegit. Es registrava el temps de lectura i el nombre d'errors.
- Subtest de pseudoparaules. PROLEC-R (Cuetos et al., 2007). El nen o la nena havia de llegir una sèrie de pseudoparaules que no tenien cap significat però que es podien llegir com a paraules. Es registrava la velocitat i el nombre d'errors durant la lectura. Aquesta tasca és una bona mesura d'agilitat en descodificació.

Ortografia

- Dictat. TALEC (Cervera et al. 1991). L'ortografia natural i arbitrària es va mesurar mitjançant la realització d'un dictat en català. Es van registrar el nombre d'errors d'ortografia arbitrària i natural.

Atenció

- Subtests de dígit directes de l'escala d'Intel·ligència de Wechsler per a nens IV (Wechsler, 2005). La tasca consistia en la repetició de seqüències de dígit de dificultat creixent (de dos a vuit dígit) en el mateix ordre que els deia l'avaluadora.

Funcions executives

- Subtests de dígit inversos de l'escala d'Intel·ligència de Wechsler per a nens IV (Wechsler, 2005). La tasca consistia en la repetició inversa de seqüències de dígit de dificultat creixent (de dos a vuit dígit) a com ho feia l'examinadora. Era una mesura de memòria de treball.
- Fluències verbals fonètiques i semàntiques (Strauss, Sherman & Spreen, 2006). Aquests índexs es van utilitzar com a mesures d'accés al lèxic mitjançant consignes fonètiques i semàntiques. Es va demanar als nens i les nenes que diguessin paraules que comencessin per les lletres F A S en un interval de 60 segons per lletra (el nombre total de paraules es va utilitzar com a mesura de la fluïdesa verbal fonètica). També se'ls va demanar que diguessin el màxim nombre d'animals en un minut (el nombre total de noms es va registrar com a mesura de la fluïdesa verbal semàntica).

Velocitat de denominació

- RAN-RAS (Wolf & Denckla, 2005). Es van utilitzar dues mesures RAN, objectes i colors. En la primera es demanava als i les alumnes que anomenessin el més ràpid possible els dibuixos que apareixien a la làmina. En la segona mesura es demanava que diguessin el més ràpid possible els colors que veien a la làmina que tenien davant. En tots dos casos es registrava la mesura de velocitat en segons que trigava l'infant en realitzar la tasca. Es considera una bona mesura d'accés i evocació ràpida a estímuls d'alta freqüència.

Estimació del quocient intel·lectual (QI)

- Subtests de vocabulari i de cubs de l'escala d'Intel·ligència de Wechsler per a nens IV (Wechsler, 2005). En el subtest de vocabulari les nenes i els nens havien d'explicar el millor que podien una sèrie de paraules. D'aquesta manera s'obtenia una mesura de vocabulari expressiu i formació de conceptes. Mitjançant el subtest de cubs es demanava als i les alumnes que amb els cubs que se'ls presentaven, tots ells formats per dues cares

blanques, dues vermelles, una blanca i una altra vermella, reproduïssin un model que se'ls mostrava mitjançant diferents làmines i nivell de dificultat. Aquesta prova ens donava una mesura d'habilitat visuoconstructiva. Amb totes dues mesures vam obtenir una estimació del QI.

Un cop realitzades les valoracions a tota la mostra d'alumnes, les puntuacions directes (PD) recollides en les proves neuropsicològiques es van corregir segons els barems normatius corresponents per edat, gènere i curs. A continuació es van transformar totes les puntuacions normalitzades amb els barems poblacionals en l'escala de puntuacions típiques (PT) (mitjana 50 i desviació estàndard 10). D'aquesta manera es van homogeneïtzar totes les puntuacions en una mateixa escala a excepció de les mesures de QI que es van recollir amb PT (mitjana 100 i desviació estàndard de 15) segons els barems per edat que indica el manual de la prova (Weschler, 2005).

La PT indica la direcció i el grau en què la puntuació d'un nen o nena s'allunya de la mitjana de referència (en termes de desviació estàndard). D'aquesta manera, es va considerar que una PT (amb mitjana 50 i desviació estàndard de 10) que s'allunyés 1,5 desviacions estàndard de la mitjana normativa ($PT < 35$) presentava un rendiment inferior al que seria esperable, i per tant, l'infant mostrava dificultats en aquell domini i/o habilitat mesurada.

3.4.2. Descripció del programa d'entrenament intensiu

El programa d'entrenament informatitzat "Mètode Binding", desenvolupat al Departament de Psicologia Bàsica de la Universitat de Barcelona, es va crear per ajudar els nens i les nenes que tenen dificultats per llegir a adquirir o millorar les seves habilitats lectores. La intervenció va consistir en un treball intensiu durant 16 setmanes, 5 sessions per setmana amb una durada de 10-15 minuts cadascuna i amb un total d'entre 9 i 15 exercicis per sessió. Les activitats aplicades estaven dissenyades per treballar aspectes necessaris per aconseguir un bon rendiment lector; la consciència fonològica i fonèmica, la descodificació i la fluïdesa lectora, la memòria de treball i el vocabulari.

Els nens i les nenes sempre començaven la sessió realitzant una activitat de ritme de parla (Wise, Ring, i Olson, 1999) amb l'objectiu de consolidar l'articulació i discriminació de sons i lletres, se'ls demanava que repetissin parells de paraules o pseudoparaules durant 2 minuts. A continuació treballaven de forma intensiva una combinació d'activitats ajustades i adaptades al nivell i a les necessitats lectores de cada infant, seguint un enfocament de resposta a la intervenció (Rtl) (Fuchs & Vaughn, 2012).

Les activitats de consciència fonològica consistien en la identificació de lletres i síl·labes (paraules i pseudoparaules), denominació ràpida de lletres, identificació de rimes i segmentació de paraules en síl·labes. Algunes activitats eren acompanyades per imatges en què l'infant havia de decidir quines paraules tenien la mateixa lletra inicial que la imatge que se li presentava o quines començaven per una lletra determinada.

Les activitats de descodificació i fluïdesa lectora van utilitzar una estratègia "bottom up" (de baix a dalt) on cada nen llegia grups de paraules i pseudoparaules amb diferents estructures: consonant-vocal (CV), vocal-consonant (VC), consonant-vocal-consonant (CVC), consonant-consonant-vocal (CCV), consonant-consonant-vocal-consonant (CCVC), i la combinació d'aquestes estructures en paraules bisíl·labes i trisíl·labes. Les paraules i les pseudoparaules es mostraven a la pantalla en diferents formats: un a un al centre, com a llista dinàmica on un marcador blanc indicava la paraula o paraules que s'havien de llegir o com un joc on l'infant feia una cursa conduint un cotxe o una moto. En aquest cas, el segon jugador era controlat pel programa que decidia la velocitat de la figura que apareixia (cotxe o moto) segons el resultat que cada nen i nena havia fet en la carrera anterior (veure figura 9).



Figura 9. Imatge d'una cursa de lectura amb el mètode Binding.

En algunes activitats es demanava a l'infant que llegís les síl·labes, paraules o pseudoparaules que apareixien en la pantalla, un cop ho feia, la imatge desapareixia i se li demanava que recordés la seqüència, l'ordre o la posició en què estaven. Amb aquests exercicis també es treballava la memòria de treball.

Totes les sessions d'entrenament amb cadascun dels nens i les nenes les van portar a terme tres professionals de l'àmbit educatiu, prèviament instruïdes sobre el funcionament del programa. Les respostes dels infants es registraven digitalment com a "correctes" o "incorrectes" segons l'avaluació que en feien les entrenadores; també el temps invertit en cada activitat així com el nombre d'errors que cometien. Al final de cada sessió, se li demanava a cada nen i nena que registrés la dificultat que li havia suposat la sessió i el grau de motivació. Finalment, un psicòleg de l'equip Binding revisava totes aquestes variables per ajustar al màxim les activitats que feia diàriament cada alumne/a.

3.4.3. Descripció del programa d'entrenament ordinari a l'escola

Aquesta intervenció s'emmarca en el conjunt d'actuacions de cada centre per a l'assoliment de l'èxit escolar de tots els alumnes donant resposta a les necessitats individuals d'aprenentatge que té cada infant. El suport que va oferir el centre educatiu es va centrar en reforçar l'adquisició de la lectoescriptura de forma flexible i ajustada al ritme d'aprenentatge de cada nen i nena a través d'activitats d'expressió escrita, de mecànica, velocitat i comprensió lectora. El treball va tenir

lloc en grup reduït (tres o quatre infants), amb una freqüència d'un dia a la setmana durant 16 setmanes amb una durada de 50 minuts cada sessió. El reforç a l'aula el va realitzar el personal del propi centre on estava escolaritzat cada menor i també era qui decidia quines activitats es feien a cada sessió.

3.5. Anàlisi estadística

Per a l'anàlisi estadística descriptiva les variables quantitatives es presenten mitjançant mesures de centralitat (mitjana) i de dispersió (desviació estàndard). La mitjana i la desviació estàndard es van calcular per descriure les característiques demogràfiques de la mostra. L'associació entre variables qualitatives es va realitzar mitjançant la prova Khi-quadrat de Pearson. La comparació de la distribució per a les variables quantitatives es va fer amb el test ANOVA per a mostres independents (per comparar els tres grups d'estudi) atès que es van complir els criteris de normalitat i igualtat de variàncies. Per a l'anàlisi de comparacions pre i post es va fer un disseny mixt 3 (grup: dos tipus d'intervenció i un de control) x 2 (temps: pre versus post) amb un disseny mixt ANOVA. També es va calcular la *d* de Cohen (Cohen & Cohen, 1983) per comparar els valors mitjans de les diferents puntuacions amb la desviació estàndard.

Per tal de determinar quines variables neuropsicològiques basals podien predir les dificultats lectores es va realitzar una anàlisi discriminant (Kshirsagar, 1972) a partir de les puntuacions típiques inicials de totes les variables neuropsicològiques i es va crear la variable millora a partir de les diferències entre les mesures pre i post intervenció. Es va estudiar si correlacionava amb les puntuacions inicials de les variables quantitatives i amb un ANOVA en la comparació entre clústers. En el cas de les correlacions, caldria afegir que es van mirar en cada grup per separat (DLEI i DLEO).

Adicionalment, amb l'objectiu d'identificar perfils o grups d'alumnes amb dificultats lectores segons els valors inicials de les puntuacions típiques, es va realitzar una anàlisi de clúster jeràrquic utilitzant el mètode de Ward (Everitt,

Landau, Leese & Stahl, 2011). Per tal de caracteritzar els clústers es van fer proves bivariades entre aquests i les variables de velocitat, precisió i ortografia (T-test i test Khi-quadrat per a variables quantitatives i categòriques respectivament).

Les anàlisis per valorar l'èxit de la reeducació es van fer amb correlacions per a les variables quantitatives (puntuacions inicials) i amb un ANOVA per a la comparació entre grups.

Variables de neuroimatge

La comparació de la distribució per a les variables de volumetria cerebral es va fer amb el test t de Student per a mostres independents (per comparar els dos grups d'estudi) atès que es van complir els criteris de normalitat i igualtat de variàncies. Per determinar si hi havia hagut canvis entre el moment inicial (pre intervenció) i el moment final (post intervenció) per cadascun dels 2 grups sotmesos a l'adquisició d'imatges de RM es realitzà una anàlisi intragrup de mesures repetides mitjançant el test no paramètric de mostres relacionades de Wilcoxon. Addicionalment, les correlacions entre variables neuropsicològiques i de RM es van fer mitjançant correlacions de Pearson.

Totes les anàlisis descriptives presentades es van realitzar mitjançant el software SASv9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, les de neuroimatge es van analitzar amb el paquet estadístic SPSS v25.0, SPSS Inc., Chicago, USA. Les decisions estadístiques es van realitzar prenent com a nivell de significació el valor 0,05 i aplicant la correcció de Bonferroni per a múltiples comparacions quan va ser necessari.

3.6. Neuroimatge

3.6.1. Adquisició

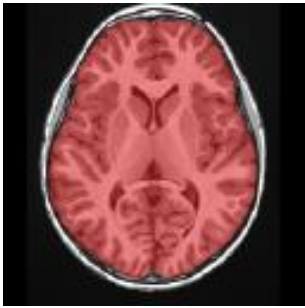
Tots els participants van ser examinats en un escàner de ressonància magnètica 3T (Magnetom Trio Tim, Siemens Medical Systems, Alemanya) al Centre de Diagnòstic per la Imatge a l'Hospital Clínic de Barcelona. L'adquisició de les

imatges de ressonància magnètica incloïa un conjunt de dades estructurals 3D d'alta resolució (magnetització ponderada per T1 amb ràpid gradient de ressò (MPRAGE, de l'anglès *magnetization prepared rapid gradient echo*), adquisició de pla sagital (TR = 2300 ms, TE = 3 ms, 240 slices, gruix de tall = 1 mm, FOV = 244 mm, mida de la matriu = 256 x 256).

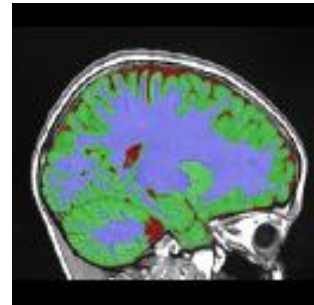
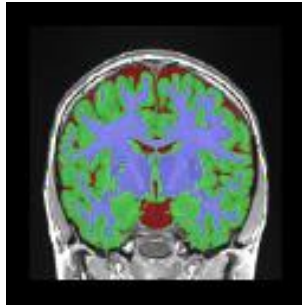
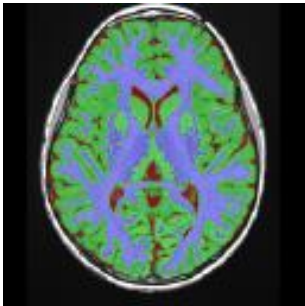
3.6.2. Segmentació de macroestructures i estructures subcorticals

Per a l'anàlisi de macroestructures i estructures subcorticals es va utilitzar el programa "volBrain" (v.1.0, <http://volbrain.upv.es>) de les imatges T1, que proporciona informació volumètrica automàtica de les imatges de RM del cervell a diferents escales (Manjón & Coupé, 2016). El sistema proporciona volums, segmentacions i asimetries d'estructura a diferents escales; 1) volum cerebral, cerebel i tronc cerebral, 2) ventricles laterals i estructures subcorticals (putamen, caudat, pàl·lid, tàlem, hipocamp, amígdala i accumbens). En aquest estudi, es va utilitzar un volum relatiu (en percentatge) com a volums subcorticals; per tant, en l'anàlisi posterior, el volum cerebral total (VCT) no es va analitzar com a covariable (veure figura 10).

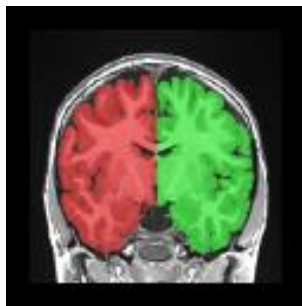
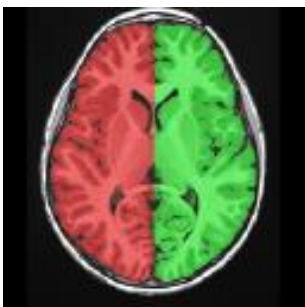
Extracció volum intracranial



Classificació de teixits



Macroestructures



Estructures subcorticals



Figura 10. Imatge de parcel·lació amb el programa volBrain. Imatges extretes de Manjón & Coupé, 2016.

3.6.3. Segmentació de l'escorça cerebral

De l'escorça cerebral, les imatges T1 es van segmentar en substància grisa (SG), substància blanca (SB) i líquid cefaloraquidi (LCR) amb el programari *Geodesic Information Flows* (GIF) (<http://niftyweb.cs.ucl.ac.uk/program.php?p=GIF>) (Cardoso et al., 2015; Prados Carrasco, Cardoso, Burgos, Wheeler-Kingshott & Ourselin, 2016), parcel·lant cada hemisferi cerebral en regions d'interès segons l'atles neuromorfomètric (<http://www.neuromorphometrics.com>) (Klein & Tourville, 2012). El programa GIF utilitza una estratègia de propagació i fusió d'etiquetes per atlas per calcular les probabilitats de cada vòxel de classificar-se com SG, SB o LCR (figura 11).

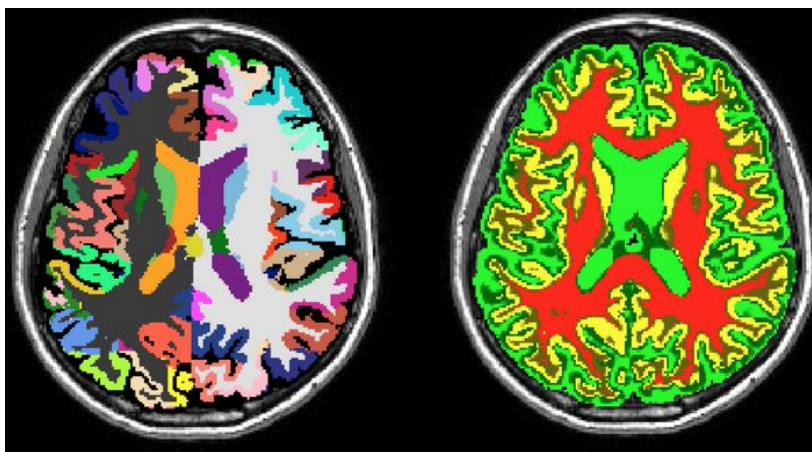


Figura 11. Imatge de parcel·lació amb el programa GIF.

Resultats

4. Resultats

4.1. Descripció de la mostra

La mostra final de l'estudi va estar formada per un total de 56 alumnes catalans o catalanoparlants, de procedència socioeconòmica mitjana, que assistien a diferents col·legis públics i un de concertat de la Seu d'Urgell. Els participants es van dividir en tres grups, un d'ells va formar el grup de control (n= 24, grup C) amb una edat mitjana de 7,32 anys (DE 0,66), un segon grup amb dificultats de lectura que van seguir un programa d'entrenament intensiu (n= 20, grup DLEI) i 7,01 anys de mitjana (DE 0,69) i el darrer grup va estar format per alumnes amb dificultats lectores que van rebre un entrenament ordinari a l'escola (n= 12, grup DLEO) amb una mitjana d'edat de 6,92 anys (DE 0,82). Les dades descriptives de la mostra queden recollides a la taula 4.

Taula 4

Característiques demogràfiques de la mostra

	C M (DE)	DLEI M (DE)	DLEO M (DE)	p-valor
Edat				
Pre intervenció	7,32 (0,66)	7,01 (0,69)	6,92 (0,82)	Ns
Post intervenció	8,08 (0,70)	7,35 (0,83)	7,26 (0,74)	Ns
Gènere (nens/nenes)	15/9	10/10	6/6	Ns
Curs escolar (1r/2n)	6/18	10/10	7/5	Ns
QI pre intervenció				
QIV WISC-IV	108,33 (10,95)	95,35 (6,82)	97,58 (7,39)	<0,001
QIM WISC-IV	111,13(9,88)	101,65 (11,58)	104,25 (12,36)	0,012

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard, QI= quocient intel·lectual, QIV= quocient intel·lectual verbal, QIM= quocient intel·lectual manipulatiu; Significació estadística p-valor $\leq 0,05$

4.2. Perfil neuropsicològic dels participants de cadascun dels grups previ a la intervenció

En relació a les mesures de QI, vam obtenir diferències estadísticament significatives en el QIV i QIM entre els grups d'estudi trobant-se tots dos índexs amb valors dins de la normalitat. Considerem que la divergència en la puntuació obtinguda en el QIM, des d'un punt de vista clínic i tenint en compte el tema d'estudi, no té rellevància.

La taula 5 recull el rendiment neuropsicològic pre intervenció de cadascun dels grups. Si ens fixem en el grup C, veiem que va presentar valors de QIV dins la franja mitjana de la normalitat, el perfil de lectoescriptura era molt homogeni i les puntuacions obtingudes en la majoria de mesures de precisió, mecànica lectora i ortografia es van situar en la franja alta de la normalitat. El rendiment en la resta de variables secundàries es trobava dins de la normalitat.

Pel que fa al grup DLEI podem veure que els valors d'estimació del rendiment intel·lectual es van situar dins la franja mitjana de la normalitat amb una puntuació una mica més baixa en l'índex verbal. Aquestes diferències van en consonància

amb les dificultats que molts infants amb dificultats lectores presenten en l'àrea del llenguatge. El perfil de lectoescriptura es va caracteritzar per puntuar més baix en mesures de precisió lectora, amb un resultat alterat en 3 de les 6 variables mesurades, i únicament va presentar una alteració moderada en l'índex de velocitat de pseudoparaulas. La puntuació obtinguda en ortografia natural estava lleument alterada. Pel que fa a les variables secundàries, només va obtenir un valor moderadament alterat en la denominació de colors.

El grup DLEO mostra el mateix perfil d'estimació de QI que el grup DLEI però amb un valor una mica superior. El perfil de lectoescriptura també va presentar un rendiment més baix en les mesures de precisió lectora i, igual que el grup DLEI, va mostrar un resultat alterat en 3 de les 6 variables mesurades. A diferència d'aquest, també va obtenir una alteració lleu en velocitat de paraules. Comparativament veiem que el grup DLEO va presentar un rendiment una mica més alt que el grup DLEI en precisió i aquest el va superar en velocitat lectora. L'ortografia natural està igualment alterada i el resultat en ortografia arbitrària es una mica més baix que en el grup DLEI. Pel que fa a les variables secundàries, la denominació de colors i d'objectes està moderadament alterada juntament amb un rendiment inferior en la fluència verbal fonètica. La resta de paràmetres estan dins de la normalitat.

Taula 5

Rendiment neuropsicològic pre intervenció en els tres grups d'estudi

	GRUP C	GRUP DLEI	GRUP DLEO
	M (DE)	M (DE)	M (DE)
ESTIMACIÓ QI			
QIV	108,33 (10,95)	95,35 (6,82)	97,58 (7,39)
QIM	111,13 (9,88)	101,65 (11,58)	104,25 (12,36)
VELOCITAT			
Lletres	61,79 (2,67)	51,35 (9,35)	46,92 (9,98)
Síl·labes	60,63 (2,22)	54,50 (5,23)	50,50 (6,24)
Paraules	59,96 (3,42)	49,65 (6,24)	38,50 (11,81)*
Pseudoparaules	51,13 (7,83)	31,10 (9,07)**	27,83 (7,78)***
Text	59,13 (3,89)	46,80 (11,54)	42,83 (8,57)
Comprensió lectora	59,33 (4,39)	47,65 (8,41)	47,17 (4,11)
PRECISIÓ			
Lletres	58,83 (3,75)	44 (9,06)	47,67 (7,19)
Síl·labes	63,25 (3,99)	49,80 (8,79)	53,08 (7,98)
Paraules	62 (3,01)	38,25 (6,20)*	39,33 (8,64)*
Pseudoparaules	52 (7,44)	22,55 (4,59)***	30,08 (8,67)***
Text	59,88 (1,92)	34,65 (11,14)**	36,67 (10,29)**
Comprensió lectora (encerts)	50,38 (10,41)	41,50 (10,21)	47,08 (9,18)
ORTOGRAFIA			
Arbitrària	59,29 (8,13)	54,60 (7,37)	43,92 (10,94)
Natural	63,67 (5,10)	39,15 (11,69)*	39,17 (6,09)*
RAPID AUTOMATIZED NAMING (RAN)			
Objectes	50,17 (5,75)	40,90 (7,03)	36,25 (7,09)**
Colors	46,17 (6,03)	33,80 (7,08)**	34,42 (7,50)**
FLUÈNCIA VERBAL			
Fonètica	52,25 (9,62)	47,15 (9,25)	39,58 (6,01)*
Semàntica	60,67 (11,28)	42,80 (8,37)	46,83 (5,57)
ATENCIÓ I MEMÒRIA DE TREBALL			
Dígits directes	56,42 (5,32)	43,75 (5,02)	43,92 (2,64)
Dígits inversos	58,67 (7,20)	48,90 (7,04)	43,50 (6,20)

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard, QI= quocient intel·lectual, QIV= quocient intel·lectual verbal, QIM= quocient intel·lectual manipulatiu; Significació estadística p-valor $\leq 0,05$; *Alteració lleu PT ≤ 39 , **Alteració moderada PT ≤ 36 , ***Alteració greu PT ≤ 30

4.3. Identificació de les variables predictores de les dificultats lectores

Vam realitzar una anàlisi discriminant per determinar si les variables neuropsicològiques basals servien per predir els diferents grups d'estudi. Amb un primer estudi, vam trobar que es podien classificar bé el 97% dels alumnes, només el 3% que no es classificaven bé pertanyien al grup DLEO. Per tal de validar aquesta classificació, es va aplicar una validació creuada (*leave one out crossvalidation*) reduint-se a un 78% dels alumnes. Aquesta mesura ens va indicar que les variables neuropsicològiques basals ens permetien discriminar bastant bé entre grups, sobretot el grup C (100%) i DLEI (75%) i en menor mesura el grup DLEO (58,33%).

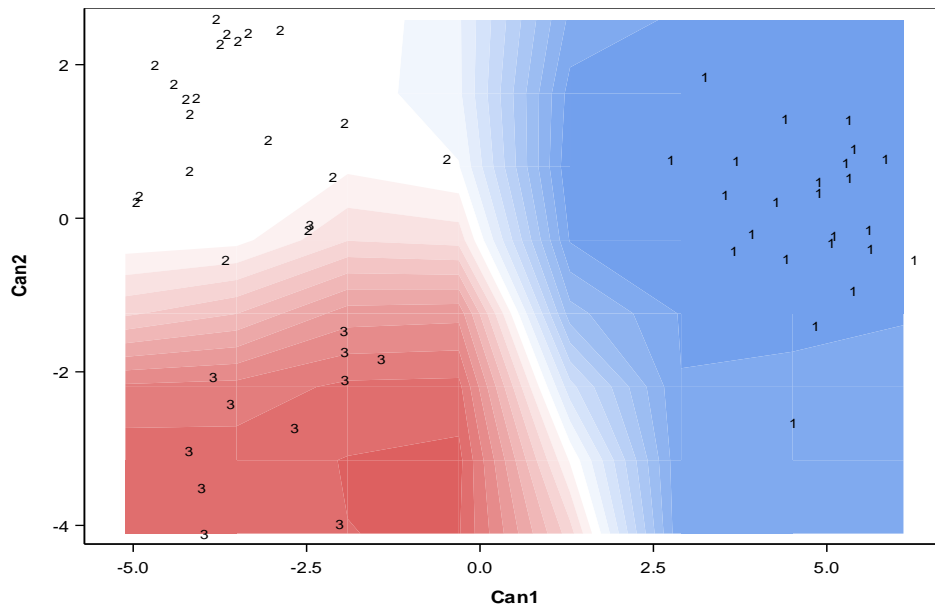
Per tal de veure si els dos grups amb dificultats lectores eren similars es van estudiar les variables pretractament mitjançant una anàlisi discriminant que va permetre identificar dues variables (Can 1 i Can 2) i que separaven els diferents grups. Can 1 ho feia entre el grup C i els altres dos grups amb dificultats lectores (DLEI i DLEO) i Can 2 entre els grups DLEI i DLEO (veure gràfic 1).

La taula 6 recull els resultats de l'anàlisi discriminant i es pot observar que les mesures de precisió en lectura de paraules i pseudoparaules són les que presenten correlacions més altes ($r=0,50$ i $r=0,49$) i per tant, les que més discriminen el grup C dels grups DLEI i DLEO. Tanmateix també mostren correlacions moderades en velocitat de pseudoparaules ($r=0,31$), lectura de text ($r=0,37$), ortografia natural ($r=0,37$) i dígitos inversos ($r=0,32$). Les mesures de velocitat de paraules i ortografia arbitrària són les que més discriminen entre els grups DLEI i DLEO amb correlacions moderades, $r=0,31$ i $r=0,35$ respectivament.

Els resultats del nostre estudi ens indiquen que els rendiments baixos en les variables de precisió i velocitat lectora de pseudoparaules, precisió lectora de paraules i text així com en ortografia natural són indicatives d'un baix rendiment en lectura i són les variables de precisió lectora de paraules i pseudoparaules les que tenen correlacions més fortes i ofereixen un major valor predictiu del rendiment lector. Cap de les variables considerades com a predictores de les

dificultats lectores (vocabulari, memòria de treball i denominació ràpida) van predir les dificultats lectores en la nostra mostra d'estudi (veure taula 6).

Gràfic 1. Classificació dels grups segons les variables Can 1 i Can 2



Nota. 1: grup C, 2: grup DLEI, 3: grup DLEO. Can 1: variable que separa el grup C dels grups DLEI i DLEO i Can 2: variable que separa el grup DLEI del DLEO

Taula 6

Anàlisi discriminant

VARIABLES	Can 1	Can 2
QIV	0,171	-0,035
QIM	0,097	-0,045
VELOCITAT		
Lletres	0,200	0,195
Síl·labes	0,207	0,275
Paraules	0,247	0,319**
Pseudoparaules	0,318**	0,162
Text	0,204	0,163
Comprensió lectora	0,242	0,064
PRECISIÓ		
Lletres	0,250	-0,098
Síl·labes	0,223	-0,086
Paraules	0,507**	0,041
Pseudoparaules	0,491**	-0,203
Text	0,372**	0,002
Comprensió lectora (encerts)	0,087	-0,131
ORTOGRAFIA		
Arbitrària	0,119	0,354**
Natural	0,371**	0,066
RAN		
Objectes	0,206	0,227
Colors	0,225	0,016
FLUÈNCIA VERBAL		
Fonètica	0,106	0,246
Semàntica	0,221	-0,075
ATENCIÓ I MEMÒRIA DE TREBALL		
Dígits directes	0,289	0,050
Dígits inversos	0,207	0,244

Nota. Les variables Can 1 i Can 2 ens ajuden a diferenciar els grups. Can 1 separa el grup C dels grups DLEI i DLEO i Can 2 separa el grup DLEI del grup DLEO. Les puntuacions obtingudes identifiquen les variables que més discriminen els tres grups; $r < 0,3$ correlació baixa*, $r = 0,3-0,5$ correlació moderada**, $r > 0,5$ correlació forta***

4.4. Efectes de l'entrenament fonològic intensiu en el rendiment lector i en les habilitats fonològiques implícites intragrups

L'anàlisi del rendiment lector va mostrar diferències entre els tres grups després del període d'intervenció (veure taula 7). Concretament, els resultats van indicar que els nens i les nenes del grup DLEI van augmentar el seu rendiment post intervenció en totes les variables de lectura analitzades i en ortografia natural amb valors de significació $p \leq 0,005$ i $p \leq 0,001$. Van aconseguir diferències mitjanes >5 fins a 18 punts en variables de lectura comparant els temps T1 i T2. Els resultats van mostrar mides del tamany de l'efecte grans ($d \geq 0,8$) en totes les variables de velocitat lectora i mides de l'efecte mitjà i alt ($d \geq 0,6$) en les de precisió lectora i ortografia natural.

D'altra banda, el grup DLEO va experimentar un lleuger augment de rendiment després de la intervenció que va ser significatiu en velocitat lectora de paraules ($p \leq 0,005$) i comprensió lectora ($p \leq 0,05$), en precisió lectora de síl·labes ($p \leq 0,05$), de paraules ($p \leq 0,05$) i de text ($p \leq 0,001$). Comparant les mesures T1 i T2 veiem que aquests alumnes van aconseguir diferències mitjanes >1 fins a 10 punts en variables de lectura. Pel que fa a les mides del tamany de l'efecte veiem que, en velocitat lectora, la majoria de variables tenen un valor petit ($d = 0,1-0,4$) excepte la comprensió lectora que té un valor mig ($d = 0,7$). La precisió lectora obté una mida del tamany de l'efecte petita i mitjana excepte la lectura de text que se situa en un llinzar alt ($d \geq 0,8$). L'ortografia també té un valor baix ($d = 0,1-0,4$).

En el grup C, tot i que el període entre la valoració pre i post intervenció va ser una mica més gran respecte als altres dos grups, els resultats no van mostrar diferències de rendiment entre la primera i la segona avaluació, exceptuant el nombre d'encerts en comprensió lectora ($p = 0,002$). Aquest mateix grup obté una mida de l'efecte petit en la majoria de variables ($d = 0,1-0,4$) a excepció de la lectura comprensiva i la precisió lectora de síl·labes que obtenen un valor mitjà ($d = 0,5$).

Taula 7

Rendiment lector de cada grup abans i després de la intervenció

	GRUP C M (DE)		GRUP DLEI M (DE)		GRUP DLEO M (DE)	
	T1 T2	d Cohen	T1 T2	d Cohen	T1 T2	d Cohen
VELOCITAT						
Lletres	61,79 (2,67) 62,54 (4,23)	0,22	51,35 (9,35)*** 59,45 (6,22)	1,05	46,92 (9,98) 49,75 (10,38)	0,29
Síl·labes	60,63 (2,22) 61,29 (2,65)	0,28	54,50 (5,23)*** 59,85 (3,88)	1,19	50,50 (6,24) 52,33 (8,46)	0,26
Paraules	59,96 (3,42) 60,67 (3,46)	0,21	49,65 (6,24)*** 55,30 (4,69)	1,05	38,50 (11,81) 43,17 (9,88)**	0,45
Pseudoparaules	51,13 (7,83) 53,04 (8,82)	0,23	31,10 (9,07)*** 45,40 (11,94)	1,38	27,83 (7,78) 30,33 (10,01)	0,29
Text	59,13 (3,89) 59,71 (3,8)	0,15	46,80 (11,54)*** 54,05 (6,26)	0,8	42,83 (8,57) 45,33 (7,04)	0,33
Comprensió lectora	59,33 (4,39) 58,79 (2,21)	0,16	47,65 (8,41)*** 53,80 (6,60)	0,83	47,17 (4,11)* 50,25 (4,83)	0,72
PRECISIÓ						
Lletres	58,83 (3,75) 59,33 (3,61)	0,14	44 (9,06)** 49,45 (6,24)	0,72	47,67 (7,19) 44 (8,78)	0,48
Síl·labes	63,25 (3,99) 64,83 (2,22)	0,5	49,80 (8,79)*** 56 (7,07)	0,8	53,08 (7,98)* 57,33 (8,73)	0,53
Paraules	62 (3,01) 62,63 (3,27)	0,2	38,25 (6,20)*** 48,95 (7,45)	1,6	39,33 (8,64)* 42,58 (5,11)	0,48
Pseudoparaules	52 (7,44) 53,67 (6,58)	0,24	22,55 (4,59)*** 33,55 (13,02)	1,16	30,08 (8,67) 32,25 (10,45)	0,24
Text	59,88 (1,92) 60,21 (2,26)	0,16	34,65 (11,14)*** 53,20 (9,54)	1,84	36,67 (10,29)*** 46,75 (8,98)	1,09
Comprensió lectora (encerts)	50,38 (10,41)** 56,25 (10,55)	0,57	41,50 (10,21)** 47,40 (7,51)	0,68	47,08 (9,18) 43,08 (7,55)	0,5
ORTOGRAFIA						
Arbitrària	59,29 (8,13) 61,50 (7,47)	0,29	54,60 (7,37) 53,65 (7,31)	0,13	43,92 (10,94) 44,42 (12,04)	0,05
Natural	63,67 (5,10) 62,13 (4,04)	0,34	39,15 (11,69)*** 47,85 (11,91)	0,76	39,17 (6,09) 42,17 (7,02)	0,48

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard; C= control; DLEI= dificultats lectores amb entrenament intensiu; DLEO= dificultats lectores amb entrenament ordinari; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; Significació estadística *p-valor $\leq 0,05$; **p-valor $\leq 0,005$; ***p-valor $\leq 0,001$; d Cohen= 0,1-0,4, efecte petit; d Cohen = 0,5-0,7, efecte mitjà; d Cohen $\geq 0,8$, efecte gran

En relació als factors implícits que intervenen en la lectura, la taula 8 mostra les puntuacions pre i post intervenció dels tres grups en mesures de memòria a curt termini, memòria de treball, fluïdesa verbal i denominació ràpida, totes considerades habilitats fonològiques de caràcter implícit que també influeixen en l'adquisició de la lectura (Defior, 2011). En aquest sentit, podem observar que el grup C va obtenir un resultat negatiu i estadísticament significatiu en l'índex de dígitos inversos ($p=0,001$) i fluïdesa verbal fonètica ($p<0,001$), aconseguint un rendiment T2 inferior al de T1. Aquest fet creiem que es podria explicar per les diferències d'edat en els barems aplicats en els dos moments temporals. El grup DLEI va aconseguir diferències significatives en quatre de les sis variables valorades; RAN objectes ($p=0,036$), RAN colors ($p<0,001$), fluïdesa verbal semàntica ($p<0,001$) i dígitos directes ($p=0,001$), mentre que el grup DLEO no va presentar diferències significatives en cap dels valors mesurats.

Taula 8

Rendiment dels processos fonològics implícits de cada grup pre i post intervenció

	GRUP C		GRUP DLEI		GRUP DLEO	
	M (DE)	d Cohen	M (DE)	d Cohen	M (DE)	d Cohen
	T1		T1		T1	
	T2		T2		T2	
RAN						
Objectes	50,17 (5,75)	0,19	40,90 (7,03)*	0,36	36,25 (7,09)	0,44
	51,33 (6,60)		43,70 (8,97)		38,92 (5,63)	
Colors	46,17 (6,03)	0,05	33,80 (7,08)***	0,60	34,42 (7,50)	0,16
	45,88 (6,16)		38,20 (8,02)		35,33 (4,33)	
FLUËNCIA VERBAL						
Fonètica	52,25 (9,62)***	0,78	47,15 (9,25)	0,04	39,58 (6,01)	0,56
	46,04 (6,31)		47,55 (11,89)		44,42 (11,16)	
Semàntica	60,67 (11,28)	0,11	42,80 (8,37)***	1,49	46,83 (5,57)	0,16
	61,75 (9,49)		58,60 (12,85)		47,67 (5,57)	
ATENCIÓ I MEMÒRIA DE TREBALL						
Dígitos directes	56,42 (5,32)	0,13	43,75 (5,02)***	0,96	43,92 (2,64)	0,56
	55,67 (6,65)		48,55 (5,20)		46,33 (5,77)	
Dígitos inversos	58,67 (7,20)***	0,65	48,90 (7,04)	0,12	43,50 (6,20)	0,01
	53,92 (8,07)		49,70 (6,89)		43,42 (5,42)	

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard; C= control; DLEI= dificultats lectores amb entrenament intensiu; DLEO= dificultats lectores amb entrenament ordinari; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; Significació estadística *p-valor $\leq 0,05$; **p-valor $\leq 0,005$; ***p-valor $\leq 0,001$; d Cohen= 0,1-0,4, efecte petit; d Cohen= 0,5-0,7, efecte mitjà; d Cohen $\geq 0,8$, efecte gran

4.5. Efectes de l'entrenament fonològic intensiu en el rendiment lector entregrups

En relació a les comparacions múltiples, la taula 9 mostra el rendiment lector entre grups d'intervenció i el grup control en les proves de lectura. La taula 10 conté la mida de l'efecte entre grups segons els resultats de les proves de lectura i d'ortografia abans i després de la intervenció.

En la valoració T1 de la taula 9, el grup C va mostrar un nivell significativament superior als grups DLEI i DLEO en totes les variables de lectura, velocitat, precisió i ortografia. Comparant el rendiment entre els grups DLEI i DLEO, els infants del primer grup van obtenir millor rendiment en totes les variables de velocitat lectora i ortografia arbitrària excepte en la comprensió lectora. D'altra banda, els nens i les nenes del grup DLEO van puntuar millor en totes les mesures de precisió lectora.

Pel que fa al rendiment lector en el moment T2, el grup C i DLEI no van diferir significativament en velocitat de lletres ($p=0,536$) i de síl·labes ($p=0,672$), això indica que el grup DLEI va obtenir un rendiment proper al grup C en aquestes variables. Per contra, les diferències entre aquests grups es van trobar en les altres 10 mesures de lectura. Aquest fet explica que tot i que hi va haver una millora significativa, el seu rendiment en aquestes variables encara era present. D'altra banda, el rendiment en T2 entre els grups C i DLEO va mostrar diferències en totes les variables de precisió i velocitat de lectura; lletres ($p<0,001$ i $p<0,001$), síl·labes ($p=0,002$ i $p<0,001$), paraules ($p<0,001$ i $p<0,001$), pseudoparaules ($p<0,001$ i $p<0,001$), text ($p<0,001$ i $p<0,001$), comprensió del text ($p<0,001$ i $p<0,001$) i mides del tamany de l'efecte molt per sobre de 0,8. Finalment, la comparació entre els grups DLEI i DLEO en el període T2 va indicar que el primer grup va superar el grup DLEO en precisió lectora de paraules ($p=0,008$), de lletres ($p=0,05$) i en cinc mesures de velocitat; lectura de lletres ($p=0,002$), síl·labes ($p=0,001$), paraules ($p<0,001$), text ($p=0,002$) i pseudoparaules ($p<0,001$) i en ortografia arbitrària ($p=0,006$). Com es mostra a la taula 10, el nivell d'assoliment de la mida de l'efecte va ser $d > 0,8$.

Taula 9

Rendiment lector entre grups d'intervenció i el grup control en les proves de lectura i ortografia després de la reeducació

	C versus DLEI M (DE)		C versus DLEO M (DE)		DLEI versus DLEO M (DE)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
VELOCITAT						
Lletres	61,79 (2,67) 51,35 (9,35)***	62,54 (4,23) 59,45 (6,22)	61,79 (2,67) 46,92 (9,98)***	62,54 (4,23) 49,75 (10,38)***	51,35 (9,35) 46,92 (9,98)	59,45 (6,22) 49,75 (10,38)**
Síl·labes	60,63 (2,22) 54,50 (5,23)***	61,29 (2,65) 59,85 (3,88)	60,63 (2,22) 50,50 (6,24)***	61,29 (2,65) 52,33 (8,46)***	54,50 (5,23) 50,50 (6,24)	59,85 (3,88) 52,33 (8,46)***
Paraules	59,96 (3,42) 49,65 (6,24)***	60,67 (3,46) 55,30 (4,69)*	59,96 (3,42) 38,50 (11,81)***	60,67 (3,46) 43,17 (9,88)***	49,65 (6,24) 38,50 (11,81)*	55,30 (4,69) 43,17 (9,88)***
Pseudoparaules	51,13 (7,83) 31,10 (9,07)***	53,04 (8,82) 45,40 (11,94)*	51,13 (7,83) 27,83 (7,78)***	53,04 (8,82) 30,33 (10,01)***	31,10 (9,07) 27,83 (7,78)	45,40 (11,94) 30,33 (10,01)***
Text	59,13 (3,89) 46,80 (11,54)***	59,71 (3,8) 54,05 (6,26)*	59,13 (3,89) 42,83 (8,57)***	59,71 (3,8) 45,33 (7,04)***	46,80 (11,54) 42,83 (8,57)	54,05 (6,26) 45,33 (7,04)**
Comprensió lectora	59,33 (4,39) 47,65 (8,41)***	58,79 (2,21) 53,80 (6,60)**	59,33 (4,39) 47,17 (4,11)***	58,79 (2,21) 50,25 (4,83)***	47,65 (8,41) 47,17 (4,11)	53,80 (6,60) 50,25 (4,83)
PRECISIÓ						
Lletres	58,83 (3,75) 44 (9,06)***	59,33 (3,61) 49,45 (6,24)***	58,83 (3,75) 47,67 (7,19)***	59,33 (3,61) 44 (8,78)***	44 (9,06) 47,67 (7,19)	49,45 (6,24) 44 (8,78)*
Síl·labes	63,25 (3,99) 49,80 (8,79)***	64,83 (2,22) 56 (7,07)***	63,25 (3,99) 53,08 (7,98)***	64,83 (2,22) 57,33 (8,73)**	49,80 (8,79) 53,08 (7,98)	56 (7,07) 57,33 (8,73)
Paraules	62 (3,01) 38,25 (6,20)***	62,63 (3,27) 48,95 (7,45)***	62 (3,01) 39,33 (8,64)***	62,63 (3,27) 42,58 (5,11)***	38,25 (6,20) 39,33 (8,64)	48,95 (7,45) 42,58 (5,11)*
Pseudoparaules	52 (7,44) 22,55 (4,59)***	53,67 (6,58) 33,55 (13,02)***	52 (7,44) 30,08 (8,67)***	53,67 (6,58) 32,25 (10,45)***	22,55 (4,59) 30,08 (8,67)	33,55 (13,02) 32,25 (10,45)
Text	59,88 (1,92) 34,65 (11,14)***	60,21 (2,26) 53,20 (9,54)*	59,88 (1,92) 36,67 (10,29)***	60,21 (2,26) 46,75 (8,98)***	34,65 (11,14) 36,67 (10,29)	53,20 (9,54) 46,75 (8,98)
Comprensió lectora	50,38 (10,41) 41,50 (10,21)*	56,25 (10,55) 47,40 (7,51)*	50,38 (10,41) 47,08 (9,18)	56,25 (10,55) 43,08 (7,55)***	41,50 (10,21) 47,08 (9,18)	47,40 (7,51) 43,08 (7,55)
ORTOGRAFIA						
Arbitrària	59,29 (8,13) 54,60 (7,37)	61,50 (7,47) 53,65 (7,31)**	59,29 (8,13) 43,92 (10,94)***	61,50 (7,47) 44,42 (12,04)***	54,60 (7,37) 43,92 (10,94)**	53,65 (7,31) 44,42 (12,04)*
Natural	63,67 (5,10) 39,15 (11,69)***	62,13 (4,04) 47,85 (11,91)***	63,67 (5,10) 39,17 (6,09)***	62,13 (4,04) 42,17 (7,02)***	39,15 (11,69) 39,17 (6,09)	47,85 (11,91) 42,17 (7,02)

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard; C= control; DLEI= dificultats lectores amb entrenament intensiu; DLEO= dificultats lectores amb entrenament ordinari; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; Significació estadística *p-valor \leq 0,05; **p-valor \leq 0,005; ***p-valor \leq 0,001

Taula 10

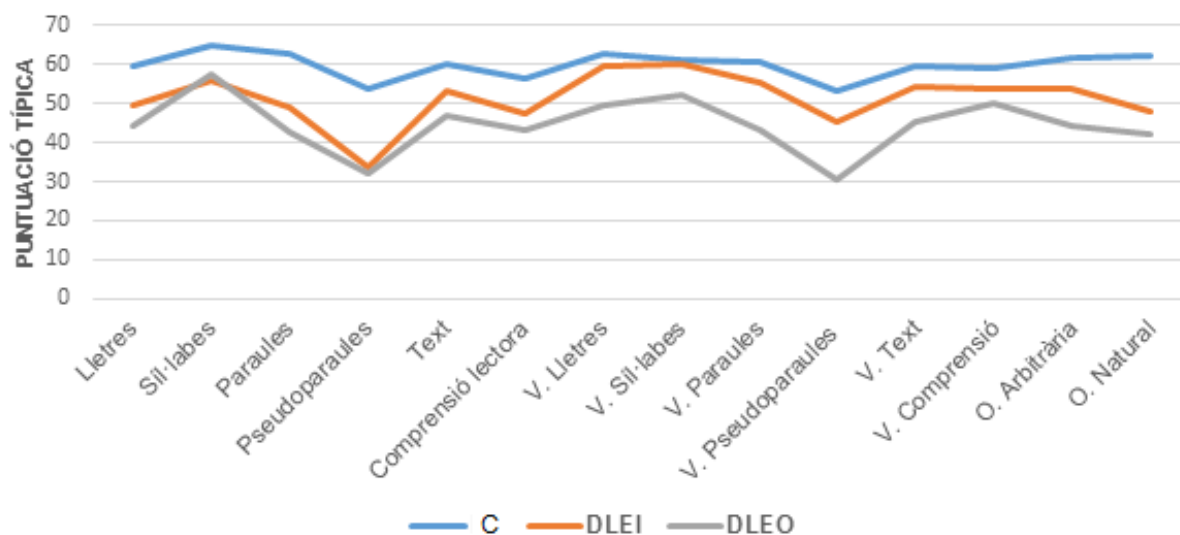
Mides de l'efecte entre grups d'intervenció i grup de control en les proves de lectura

	C versus DLEI		C versus DLEO		DLEI versus DLEO	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Lletres	2,27 ^a	1,73 ^a	1,73 ^a	2,69 ^a	0,54	0,96 ^a
Velocitat lletres	1,33 ^a	0,35	1,85 ^a	1,75 ^a	0,52	1,40 ^a
Síl·labes	2,09 ^a	1,62 ^a	1,67 ^a	1,47 ^a	0,42	0,15
Velocitat síl·labes	1,36 ^a	0,26	2,23 ^a	1,82 ^a	0,88 ^a	1,56 ^a
Paraules	4,27 ^a	2,60 ^a	4,09 ^a	3,82 ^a	0,17	1,22 ^a
Velocitat paraules	1,74 ^a	0,9 ^a	2,84 ^a	3,60 ^a	1,10 ^a	2,70 ^a
Text	3,10 ^a	0,95 ^a	2,81 ^a	1,83 ^a	0,29	0,88
Velocitat text	1,60 ^a	1,17 ^a	2,15 ^a	2,88 ^a	0,55	1,71 ^a
Comprensió lectora (encerts)	0,97 ^a	1,09 ^a	0,45	1,64 ^a	0,52	0,55
Velocitat comprensió	2,09 ^a	1,24 ^a	2,27 ^a	2,13 ^a	0,18	0,90
Pseudoparaules	4,52 ^a	2,13 ^a	3,49 ^a	2,32 ^a	1,03 ^a	0,20
Velocitat pseudoparaules	2,63 ^a	0,88 ^a	3,14 ^a	2,48 ^a	0,52	1,60 ^a
Ortografia arbitrària	0,67	1,04 ^a	2,03 ^a	2,23 ^a	1,37 ^a	1,19 ^a
Ortografia natural	3 ^a	1,72 ^a	2,95 ^a	2,38 ^a	0,05	0,66

Nota. C= control; DLEI= dificultats lectores amb entrenament intensiu; DLEO= dificultats lectores amb entrenament ordinari; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; Significació estadística ^ap-valor $\leq 0,05$, d Cohen=0,1-0,4, efecte petit; d Cohen=0,5-0,7, efecte mitjà; d Cohen $\geq 0,8$, efecte gran

En el gràfic 2 es pot veure la diferència en el rendiment lector dels tres grups en el moment T2. El grup C va obtenir un rendiment superior als dos grups d'intervenció en totes les mesures valorades seguit pel grup DLEI i amb rendiments més baixos, el grup DLEO.

Gràfic 2. Rendiment lector de cada grup posterior a la reeducació

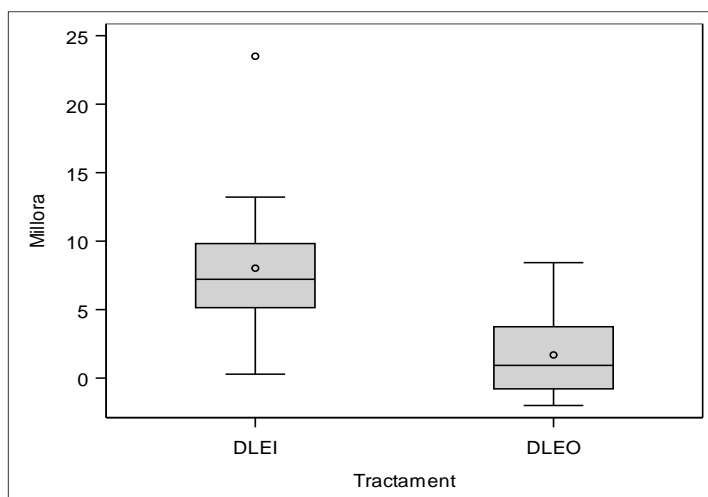


4.6. Identificació de variables predictores de l'èxit de la reeducació

Per analitzar el grau de recuperació es va crear la variable millora, entesa com la mitjana de les diferències de les variables cognitives analitzades entre T1 i T2 dels grups DLEI i DLEO. La taula 11 recull les puntuacions de totes elles.

El gràfic 3 ens mostra el grau de millora segons el tipus d'intervenció rebuda. En aquest cas, vam trobar diferències estadísticament significatives en la variable tractament en el sentit que el grup DLEI va millorar més que el grup DLEO ($p < 0,001$).

Gràfic 3. Grau de millora segons el grup d'intervenció



Millora= la mitjana de les diferències en les mesures T1 i T2 entre els grups DLEI i DLEO

Les anàlisis recollides a la taula 11 ens indiquen que el grup DLEI va obtenir diferències significatives en les variables de lectura de pseudoparaules ($r=-0,545$, $p=0,012$), velocitat lectora de lletres ($r=-0,803$, $p\leq 0,001$) i ortografia natural ($r=-0,440$, $p=0,050$). Aquests resultats ens indiquen que van millorar més aquells alumnes amb rendiments inicialment baixos en aquestes variables i per tant, podríem afirmar que aquestes tres variables serien les predictores de l'èxit de la reeducació en el grup DLEI.

El grup DLEO va obtenir puntuacions significatives en les mesures RAN objectes ($r=0,619$, $p=0,031$), RAN colors ($r=0,707$, $p=0,010$), dígit directe ($r=0,676$, $p=0,015$) i dígit invers ($r=0,767$, $p=0,003$). Aquests resultats ens mostren que aquells subjectes amb puntuacions inicialment altes en aquestes quatre variables van millorar més i per tant, aquestes serien predictores de l'èxit de la reeducació en el grup DLEO.

Taula 11

Variables predictores del grau de millora segons el grup de tractament

	MILLORA DLEI	p-valor	MILLORA DLEO	p-valor
ESTIMACIÓ QI				
QIV	-0,135	0,568	0,181	0,136
QIM	0,316	0,173	0,572	0,671
VELOCITAT				
Lletres	-0,803*	<0,001	0,006	0,984
Síl·labes	-0,215	0,361	-0,160	0,619
Paraules	-0,286	0,221	0,111	0,730
Pseudoparaules	-0,054	0,819	0,531	0,070
Text	0,120	0,614	0,117	0,717
Comprensió lectora	0,172	0,467	-0,393	0,206
PRECISIÓ				
Lletres	-0,328	0,157	0,201	0,531
Síl·labes	-0,239	0,310	-0,278	0,382
Paraules	-0,397	0,082	-0,430	0,162
Pseudoparaules	-0,545*	0,012	0,531	0,060
Text	-0,321	0,167	-0,043	0,893
Comprensió lectora (encerts)	-0,184	0,436	0,360	0,249
ORTOGRAFIA				
Arbitrària	0,352	0,127	0,058	0,858
Natural	-0,440*	0,050	0,519	0,080
RAN				
Objectes	-0,202	0,393	0,619*	0,031
Colors	-0,416	0,067	0,707*	0,010
FLUÈNCIA VERBAL				
Fonètica	0,068	0,777	0,228	0,475
Semàntica	-0,301	0,196	0,509	0,090
DÍGITS				
Directes	-0,108	0,649	0,676*	0,015
Inversos	0,101	0,671	0,767*	0,003

Nota. Millora= la mitjana de les diferències en les mesures T1 i T2 per grup d'intervenció;
Significació estadística *p-valor \leq 0,05

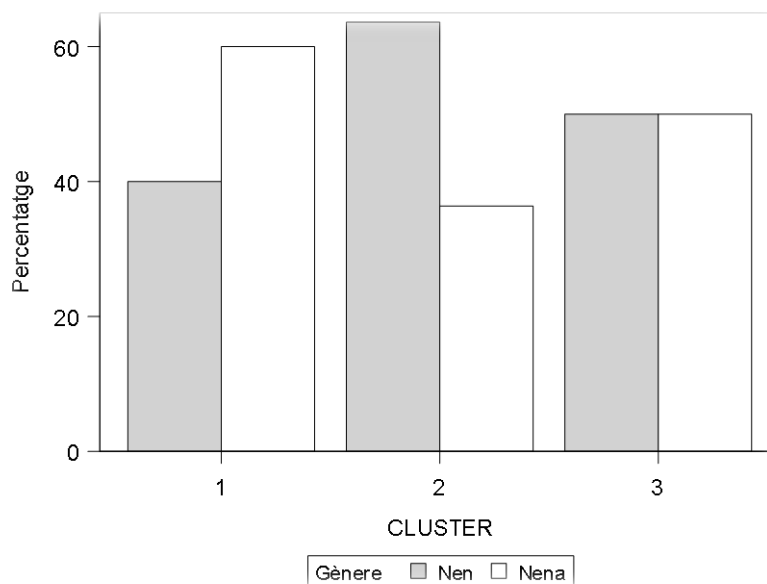
4.7. Anàlisi de clústers

A partir de les puntuacions típiques de les mesures inicials de precisió i velocitat lectora dels grups amb dificultats, es van aplegar els alumnes en tres grups

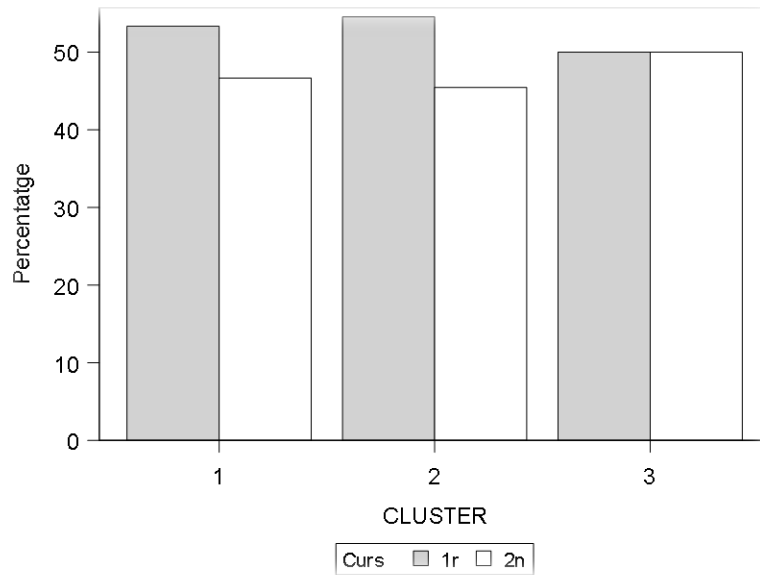
segons el perfil lector que presentaven; clúster 1 (n=15) 46,88%, clúster 2 (n=11) 34,38% i clúster 3 (n=6) 18,75%.

Les anàlisis indiquen que cap dels clústers presentava diferències significatives pel que fa a la variable gènere ($p= 0,489$) i a la variable curs ($p=0,984$), en aquest sentit, tots tres clústers eren similars (veure gràfics 4 i 5).

Gràfic 4. Distribució de la variable gènere segons els tres clústers



Gràfic 5. Distribució de la variable curs segons els tres clústers



A la taula 12 es recullen les puntuacions de lectura i ortografia per a cadascun dels clústers abans i després de la intervenció.

Taula 12

Rendiment dels tres clústers en les proves de lectura i ortografia abans i després de la intervenció

		Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	p-valor
		M (DE) n=15	M (DE) n=11	M (DE) n=6	
VELOCITAT					
Lletres	T1	49,93 (9,49)	54,64 (7,58)	40 (6,84)	0,007
	T2	55,47 (6,73)	62 (2,14)	45,33 (13,16)	<0,001
Sí·l·labes	T1	53 (4,26)	56,91 (5,07)	45,83 (4,02)	<0,001
	T2	56,33 (5,51)	60,64 (4,13)	52,17 (11,03)	0,043
Paraules	T1	47,2 (7,93)	51,82 (4,17)	38,83 (9,17)*	0,005
	T2	49,6 (11,79)	55,09 (4,99)	36,33 (9,97)**	0,003
Pseudoparaules	T1	29,87 (10,28)***	29,09 (7,65)***	31,33 (6,68)**	0,884
	T2	38,8 (16,27)*	43,55 (10,05)	35,17 (9,99)**	0,447
Text	T1	43,73 (11,14)	52,73 (6,1)	35,67 (5,39)**	0,002
	T2	50,8 (7,54)	54,64 (6,95)	43,67 (4,76)	0,015
Comprensió lectora	T1	46,6 (9,1)	59 (4,36)	45 (3,58)	0,312
	T2	52,27 (6,66)	55,09 (4,91)	48,17 (5,08)	0,081
PRECISIÓ					
Lletres	T1	43,87 (9,72)	47,45 (5,70)	45,33 (9,99)	0,582
	T2	46,8 (8,87)	50,82 (5,72)	42,67 (4,72)	0,098
Sí·l·labes	T1	47,07 (9,84)	55,73 (5,88)	52,33 (3,44)	0,029
	T2	54,33 (9,04)	60,45 (2,16)	54,67 (8,36)	0,102
Paraules	T1	35,93 (2,91)**	39,36 (6,74)*	44,17 (11,72)	0,046
	T2	45,07 (8,75)	48,27 (5,55)	47,17 (6,31)	0,543
Pseudoparaules	T1	22,4 (5,34)***	26,82 (7,37)***	30,17 (9,13)***	0,059
	T2	28,67 (12,72)***	39,55 (8,56)*	32,17 (11,63)**	0,066
Text	T1	27,8 (7,79)***	40,91 (8,63)	44,33 (7,45)	<0,001
	T2	48,07 (11,13)	54,82 (8,98)	50,17 (4,36)	0,218
Comprensió lectora (encerts)	T1	35,8 (6,58)**	52,55 (7,53)	46,67 (4,84)	<0,001
	T2	43,2 (7,85)	50,82 (6,95)	43 (3,63)	0,022
ORTOGRAFIA					
Arbitrària	T1	56,53 (5,51)	50,27 (8,25)	36,33 (8,33)**	<0,001
	T2	49,8 (8,73)	56,27 (9)	40 (8,27)	0,004
Natural	T1	31,13 (6)**	49,36 (4,97)	40,5 (5,17)	<0,001
	T2	41,67 (10,25)	54,82 (7,26)	39,17 (3,6)*	0,001

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard; T1= pre intervenció T2= post intervenció; Significació estadística p-valor $\leq 0,05$; *Alteració lleu PT ≤ 39 , **Alteració moderada PT ≤ 36 , ***Alteració greu PT ≤ 30

En base a les anàlisis de clústers podem descriure els perfils que presentaven els alumnes amb dificultats lectores abans de la intervenció. Els infants del clúster 1 van obtenir puntuacions amb alteracions entre moderades i greus en subtests de precisió lectora de paraules, pseudoparaules i text. Van mostrar un rendiment greument alterat en velocitat lectora de pseudoparaules, la resta de subtests van puntuar dins de la normalitat però en detriment de la precisió lectora. Aquest perfil ens indica que la lectura era fluent però sense que hi hagués una bona descodificació, amb repercussió important en ortografia natural i amb una comprensió lectora moderadament alterada. Tot això ens suggerieix una disfunció d'ambdues vies (fonològica i lèxica) amb major activació de la primera.

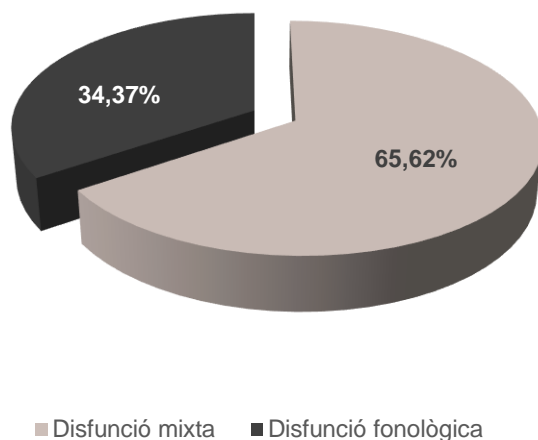
Els alumnes classificats en el clúster 2 van presentar puntuacions més altes en la majoria de proves, especialment les de velocitat i ortografia i els errors se situaven en precisió i velocitat lectora de pseudoparaules amb puntuacions greument alterades i lectura de paraules amb rendiment lleument alterat. La comprensió lectora era normal. El perfil lector d'aquest grup suggereix una disfunció de predomini fonològic i les mesures de velocitat i ortografia ens indiquen que la via lèxica es començava a activar, més que en cap dels altres dos clústers.

Podem dir que el Clúster 3 presentava un rendiment greument alterat en precisió lectora de pseudoparaules i un resultat amb puntuacions normalitzades en la resta de subtests de mecànica i comprensió lectora. La velocitat lectora apareixia moderadament alterada en lectura de pseudoparaules i text i lleument alterada en lectura de paraules. El rendiment moderadament alterat en l'ortografia arbitrària és compatible amb una disfunció de la ruta lèxica. En aquest cas, el perfil que presenta aquest grup ens suggereix una afectació d'ambdues vies, fonològica i lèxica, amb una activació similar de totes dues.

Abans de la intervenció els tres clústers van mostrar valors semblants, sense diferències significatives, en precisió lectora de lletres (puntuacions normalitzades) i pseudoparaules (rendiments greument alterats), velocitat en lectura de pseudoparaules (afectació moderada i greu) i velocitat en comprensió lectora (resultats normalitzats).

Els resultats de les anàlisis de clústers ens indiquen que la ruta fonològica estava afectada en els tres grups i en tots tres la mesura de lectura de pseudoparaules sembla ser un bon indicador per mesurar el rendiment fonològic en infants d'aquestes edats. Si analitzem els perfils lectors obtinguts, un 65,62% dels alumnes amb dificultats lectores presentava una disfunció de les dues rutes, fonològica i lèxica (mixta) i un 34,37% dels alumnes presentava més afectació de la via fonològica (veure gràfic 6).

Gràfic 6. Perfils lectors



A les 16 setmanes de la intervenció es va observar que el perfil lector dels tres clústers va millorar globalment en tots ells.

El clúster 1 va millorar en totes les variables de lectura i ortografia mantenint puntuacions greument alterades en precisió lectora de pseudoparaules i lleument alterades en velocitat de pseudoparaules indicatiu de la disfunció de la ruta fonològica. En base als resultats obtinguts podem inferir que després de la reeducació la via lèxica s'estava començant a activar.

El clúster 2 continua sent el grup que va presentar un millor rendiment en les variables analitzades, mostrant només una alteració lleu en lectura de pseudoparaules i un rendiment dins de la normalitat baixa en precisió lectora. En aquest cas tot i la millora, també es posa de relleu la manca d'agilitat de la ruta fonològica.

El clúster 3 va seguir mostrant una disfunció mixta que es va traduir en una alteració moderada en la precisió i la velocitat lectora de pseudoparaules, velocitat lectora de paraules i davallada lleu en ortografia natural.

Després de la intervenció, els 3 clústers van mostrar valors similars, sense diferències significatives, en velocitat lectora de pseudoparaules (alteració lleu i moderada en 2 clústers), comprensió lectora, precisió en lectura de lletres, síl·labes, paraules i text (totes amb un rendiment normal) i precisió lectora de pseudoparaules (resultats de lleu a greument alterats).

4.8. Resultats de volumetria cerebral

A la taula 13 podem veure la comparativa del percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup de control, abans (T1) i després (T2) de la reeducació. Els valors representen la mitjana del percentatge de volum de l'estructura respecte el volum total cerebral (volum total cerebral=suma de SB+SG+LCR). En la figura 12 podem veure un exemple de parcel·lació durant les anàlisis.

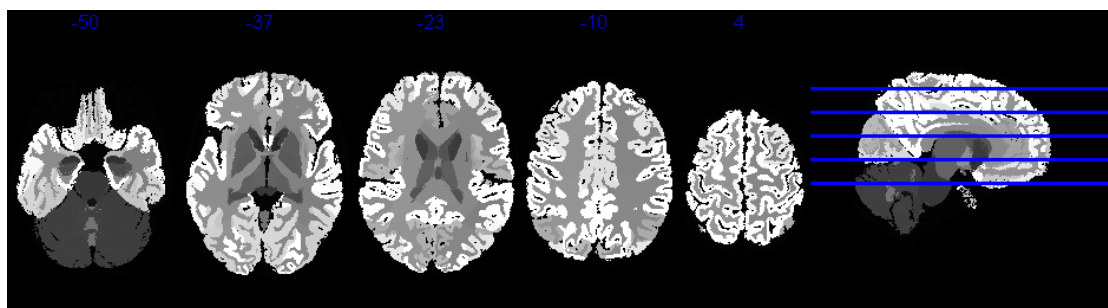


Figura 12. Imatge durant la fase de parcel·lació amb el sistema volBrain.

Taula 13

Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup C abans i després de la intervenció

	GRUP C (n=20)					
	T1		T2		Z	p-valor
	M	DE	M	DE		
% SG HD	26,19	1,29	26,21	1,28	-0,483	0,629
% SB HD	13,85	0,87	14,01	0,90	-2,575	0,010
% SG HE	26,03	1,26	26,07	1,24	-0,362	0,717
% SB HE	13,85	0,85	14,00	0,88	-2,455	0,014
% SG Cerebel D	4,04	0,28	4,05	0,31	-0,201	0,841
% SB Cerebel D	0,92	0,15	0,92	0,17	-1,127	0,260
% SG Cerebel E	4,15	0,27	4,15	0,32	-0,631	0,528
% SB Cerebel E	0,95	0,15	0,95	0,17	-1,006	0,314
% Caudat D	0,29	0,03	0,29	0,03	-1,403	0,161
% Caudat E	0,29	0,03	0,29	0,03	-1,166	0,244
% Putamen D	0,32	0,03	0,32	0,03	-0,184	0,854
% Putamen E	0,32	0,03	0,32	0,03	-1,540	0,124
% Tàlem D	0,45	0,03	0,45	0,03	0,000	1,000
% Tàlem E	0,45	0,02	0,45	0,03	-0,258	0,796
% Hipocamp D	0,25	0,02	0,25	0,02	-1,897	0,058
% Hipocamp E	0,24	0,02	0,25	0,02	-1,977	0,048

Nota. M= mitjana, DE= desviació estàndard; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; SB= substància blanca; SG= substància grisa; D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Significació estadística *p-valor <0,003

L'anàlisi comparativa pre i post intervenció del grup C i corregida per a múltiples comparacions no objectiva cap canvi estadísticament significatiu en les estructures cerebrals analitzades.

A la taula 14 podem veure la comparativa del % de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup DLEI abans (T1) i després (T2) de la reeducació. Els valors representen la mitjana del percentatge de volum de l'estructura respecte el volum total cerebral (volum total cerebral= suma de SB+SG+LCR). La figura 12 i la figura 13 ens mostren un exemple de segmentació de la SG i de la SB respectivament en el grup DLEI.

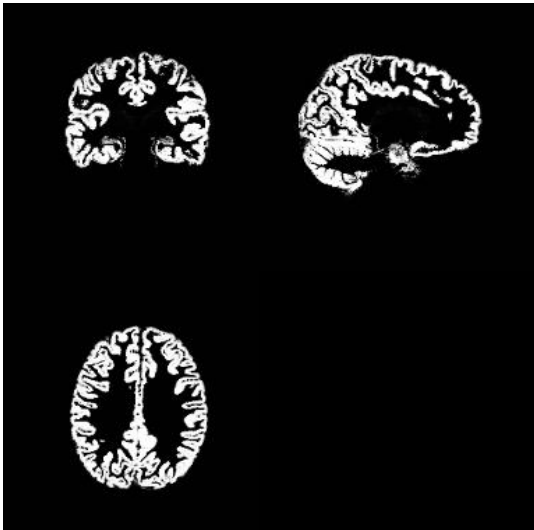


Figura 13. Segmentació de la SG en el grup DLEI amb el sistema volBrain.



Figura 14. Segmentació de la SB en el grup DLEI amb el sistema volBrain.

Taula 14

Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals en el grup DLEI abans i després de la intervenció

	GRUP DLEI (n= 18)				Z	p-valor
	T1		T2			
	M	DE	M	DE		
% SG HD	26,42	0,94	26,30	1,02	-1,938	0,053
% SB HD	14,02	0,68	14,31	0,73	-3,724	0,000*
% SG HE	26,43	0,92	26,37	1,03	-1,111	0,267
% SB HE	14,02	0,67	14,32	0,70	-3,593	0,000*
% SG Cerebel D	4,08	0,24	4,09	0,26	-0,240	0,811
% SB Cerebel D	0,88	0,13	0,89	0,11	-0,457	0,647
% SG Cerebel E	4,20	0,27	4,22	0,29	-1,241	0,215
% SB Cerebel E	0,91	0,11	0,90	0,10	-0,196	0,845
% Caudat D	0,30	0,03	0,30	0,03	-2,333	0,020
% Caudat E	0,29	0,03	0,30	0,03	-1,897	0,058
% Putamen D	0,34	0,03	0,34	0,03	0,000	1,000
% Putamen E	0,35	0,03	0,34	0,03	-0,447	0,655
% Tàlem D	0,47	0,03	0,46	0,03	-0,722	0,470
% Tàlem E	0,47	0,03	0,47	0,03	-0,073	0,942
% Hipocamp D	0,26	0,03	0,26	0,03	-1,414	0,157
% Hipocamp E	0,26	0,02	0,26	0,03	-1,342	0,180

Nota. M= mitjana, DE = desviació estàndard; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; SB= substància blanca; SG= substància grisa; D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Significació estadística *p-valor $\leq 0,003$

A la taula 14 podem observar que l'anàlisi comparativa dels percentatges de volums pre i post intervenció del grup DLEI i corregida per a múltiples comparacions, objectiva canvis estadísticament significatius en % de VSB en ambdós hemisferis cerebrals (HD $p=0.000$ i HE $p=0.000$) indicant un increment del mateix posterior a la reeducació. En la resta d'estructures analitzades no es van objectivar canvis significatius.

La taula 15 recull els resultats de l'anàlisi comparativa dels volums cerebrals de macroestructures i estructures subcorticals pre i post intervenció entre els grups d'estudi C i DLEI. Els valors representen la mitjana del percentatge de volum de l'estructura respecte el volum total cerebral (volum total cerebral=suma de SB+SG+LCR). Tal com podem veure, no s'objectiven canvis significatius en cap de les estructures analitzades. Tot i així, posterior a la intervenció i aplicant-se la correcció per a múltiples comparacions, s'observa una tendència a la significació estadística en el % de VSB en el grup DLEI en comparació al grup C (HD $p=0,009$; HE $p= 0,008$) essent superior en el primer.

Taula 15

Percentatge de volum de macroestructures i estructures subcorticals entre el grup C i el grup DLEI abans i després de la intervenció

		T1				T2			
		M	DE	F	p-valor	M	DE	F	p-valor
% SG HD	1	26,19	1,29	0,018	0,894	26,21	1,28	0,236	0,631
	2	26,42	0,94			26,30	1,02		
% SB HD	1	13,85	0,87	2,909	0,097	14,01	0,90	7,636	0,009
	2	14,02	0,68			14,31	0,73		
% SG HE	1	26,03	1,26	0,374	0,545	26,07	1,24	0,004	0,948
	2	26,43	0,92			26,37	1,03		
% SB HE	1	13,85	0,86	2,712	0,109	14,00	0,88	7,934	0,008
	2	14,02	0,67			14,31	0,70		
% SG Cerebel D	1	4,04	0,28	0,796	0,379	4,05	0,31	1,195	0,282
	2	4,08	0,24			4,09	0,26		
% SB Cerebel D	1	0,92	0,15	0,008	0,930	0,92	0,17	0,428	0,517
	2	0,88	0,13			0,89	0,11		
% Caudat D	1	0,29	0,03	0,065	0,801	0,29	0,03	0,067	0,797
	2	0,30	0,03			0,30	0,03		
% Caudat E	1	0,29	0,03	0,314	0,579	0,29	0,03	0,543	0,466
	2	0,30	0,03			0,30	0,03		
% Putamen D	1	0,32	0,03	5,216	0,029	0,32	0,03	4,852	0,034
	2	0,34	0,03			0,34	0,03		
% Putamen E	1	0,32	0,03	5,250	0,028	0,32	0,03	4,036	0,053
	2	0,35	0,03			0,34	0,03		
% Tàlem D	1	0,45	0,03	2,574	0,118	0,45	0,03	1,810	0,187
	2	0,47	0,03			0,46	0,03		
% Tàlem E	1	0,45	0,02	3,729	0,062	0,45	0,03	3,290	0,079
	2	0,47	0,03			0,47	0,03		
% Hipocamp D	1	0,25	0,02	2,501	0,123	0,25	0,02	1,858	0,182
	2	0,26	0,03			0,26	0,03		
% Hipocamp E	1	0,24	0,02	5,197	0,029	0,25	0,02	2,281	0,140
	2	0,26	0,02			0,26	0,03		

Nota. 1= grup control, 2= DLEI, dificultats lectores amb entrenament intensiu; M= mitjana, DE= desviació estàndard; T1= pre intervenció; T2= post intervenció; SB= substància blanca; SG= substància grisa D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Significació estadística *p-valor <0,003

Quan comparem el volum del cos callós i de l'escorça cerebral entre els grups C i DLEI abans de la reeducació (veure taula 16) i després (veure taula 17) no obtenim cap canvi estadísticament significatiu en les àrees cerebrals analitzades. Tot i així,

posterior a la intervenció, s'observa una tendència a la significació estadística (p=0,006) en volum del Gir Frontal Superior D sent superior en el grup control.

Taula 16

Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral entre grups abans de la intervenció

	GRUP C (n=20)		GRUP DLEI (n=18)		T-Student	p-valor
	M	DE	M	DE		
Cos Callós	8,30	0,84	8,09	0,79	0,778	0,442
Motor						
Àrea Motora Supl. D	2,85	0,34	2,79	0,36	0,435	0,666
Àrea Motora Supl. E	3,14	0,32	3,10	0,36	0,373	0,711
Gir Precentral D	6,50	0,65	6,42	0,60	0,430	0,670
Gir Precentral E	6,40	0,42	6,34	0,86	0,249	0,805
Frontal						
Gir Frontal Mig D	12,10	0,84	11,68	2,00	0,857	0,397
Gir Frontal Mig E	11,98	0,89	11,73	1,58	0,607	0,548
Gir Frontal Sup. D	7,86	0,70	7,41	0,94	1,659	0,106
Gir Frontal Sup. E	8,43	0,77	8,16	0,73	1,106	0,276
Gir Frontal Inf. D P. Op.	1,91	0,27	1,83	0,28	0,901	0,373
Gir Frontal Inf. E P. Op.	1,75	0,28	1,81	0,22	-0,794	0,432
Gir Frontal Inf. D P. Tr.	1,77	0,21	1,84	0,26	-1,018	0,315
Gir Frontal Inf. E P. Tr.	1,82	0,24	1,93	0,26	-1,319	0,195
Temporal						
Gir Temporal Sup. D	4,60	0,61	4,65	0,49	-0,336	0,739
Gir Temporal Sup. E	4,11	0,47	4,02	0,44	0,591	0,559
Gir Temporal Inf. D	6,76	0,55	6,41	0,64	1,775	0,084
Gir Temporal Inf. E	6,47	0,38	6,23	0,65	1,385	0,174
Parietal						
Gir Supramarginal D	4,80	0,56	5,05	0,51	-1,389	0,173
Gir Supramarginal E	4,36	0,47	4,55	0,50	-1,218	0,231
Gir Angular D	5,31	0,54	5,27	0,53	0,220	0,827
Gir Angular E	4,63	0,48	4,87	0,33	-1,708	0,096
Occipital						
Gir fusiform D	5,10	0,44	4,89	0,51	1,360	0,182
Gir fusiform E	5,07	0,51	4,92	0,45	1,007	0,321
Gir Occ. Inf. D	3,58	0,37	3,63	0,40	-0,381	0,706
Gir Occ. Inf. E	3,33	0,34	3,42	0,39	-0,756	0,455

Nota. C= grup control; DLEI, dificultats lectores amb entrenament intensiu; M= mitjana, DE= desviació estàndard; D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Supl.= Suplementària; P. Op.= Pars Opercularis; P. Tr.= Pars Triangularis; Inf.= inferior; Sup.= superior; Occ.= occipital; Significació estadística *p-valor \leq 0,002

Taula 17

Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral entre grups després de la intervenció

	GRUP C (n=20)		GRUP DLEI (n=18)		T-Student	p-valor
	M	DE	M	DE		
Cos Callós	8,38	0,76	8,57	0,79	-0,757	0,454
Motor						
Gir Precentral D	6,36	0,69	6,46	0,62	-0,489	0,628
Gir Precentral E	6,34	0,50	6,53	0,82	-0,844	0,404
Àrea Motora Supl. D	2,81	0,30	2,82	0,25	-0,165	0,870
Àrea Motora Supl. E	3,10	0,33	3,11	0,28	-0,086	0,932
Frontal						
Gir Frontal Sup. D	8,01	0,63	7,39	0,65	2,952	0,006
Gir Frontal Sup. E	8,25	0,64	8,07	0,68	0,856	0,398
Gir Frontal Mig D	11,68	0,93	11,36	1,46	0,783	0,439
Gir Frontal Mig E	11,74	0,78	11,72	1,27	0,068	0,946
Gir Frontal Inf. D P. Tr.	1,84	0,27	1,82	0,18	0,341	0,735
Gir Frontal Inf. E P. Tri.	1,89	0,28	1,92	0,27	-0,252	0,803
Gir Frontal Inf. D P. Op.	1,95	0,29	1,78	0,21	1,976	0,056
Gir Frontal Inf. E P. Op.	1,80	0,33	1,77	0,29	0,258	0,798
Temporal						
Gir Temporal Inf. D	6,76	0,42	6,42	0,61	1,948	0,060
Gir Temporal Inf. E	6,39	0,37	6,35	0,74	0,164	0,871
Gir Temporal Sup. D	4,59	0,55	4,51	0,34	0,526	0,602
Gir Temporal Sup. E	4,14	0,48	4,02	0,34	0,855	0,398
Parietal						
Gir Supramarginal D	4,85	0,62	5,07	0,53	-1,157	0,255
Gir Supramarginal E	4,48	0,48	4,60	0,55	-0,713	0,481
Gir Angular D	5,23	0,43	5,29	0,48	-0,334	0,740
Gir Angular E	4,56	0,51	4,78	0,49	-1,346	0,187
Occipital						
Gir fusiforme D	5,12	0,39	4,79	0,53	2,141	0,039
Gir fusiforme E	5,06	0,39	4,95	0,32	0,932	0,358
Gir Occ. Inf. D	3,62	0,39	3,68	0,35	-0,530	0,599
Gir Occ. Inf. E	3,39	0,39	3,35	0,39	0,270	0,789

Nota. C= grup control; DLEI, dificultats lectores amb entrenament intensiu; M= mitjana, DE= desviació estàndard; D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Supl.= Suplementària; P. Op.= Pars Opercularis; P. Tr.= Pars Triangularis; Inf.= inferior; Sup.= superior; Occ.= occipital; Significació estadística *p-valor \leq 0,002

L'anàlisi comparativa del cos callós i de l'escorça cerebral abans i després de la intervenció de cada grup no va objectivar cap canvi estadísticament significatiu en les mesures analitzades després d'aplicar-se la correcció per a múltiples comparacions (veure taula 18).

Taula 18

Comparació del volum del cos callós i de l'escorça cerebral abans i després de la intervenció de cada grup

	GRUP C (n=20)				GRUP DLEI (n=18)			
	M	DE	T-Student	p-valor	M	DE	T-Student	p-valor
Cos Callós	0,01	1,20	0,014	0,989	-0,47	1,04	-1,948	0,068
Motor								
Àrea Motora Supl. D	0,06	0,48	0,552	0,588	-0,03	0,38	-0,292	0,774
Àrea Motora Supl. E	0,05	0,49	0,491	0,630	-0,01	0,47	-0,062	0,951
Gir Precentral D	0,15	1,02	0,633	0,535	-0,04	0,65	-0,291	0,775
Gir Precentral E	0,08	0,69	0,524	0,606	-0,18	1,31	-0,609	0,551
Frontal								
Gir Frontal Sup. D	-0,10	0,97	-0,452	0,656	0,02	0,90	0,107	0,916
Gir Frontal Sup. E	0,21	1,14	0,787	0,442	0,09	0,75	0,533	0,601
Gir Frontal Mig D	0,42	1,04	1,759	0,096	0,31	2,08	0,642	0,529
Gir Frontal Mig E	0,22	1,20	0,805	0,431	0,01	1,81	0,021	0,983
Gir Frontal Inf. D P. Tr.	-0,06	0,35	-0,742	0,467	0,03	0,26	0,445	0,662
Gir Frontal Inf. E P. Tr.	-0,09	0,42	-0,948	0,355	0,01	0,34	0,142	0,889
Gir Frontal Inf. D P.Op.	-0,05	0,36	-0,679	0,506	0,04	0,42	0,448	0,660
Gir Frontal Inf. E P.Op.	-0,05	0,35	-0,636	0,533	0,04	0,35	0,483	0,635
Temporal								
Gir Temporal Inf. D	0,06	0,68	0,430	0,672	-0,01	0,96	-0,058	0,954
Gir Temporal Inf. E	0,10	0,38	1,140	0,269	-0,12	0,93	-0,562	0,582
Gir Temporal Sup. D	-0,01	0,77	-0,061	0,952	0,14	0,58	1,045	0,311
Gir Temporal Sup. E	-0,04	0,64	-0,318	0,754	-0,01	0,49	-0,028	0,978
Parietal								
Gir Supramarginal D	0,01	0,75	0,018	0,986	-0,03	0,72	-0,186	0,855
Gir Supramarginal E	-0,08	0,76	-0,482	0,636	-0,04	0,61	-0,318	0,754
Gir Angular D	0,07	0,57	0,573	0,574	-0,02	0,78	-0,120	0,906
Gir Angular E	0,09	0,79	0,521	0,609	0,08	0,61	0,537	0,598
Occipital								
Gir fusiforme D	-0,01	0,59	-0,015	0,988	0,09	0,82	0,513	0,614
Gir fusiforme E	0,04	0,71	0,247	0,808	-0,03	0,67	-0,220	0,829
Gir Occ. Inf. D	-0,06	0,53	-0,512	0,615	-0,05	0,39	-0,609	0,551
Gir Occ. Inf. E	-0,06	0,58	-0,493	0,628	0,07	0,50	0,590	0,563

Nota. C= grup control; DLEI, dificultats lectores amb entrenament intensiu; M= mitjana, DE= desviació estàndard; D= dret/dreta; E= esquerre/esquerra; Supl.= Suplementària; P. Op.= Pars Opercularis; P. Tr.= Pars Triangularis; Inf.= inferior; Sup.= superior; Occ.= occipital
Significació estadística *p-valor \leq 0,002

Vam correlacionar les variables neuropsicològiques i les de volumetria del grup DLEI que van mostrar canvis estadísticament significatius per a múltiples comparacions entre els temps T1 i T2. Un cop fetes les anàlisis, únicament vam obtenir correlacions significatives entre la velocitat lectora de lletres i el % de volum de SB de l'HD i de l'HE (veure taula 19).

Taula 19

Anàlisi de correlacions entre les variables neuropsicològiques i de volumetria posteriors a la intervenció en el grup DLEI

	% SB HD	% SB HE
L. Lletres	-0,138	-0,078
V. Lletres	0,480*	0,483*
L. Síl·labes	0,084	0,110
V. Síl·labes	0,031	0,040
L. Paraules	0,159	0,160
V. Paraules	-0,031	-0,280
L. Text	-0,091	-0,061
V. Text	-0,457	-0,421
E. Comprensió	-0,134	0,158
V. Comprensió	-0,313	-0,258
L. Pseudoparaules	-0,040	-0,071
V. Pseudoparaules	-0,224	-0,253
O. Arbitrària	-0,183	-0,058
O. Natural	-0,066	-0,202
RAN Objectes	-0,197	-0,117
RAN Colors	0,218	0,247
F.verbal semántica	-0,104	-0,054
F. verbal fonética	-0,440	-0,448
Dígits Directes	-0,214	-0,200
Dígits Inversos	0,244	-0,239

Nota. L= lectura; V= velocitat; E= encerts; O= ortografia; F= fluència; D= dreta; E= esquerra; SB= substància blanca; HD= hemisferi dret; HE= hemisferi esquerre; Significació estadística *p-valor \leq 0,05

Discussió

5. Discussió

L'objectiu del nostre estudi era analitzar els canvis cognitius i cerebrals en un grup d'alumnes de cicle inicial amb dificultats lectores després d'haver seguit un programa d'entrenament informàtic intensiu i comparar els canvis cognitius amb els obtinguts per dos grups més, un que va seguir un entrenament ordinari a l'escola i un altre normolector.

Els resultats indiquen que els alumnes amb dificultats lectores sotmesos a un entrenament intensiu informatitzat obtenen millors resultats que el grup d'entrenament ordinari a l'aula aconseguint normalitzar la majoria de les variables analitzades.

Recentment s'ha realitzat un estudi amb mostra catalana format per un total de 347 alumnes de primer curs de primària. Una part d'ells va formar el grup experimental (mètode Binding) i un altre el grup de control. Els nens i les nenes del primer grup es van beneficiar de la plataforma educativa aplicada per estimular la lectura durant tot el curs acadèmic. Es van combinar sessions grupals i individuals demostrant-se una millora en totes les proves de lectura (velocitat i precisió) en aquells alumnes que van seguir el mètode Binding durant tot el curs (López-Olóriz, Pina, Ballesta, Bordoy & Pérez-Zapata, 2020).

Segons el nostre coneixement i en base a la literatura científica revisada, aquest és l'únic estudi realitzat en mostra catalana i, tot i així, no hi ha investigacions que avaluïn els efectes que té sobre la lectoescriptura un programa intensiu informatitzat en una mostra catalana de lectors primerencs amb dificultats lectores. L'estudi esmentat anteriorment no va realitzar una anàlisi comparativa entre alumnes amb dificultats de lectura i normolectors, ni tampoc va valorar l'eficàcia del mètode Binding en comparació amb un altre programa d'instrucció aplicat a les escoles que hi van participar.

Donada la manca de treballs en mostra catalana, hem pres com a referència aquells estudis que s'han realitzat en altres llengües amb diferents sistemes ortogràfics com l'espanyol o l'anglès.

Tot seguit es discuteixen els resultats obtinguts seguint els objectius plantejats inicialment a fi de facilitar-ne la seva comprensió.

Identificació de variables predictores de les dificultats lectores

És fonamental identificar o detectar els nens i les nenes amb risc de patir problemes lectors per tal de reduir les dificultats que molts d'ells i d'elles presenten o presentaran al llarg de la seva escolaritat. Avaluacions de cribratge breus amb bona capacitat predictiva ens permetrien detectar aquells infants amb dificultats, intervenir-hi i reduir-ne el seu impacte. Són molts els treballs que indiquen que un rendiment deficitari en mesures de vocabulari i fluïdesa verbal, consciència fonològica, denominació ràpida d'estímuls visuals coneguts i memòria de treball, en infants d'educació infantil, són predictors de les dificultats lectores (Gabrielli, 2009; Dockrell, Stuart & King, 2006; Defior, 2011; Denckla & Rudel, 1974, 1976;. Lander & Wimmer, 2008; Wolff, 2014; Snowling & Hulme, 2011; Alloway, 2009; Ramus et al., 2013; Moura, Simões & Pereira, 2015). En el nostre estudi cap de les mesures que vam utilitzar; vocabulari i fluïdesa verbal, denominació ràpida d'estímuls visuals i memòria de treball, van ser predictors dels dèficits lectors. Tot i així, en relació a aquestes variables, el grup DLEI va millorar més després de la intervenció, obtenint canvis significatius i superiors a la resta en mesures de RAN colors i fluïdesa verbal semàntica, amb valors moderats i alts en la mida de l'efecte ($d = 0,6$, $d = 1,49$), respectivament.

Vocabulari i fluïdesa verbal

La mesura de vocabulari utilitzada en l'estudi ens va indicar que, tot i el rendiment normalitzat, els grups DLEI i DLEO puntuaven més de 10 punts per sota del grup C. Aquest resultat pot estar en relació amb aquells estudis que assenyalen retards en l'adquisició d'habilitats lingüístiques orals, inclosos el vocabulari i l'expressió gramatical, així com dèficits fonològics en els infants dislèctics en comparació amb els normolectors (Gallagher, Frith & Snowling, 2000; Snowling et al., 2000). Per Carroll, Mundy & Cunningham (2014) el retard en l'adquisició del llenguatge és un dels signes d'alarma per detectar la dislèxia en un terç dels infants amb dificultats. Estudis realitzats en infants neurotípics han demostrat que aprendre a llegir està

fortament relacionat amb el desenvolupament de les habilitats lingüístiques primerenques i per tant, dèficits o retards en aquesta àrea es manifestaran amb possibles dificultats lectores a posteriori (Goswami & Bryant, 1990; Share, 1995).

Pel que fa a les tasques de fluïdesa verbal, hi ha diverses investigacions que han demostrat que en proves fonètiques els infants i adults amb dislèxia generen significativament menys nombre de paraules que els normolectors (Brosnan et al, 2002; Smith-Spark, Henry, Messer & Zięcik, 2017). Els resultats del nostre estudi van en aquesta línia, tots dos grups amb dificultats lectores, DLEI i DLEO, van obtenir un rendiment inicial molt inferior al grup C. Per a les tasques semàntiques, però, hi ha conclusions divergents (Landerl, Fussenegger, Moll & Willburger, 2009; Marzocchi et al., 2008; Reiter, Tucha & Lange, 2005). En les nostres troballes, aquesta mesura continua sent inferior al grup C en tots dos grups amb dificultats lectores, sent el grup DLEI qui obté un rendiment més baix. A excepció del grup DLEI, tant el grup DLEO com el C presenten un rendiment més alt en fluència verbal semàntica que en fonètica. Aquest punt podria estar relacionat amb el fet que les tasques de fluïdesa verbal semàntica són més fàcils que les fonètiques tant per als normolectors com per als infants dislèctics (Filippetti & Allegri, 2011; Martins, Vieira, Loureiro & Santos, 2007; Moura, Simões & Pereira, 2013; Riva, Nichelli & Devoti, 2000; Reiter et al., 2005; Varvara, Varuzza, Sorrentino, Vicari & Menghini, 2014). Alguns autors han suggerit que això és així perquè la tasca fonètica requereix de l'exploració d'un major nombre de subconjunts de categories, es basa més en el component executiu central de la memòria de treball i depèn més del lòbul frontal (Riva et al., 2000; Birn et al., 2010).

Denominació ràpida d'estímuls visuals

Respecte al valor predictiu que té l'execució de la tasca RAN per a l'assoliment de l'aprenentatge de la lectura i l'escriptura en les ortografies transparents (Landerl & Wimmer, 2008; Onochie-Quintanilla et al., 2011; Parrila et al., 2004), en el nostre treball aquesta no va ser una bona mesura per predir quins alumnes presentarien dificultats lectores. Creiem que aquesta variació podria explicar-se per l'estímul RAN utilitzat (objectes i colors) i que tal com reporten autors com Norton & Wolf (2012), aquests són predictors més forts en cursos d'educació infantil, esdevenint

una bona eina de detecció precoç de la dislèxia en infants prelectors i de monitorització durant els primers anys d'escolaritat (Wolff, 2014). Tot i així, els nostres resultats van en la línia del que apunten Snowling & Hulme, (2011) i Ackerman et al. (1990), que amb independència de l'edat, els dislèctics mostren més dificultats en la recuperació de noms i per tant, s'observen més problemes en la velocitat de denominació ràpida d'estímuls. Les nostres troballes demostren que tant el grup DLEI com el DLEO obtenen un rendiment significativament inferior en mesures RAN en comparació al grup C i la majoria d'aquestes se situen en una franja d'alteració moderada en els alumnes de primer i segon de primària amb dificultats lectores.

Memòria de treball

Els resultats obtinguts en memòria de treball mitjançant la repetició inversa de dígit, indiquen valors mitjans dins de la normalitat i un rendiment en la franja baixa en el grup DLEO. Malgrat hi ha estudis que han demostrat que la memòria de treball és una mesura que està associada a unes puntuacions baixes en infants amb dificultats d'aprenentatge (Gathercole & Alloway, 2008; Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006), i és predictora del rendiment lector i de la comprensió lectora (Alloway, 2009; Hannon & Daneman, 2001), en el nostre estudi aquesta no ha estat una mesura discriminant entre els grups amb dificultats i el grup norm lector. Creiem que una possible explicació podria raure en l'edat de la mostra. Autors com Alloway, Gathercole, Adams & Willis (2005) refereixen que és possible que la memòria de treball tingui un paper crític en la predicció dels resultats d'aprenentatge en l'etapa infantil atès que en aquest període els infants tenen pocs recursos basats en el coneixement per aprofitar l'aprenentatge. En aquesta línia, autors com Siegel & Ryan (1989) indiquen un creixement relacionat amb l'edat en les capacitats de memòria de treball als 6 anys en tasques numèriques i de llenguatge o, com afirmen Karakas, Yalin, Irak & Erzenjin (2002), l'amplitud de memòria de dígit augmenta amb l'edat i el nivell escolar i la memòria de treball està subjecta a alts graus de variació individual (Alloway & Gathercole, 2006).

A banda de l'edat, considerem que la pròpia mesura utilitzada per avaluar el llaç articulatori o bucle fonològic (Baddeley, 2000) també podria explicar-ne els resultats. Hi ha discrepàncies entre estudis a favor i en contra de la tasca com a mesura del llaç articulatori. Els nostres resultats indiquen una correlació feble ($r= 0,21$) indicant un valor predictiu baix de la mesura amb el rendiment lector. Aquestes troballes estan en consonància amb treballs com els de Swanson (1999) que van obtenir el mateix resultat ($r= 0,21$) o estudis com els de Savage et al. (2005) que van aconseguir correlacions pràcticament nul·les ($r= 0,13$). Altres estudis amb llengües ortogràfiques diferents tampoc van mostrar un paper predictiu de les tasques de memòria de treball (Caravolas et al., 2012).

Altres autors apunten que la repetició de pseudoparaules, per la complexitat que suposa la tasca, és una bona mesura de la capacitat que té el magatzem fonològic. Els dèficits que mostren els dislèctics en el funcionament del llaç articulatori els comporta una dificultat en el procés de memorització i la conseqüent repetició (Gathercole et al., 2004, 2006; Brady, Poggie & Rapale, 1989; De la Peña, 2012; Pickering, 2006).

Variables discriminants

Les nostres troballes ens van permetre identificar les variables que eren discriminants de les dificultats lectores. Els resultats de precisió lectora de paraules i pseudoparaules, seguides de la velocitat de pseudoparaules, lectura de text i ortografia natural van ser les mesures que més van diferenciar els alumnes amb dificultats dels normolectors. Els problemes en la lectura de pseudoparaules són els més descrits en la literatura i és un dels trets característics dels alumnes amb dislèxia, per tant, considerem que és de gran valor incloure aquesta mesura en els protocols d'avaluació en aquestes edats. Els nens i les nenes amb dislèxia són més lents i cometen més errors en la lectura de pseudoparaules que els normolectors (Snowling, 2000), així ho hem objectivat en els infants del nostre estudi. Tal i com indica Jiménez et al. (2010), l'automatització en el reconeixement de les paraules és un dels dèficits principals que presenten els i les alumnes amb dificultats lectores. El coneixement de les regles de conversió grafema-fonema, és un requisit per a la identificació eficaç de la paraula i aquesta capacitat és una

de les principals diferències entre els normolectors i els infants amb dificultats (Juel, 1991). La lectura de pseudoparaules implica l'activació dels mecanismes de conversió grafema-fonema i, donada la seva dificultat, és una bona mesura per detectar aquells alumnes amb dèficits lectors.

Segons diferents estudis translingüístics, el codi ortogràfic en què s'aprèn la lectoescriptura té una influència en el seu aprenentatge, en la prevalença i en les manifestacions de les possibles dificultats lectores així com en els subtipus de dislèxia (Seymour et al., 2003; Landerl & Wimmer, 2000; Ziegler & Goswami, 2005; Matute & Guajardo, 2012). La detecció de la dislèxia és variable, mentre que en ortografies més opaques, com l'anglesa, les habilitats de descodificació i fonològiques serien més rellevants, en les ortografies més transparents aquest procés resulta més fàcil i la velocitat lectora seria l'índex més important. Les troballes observades en el nostre estudi mostren que els valors de precisió lectora per a la lectura de paraules i pseudoparaules en català són indicadors de les dificultats lectores. El fet de trobar un baix rendiment en aquestes mesures podríem relacionar-lo amb el grau de severitat del dèficit lector en els infants de la mostra, de forma similar al que s'ha apuntat en altres tipus d'ortografia menys transparent. Aquests resultats són similars als que Karin Landerl et al. (1997) va trobar en mostra alemanya, tot i la consistència del sistema ortogràfic alemany, els dislèctics van mostrar dificultats amb la lectura de pseudoparaules, comparables a les de sistemes més opacs com l'anglès. És comú pensar que les mesures més discriminants de les dificultats lectores en llengües opaques siguin els errors en lectura i que, per contra, en llengües més transparents ho siguin els de velocitat (Wimmer & Mayringer, 2001). En el nostre estudi, el fet que el català sigui una llengua moderadament transparent (Llauradó & Tolchinsky, 2016), fa pensar que s'estableixin algunes diferències en la seva adquisició i que totes dues mesures, de velocitat i precisió lectora, puguin jugar-hi un paper rellevant.

Classificar els alumnes amb dificultats lectores segons perfils lectors

Hem aprofundit en els perfils de lectoescriptura de la mostra d'estudi tenint en compte el model de doble ruta d'aprenentatge de la lectura (Coltheart et al., 2001). Segons aquest model els diferents subtipus de dislèxia vénen determinats pel grau

d'adquisició que fan els infants de les dues rutes, la fonològica i la lèxica. Els nostres resultats ens indiquen que, previ a la intervenció, tots els alumnes amb dificultats lectores presentaven una disfunció de la ruta fonològica, amb severitat variable i, més de la meitat d'ells, també de la lèxica. Així doncs, observem que pel perfil de lectura predominant, un 65,62% seria compatible amb una disfunció d'ambdues rutes, la fonològica i la lèxica, front un 34,37% que seria fonològica. Des de la perspectiva del model de doble ruta, la dislèxia mixta s'explicaria per una alteració en les dues vies, total en la sublèxica i parcial en la lèxica. Pel que fa a la dislèxia fonològica, aquestes dificultats s'explicarien per una alteració en la via sublèxica i aquesta afectaria els mecanismes de conversió grafema-fonema.

Les nostres troballes s'aproximen a les descrites a la literatura que expliquen que la majoria de casos amb dificultats lectores presenten una disfunció de les dues rutes, amb una presentació molt reduïda dels casos purs. Autors com Frith (1999) indiquen que, davant del diagnòstic de dislèxia, la fonològica és comuna entre les diferents llengües però aquesta seria més difícil de detectar en idiomes amb ortografies transparents. Altres autors afirmen que el patró de dislèxia fonològica és menys freqüent en espanyol que en anglès (Jiménez & Ramírez, 2002; Jiménez, Rodríguez & Ramírez, 2009; Martínez & Sánchez, 1999), amb la qual cosa, les característiques ortogràfiques de les llengües podrien explicar-ne les diferències (Sprenger-Charolles et al., 2011).

La classificació que s'ha fet dels diferents subtipus de dislèxia està clarament influenciada pel protagonisme de la llengua anglesa en la majoria d'investigacions. La recerca feta en ortografies opaques mostra que el subtipus fonològic és el més freqüent en comparació al superficial (Castles & Coltheart, 1993; Manis et al., 1996; Stanovich et al., 1997). Els estudis realitzats en espanyol mostren algunes discrepàncies metodològiques per avaluar el funcionament de les dues rutes o variabilitat en les franges d'edat estudiades (Jiménez et al., 2009; Jiménez & Ramírez, 2002). En llengua catalana no hi ha estudis al respecte.

La franja d'edat que presenten els infants del nostre estudi coincideix amb el moment en què fan la immersió en l'aprenentatge de la lectoescriptura i quan es comença a activar la via fonològica. A diferència del que passa amb altres llengües

transparentes, les característiques que té la pròpia llengua catalana, amb algunes irregularitats en la fonologia i en l'ortografia, fan que, tal com es reflecteix en els nostres resultats, ja en els primers cursos del seu aprenentatge es facin visibles les seves dificultats tant en mesures de precisió com de velocitat lectora. Cal considerar que la seva ortografia no és tan transparent com la finlandesa o l'espanyola (Llauradó & Tolchinsky, 2016). En aquest sentit, gairebé el 100% de totes les lletres finlandeses només tenen una lectura i gairebé el 90% només una grafia; en el cas del castellà, el 96% de les lletres només té una lectura i el 90% només una ortografia; en català, el 76% de les lletres només tenen una lectura i el 70% només una grafia.

Les nostres troballes evidencien que els infants amb dificultats lectores van presentar un baix rendiment en les dues mesures de competència lectora, precisió i velocitat lectora. En aquest sentit, aquests alumnes van mostrar un perfil lector caracteritzat per un major alentiment i menys precisió en les tasques de lectura en català. Aquests resultats divergeixen d'altres estudis realitzats en llengües transparentes que no van trobar diferències en termes de precisió però sí de velocitat (Wimmer, 1993; Tressoldi, Stella & Faggella, 2001) o aquells que recolzen la idea que la mesura de precisió lectora sembla ser el factor menys important i la velocitat el més determinant (Wimmer & Mayringer, 2001; Jiménez González & Hernández-Valle, 2000; Brizzolara et al., 2006).

Considerem que la nostra troballa és important des d'una perspectiva aplicada ja que, en sistemes ortogràfics transparents com l'espanyol, les mesures de velocitat són més sensibles que les de precisió en l'avaluació de la dislèxia (Serrano & Defior, 2008) i creiem que aquest aspecte podria fer que en aquestes edats alguns infants no es poguessin identificar ni beneficiar d'una intervenció precoç. En base als perfils lectors observats en el nostre estudi, podem afirmar que ambdues mesures d'avaluació, la velocitat i la precisió lectora, són importants per detectar i intervenir els dèficits lectors en català en els alumnes que cursen cicle inicial. Segons els nostres resultats i els que apunten estudis previs (Foorman & Moats, 2004; Gabrieli, 2009; Suárez et al, 2013), els perfils obtinguts després del tractament en els tres clústers de l'estudi ens indiquen l'impacte positiu que va

tenir la intervenció en l'habilitat lectora dels infants en aquestes edats. Seymour et al. (2003) afirma que el ritme de desenvolupament lector en el període bàsic, primers cursos de primària, i en ortografies transparents, és el doble de ràpid que en les opaques com l'anglès. Tot i això, ni l'edat ni la transparència del codi ortogràfic no són suficients per normalitzar plenament les habilitats de descodificació, així ho veiem en els grups analitzats.

Intervenció i canvis neuropsicològics provocats per la reeducació

És important assegurar que els infants amb dificultats lectores rebin una intervenció efectiva a fi que puguin progressar en el desenvolupament lector (Francis et al. 1996; Jenkins & O'Connor 2002; Torgesen, Wagner, Rashotte, Herron & Lindamood, 2010; Snowling & Stackhouse, 2008; Gómez, Defior & Serrano, 2011; What Work Cleringhouse, 2010; Balbi et al., 2018). En aquest sentit, els nostres resultats van demostrar que els infants del grup DLEI milloraven més que els del grup DLEO. Aquest fet va ser indicatiu per determinar que seguir un programa d'entrenament fonològic intensiu era més efectiu que fer-ho a través de l'ordinari a l'aula. Des de la comunitat científica i educativa hi ha un enorme interès per saber quin tipus d'intervenció s'ha d'aplicar i quan és el millor moment per fer-ho. Tal com indica Denton (2012), és imprescindible que la detecció precoç de les dificultats lectores es faci a les escoles i que en aquest moment s'implementin programes de suport a la lectura que siguin eficaços per ajudar a aquests alumnes. Les intervencions aplicades en les primeres etapes d'adquisició de la lectura o preventives, han obtingut majors efectes que aquelles que tenen lloc a partir dels 8 anys (3r curs). Tal com indiquen López Sala et al., (2015) existeix un període crític, entre els 5 i els 8 anys, per treballar les dificultats lectores de forma específica. Passat aquest període no hi ha evidència que la intervenció resulti beneficiosa, requerint d'una adaptació i compensació dels dèficits lectors. Així doncs, intervencions aplicades a edats primerenques s'associen a efectes majors que aquelles que s'apliquen més tard (Suárez et al, 2013; Gabrieli 2009; Cuetos, Suárez-Coalla, Molina & Llenderozas, 2015; Torgesen et al., 2001; Torgesen et al., 1999; Wanzek et al., 2013).

En el nostre estudi, les intervencions es van realitzar en infants de primer cicle (de 6 a 8 anys), moment en què, a Catalunya, els alumnes inicien l'aprenentatge de la lectoescriptura. Vam observar que els infants del grup DLEI van augmentar el seu rendiment post intervenció en totes les variables de lectura analitzades i en ortografia natural, assolint puntuacions dins de la normalitat en tots els valors de velocitat i de precisió lectora, excepte en l'índex de precisió de pseudoparaulas que, malgrat millorar, no va normalitzar-se. Aquests resultats van en la línia de l'estudi de Torgesen (1999) que descrivia rendiments normalitzats en mesures de precisió i velocitat lectora en aquells infants amb dificultats lectores d'entre 5 i 7 anys després de rebre una reeducació intensiva.

El grup DLEO també va millorar en les mesures d'ortografia i en la majoria de variables de lectura analitzades excepte en velocitat i precisió de pseudoparaulas, precisió de lletres i comprensió lectora. Tot i les millores més fortes observades en el grup DLEI que en el DLEO, el rendiment de tots dos va estar per sota del grup C. Aquest punt és congruent amb la pròpia definició de la dislèxia que inclou la persistència, amb més o menys severitat, de dificultats lectores al llarg de tota la vida. En la mateixa línia, autors com Gabrielli (2009) expliquen que, malgrat les millores postintervenció que poden aconseguir els infants dislèctics, el rendiment seguirà sent inferior al dels normolectors, la diferència entre grups augmentarà o disminuirà segons el moment en què es faci la intervenció. Autors com Torgesen et al., (2001), afegeixen un altre punt que incrementa les diferències entre grups, el temps d'exposició a la lectura i el tipus d'intervenció rebuda. Ells reporten que un percentatge molt elevat de nens i nenes amb dificultats lectores mostren rebuig i/o evitació cap a la lectura fent que la quantitat d'hores d'exposició al contingut escrit sigui més limitada que en aquells casos en què no hi ha dificultats o l'esforç lector és menor. Aquesta variable diferenciadora és més marcada a mesura que els escolars es van fent grans i/o no es detecten ni es treballen les dificultats a curta edat suposant un impacte significatiu en la vida acadèmica dels alumnes i incrementant el risc de fracàs escolar (Fletcher et al., 2007).

En el nostre cas cal destacar que un altre punt molt rellevant que marca la diferència entre grups és el tipus d'intervenció aplicada. Hi ha una gran varietat de

programes de reeducació basats en diferents teories de la dislèxia del desenvolupament, però sembla ser que aquells que han demostrat ser més efectius ofereixen una intervenció fonològica intensiva (Bradley & Bryant 1983; Schneider, Roth & Ennemoser, 2000). Els resultats del nostre estudi així ho van confirmar, els alumnes del grup DLEI que van seguir un entrenament fonològic digital, que combinava les cinc àrees fonamentals a tenir en compte en una intervenció lectora segons el NRP (de l'anglès, *National Reading Panel*, 2000), la consciència fonològica, la descodificació, la fluïdesa lectora, el vocabulari i la comprensió van millorar en totes les variables de precisió lectora, velocitat i ortografia natural en comparació als alumnes del grup DLEO, la millora del qual va ser més feble. Les nostres troballes són congruents amb estudis anteriors que indiquen que, juntament amb la intensitat, el tipus de reeducació, en aquest cas la fonològica, provoca un benefici més gran en l'aprenentatge de la lectura (Ehri, Nunes, Stahl & Willows, 2001; National Reading Panel Report, 2000; Balbi et al., 2018). Autors com Peterson & Pennington, (2015) també destaquen la importància de l'entrenament de la memòria verbal i de treball per facilitar-ne la comprensió. En aquest sentit els nostres resultats indiquen que el grup DLEI en comparació al grup DLEO va obtenir una millora significativa en les variables de velocitat i comprensió lectora amb tamanys de l'efecte moderats i alts. Incorporar tots els elements d'instrucció esmentats anteriorment s'ha associat a la reducció de la incidència de dificultats de lectura (Torgesen, 2000). En el nostre cas i tal com hem comentat anteriorment, el treball centrat en tots els punts recomanats pel NRP (2000) demostra un benefici de la intervenció en el grup DLEI amb valors mitjans en la mida de l'efecte alts en fluïdesa ($d= 1,05$) i en precisió lectora ($d= 1,13$) i mitjà en ortografia natural ($d= 0,76$). Aquests resultats tenen relació amb la metaanàlisi d'Ehri et al. (2001a) que van proposar una mida global del tamany de l'efecte positiu i estadísticament significativa per a la instrucció fonètica sobre la lectura. Els nostres resultats van en consonància amb els estudis fets en ortografies més transparents que, a part de treballar les habilitats fonològiques, incideixen en la fluïdesa lectora atès que és una de les variables que més obstacle suposa en llengües superficials (Chard, Ketterlin-Geller, Baker, Doabler & Apichatabutra, 2009; Defior & Serrano, 2014; Balbi et al., 2018). Cal considerar

que el català no té una ortografia tan transparent com el finès o l'espanyol (Llaurador & Tolchinsky, 2016).

Autors com Torgesen, (2006) indiquen que les intervencions de suport a l'escola i d'educació especial solen estabilitzar els dèficits lectors en lloc de solucionar o normalitzar el nivell lector. A Catalunya, les escoles públiques ofereixen suport específic per a grups reduïts a aquells estudiants que necessiten reforçar l'adquisició lectora. L'horari de formació assignat depèn de la detecció que fa l'equip educatiu, de les necessitats dels alumnes i dels recursos que disposa cada centre. Les escoles gaudeixen d'autonomia pedagògica per aplicar els mètodes d'aprenentatge més adequats segons les necessitats del seu alumnat (LEC 12/2009). Els nostres resultats donen suport a la necessitat de repensar quin tipus d'intervenció s'ofereix en els centres escolars i de treballar dins d'un model de bones pràctiques en l'ensenyament de la lectura que inclogui com a primer punt la detecció precoç dels infants amb factors de risc o amb dificultats lectores, dotant als equips educatius de formació específica per poder-ne fer la detecció i aplicar els programes de suport que siguin més efectius, si no per a tots, almenys per a la majoria dels infants amb dificultats. Cal destacar que l'èxit d'aquests alumnes dependrà, en gran mesura, del tipus de metodologia d'aprenentatge que se'ls ofereixi (Scammacca, Roberts, Vaughn & Stuebing, 2015). Dynarski et al. (2008), assenyalen que quan els estudiants experimenten una manca d'èxit a partir de primària, poden començar a desvincular-se de l'escola i ser més propensos a abandonar-la en el futur. Tal com suggereix López-Olóriz et al. (2020) una intervenció precoç amb base científica i adaptada a les seves necessitats evitaria moltes situacions de rebuig cap a la lectura i milloraria el seu aprenentatge. És responsabilitat de tots els professionals i institucions vetllar perquè així sigui. Per tant, cal tenir molt present que, per tal que una intervenció sigui efectiva, amb independència de l'entorn on s'apliqui, ha d'oferir un entrenament fonològic, individual o en petit grup, que ha de ser repetitiu, intensiu (entre 4 i 5 sessions per setmana), de curta durada (menys de 100 hores) (Wanzek & Vaughn, 2007; Elbaum, Vaughn, Hughes & Moody, 2000) i motivador. La plataforma que hem utilitzat, combina totes aquestes variables i aconsegueix uns resultats que recolzen de forma positiva el treball realitzat dins l'enfocament Rtl. Moltes

intervencions aplicades a països de parla anglesa i als Estats Units estan recolzades dins del marc teòric Rtl (Fuchs & Fuchs, 2006; Fuchs & Vaughn, 2012). Aquest model planteja augmentar la intensitat, la freqüència i l'especialització de les intervencions educatives realitzades en l'àmbit escolar a partir de la resposta de l'alumne a les intervencions més globals que tenen lloc a l'escola. Un dels aspectes clau per prendre decisions emprant aquesta metodologia, és el seguiment i la monitorització constant de les habilitats de l'infant (Hamilton et al., 2009). Així, en base al nivell lector que tingui el nen o la nena, se seleccionen les característiques que tindrà la intervenció. En el nostre entorn aquest tipus de metodologia està poc implementada (Crespo et al., 2018; Jiménez, 2010). Treballs com el nostre podrien servir de base a la seva aplicació a Catalunya i països on encara té poca presència. D'altra banda, cal destacar també el fet que aquest treball complementa el realitzat recentment amb el mètode Binding, on s'ha observat que aquest millora significativament l'habilitat lectora en tots els infants, independentment de la presència o no de dificultats (López-Olóriz et al., 2020).

El suport assistit per ordinador és un mètode atractiu i eficaç per augmentar l'aprenentatge en nens amb problemes de lectura (What Works Clearinghouse, 2010). En el nostre cas, volem destacar la importància d'ajustar la càrrega de feina al nivell del nen o la nena perquè la combinació del treball sigui exitós. Aquest punt el podem relacionar al concepte que va descriure Vigostsky (1978) com a zona de desenvolupament proper, tots els continguts es poden aprendre al màxim perquè tenen el nivell just per atrapar l'infant i alhora són suficientment fàcils perquè se senti encoratjat a seguir aprenent. Els resultats de la metaanàlisi de Wouters, van Nimwegen, van Oostendorp & van der Spek (2013) suggereixen que els programes digitals són més efectius que els mètodes d'instrucció convencionals en termes d'aprenentatge. És interessant ressaltar que darrerament hi ha hagut un augment d'estudis que utilitzen programes d'entrenament assistit per ordinador demostrant el seu benefici en alumnes que estan aprenent a llegir (Hudges et al. 2013; Jiménez et al. 2007; Lyytinen, Erskine, Kujala, Ojanen & Richardson 2009; Lyytinen, Erskine, Hämäläinen, Torppa & Ronimus, 2015; Regtvoort & Van der Leij, 2007; Saine et al. 2011; Torgesen et al. 2001; Wise et al. 2000). Un exemple d'això el trobem en el joc informàtic

GraphoGame, desenvolupat com una forma d'entrenar les connexions de so de lletres i habilitats de lectura, que ha demostrat tenir un efecte positiu en nens amb dificultats lectores (Ojanen et al., 2015). Els resultats del nostre estudi també han demostrat ser beneficiosos per als infants que l'han utilitzat potenciant els aspectes necessaris per aconseguir un bon rendiment lector amb un format d'aprenentatge lúdic.

Variables predictorres de l'èxit de la reeducació

Com hem descrit i referenciat en diferents moments del treball, té una importància cabdal detectar i diagnosticar els infants amb dificultats lectores el més aviat possible per poder, així, iniciar una intervenció de forma precoç i exitosa mitjançant pràctiques d'ensenyament dirigides a adquirir les habilitats bàsiques que constitueixen la competència lectora (NRP, 2000). En els darrers anys s'està treballant per esbrinar quines són les intervencions més adequades per millorar el rendiment lector en infants amb dislèxia (What Works Clearing House, 2010; Balbi et al., 2018). En el nostre cas, també hem cregut important analitzar quines seran aquelles variables que ens prediran l'èxit d'una determinada intervenció. Centrant-nos en el nostre estudi i en base als tractaments aplicats, hem pogut objectivar diferències significatives entre els dos grups d'intervenció després de rebre la intervenció, descrivint un grau de millora més alt en el grup DLEI. En aquest sentit i com hem pogut explicar i descriure en l'apartat anterior, les característiques de la intervenció intensiva i la seva aplicació, creiem que van influir en l'obtenció d'un resultat més bo en aquells alumnes que se'n van poder beneficiar. Segons el grau de millora aconseguit en cada tipus de tractament, les nostres troballes apunten que aquells infants amb puntuacions inicialment baixes en mesures de velocitat lectora de lletres, precisió lectora de pseudoparaules així com puntuacions més baixes en ortografia natural es relacionen de forma significativa amb l'èxit de la intervenció i per tant, serien aquestes les variables predictorres de la millora en el grup DLEI. Els nostres resultats posen de manifest que aquells alumnes amb perfils d'afectació en el procés de descodificació i amb poca automatització de les habilitats lectores són predictors de l'èxit d'un entrenament intensiu. Estudis anteriors (Lyon et al., 2003; Snowling, Gallagher & Frith, 2003) han confirmat que

el treball del principi alfabètic i la consciència fonològica tenen una importància cabdal en l'aprenentatge inicial de la lectura i l'ortografia. Aquells infants amb dèficits en aquestes àrees es beneficiaran de l'ensenyament intensiu i explícit que treballi la correspondència entre grafemes i fonemes (Dehaene, 2009). Les nostres troballes suggereixen que els infants de cicle inicial amb un nivell d'automatització i de descodificació inferior, seguint l'entrenament intensiu, es beneficiaran més que aquells que tinguin un nivell de lectura superior. Aquests resultats van en la línia de l'estudi realitzat per Ruíz et al. (2017) amb el programa informàtic Graphogame de suport a l'aprenentatge de la lectoescriptura en mostra francesa. Els autors van afirmar que aquells infants sotmesos a una reeducació amb Graphogame quan presentaven un nivell de lectura inicial més dèbil se'n beneficiaven més que aquells amb un rendiment més alt. L'efectivitat de la versió finlandesa de Graphogame també va demostrar la seva eficàcia en nens i nenes de 7 anys amb risc de dislèxia (Saine, Lerkkanen, Ahonen, Tolvanen & Lyytinen, 2010). Aquells infants que van seguir l'entrenament amb aquesta eina van mostrar un progrés significatiu en la descodificació i l'ortografia en comparació amb un grup control que va seguir la instrucció convencional a l'aula. D'altra banda, Kyle, Kujala, Richardson, Lyytinen & Goswami (2013) van obtenir resultats similars en mostra anglesa.

A diferència del grup DLEI, els rendiments alts en les mesures RAN d'objectes i colors així com en dígitos directes i inversos són predictors de la millora de la reeducació en el grup DLEO. Aquestes troballes ens indiquen que aquells alumnes amb bones habilitats fonològiques implícites (Defior & Serrano, 2011) aconseguiran un millor rendiment en el programa de suport a l'escola. Els resultats observats en aquest grup van en la línia dels estudis que afirmen que l'execució en tasques de velocitat de denominació és altament predictora del nivell d'aprenentatge de la lectoescriptura (Landerl & Wimmer, 2008; Onochie-Quintanilla et al., 2011; Defior & Serrano, 2011; Parrila et al., 2004). També hem observat que uns valors alts en les mesures de memòria a curt termini i de treball són indicatives d'un grau de millora més elevat en el grup d'intervenció ordinària a l'aula. Aquests resultats són compatibles amb altres estudis que apunten que les habilitats de memòria verbal estan relacionades amb l'èxit lector (Alloway,

2009; Georgiou et al., 2009). D'acord amb les nostres anàlisis, les variables predictores de l'èxit ens indiquen que el tipus d'intervenció aplicada en el grup DLEI serà més exitosa com més afectació tinguin els infants en les variables esmentades anteriorment. Al contrari, en el grup DLEO l'èxit del tractament serà més alt en els alumnes que, de base, disposin de majors habilitats implícites relacionades amb l'aprenentatge lector. Considerem que d'aquests resultats se'n desprèn informació que pot ser d'utilitat per als professionals educatius en relació a replantejar quins tipus d'intervencions s'ofereixen a les escoles i quina millora es pot aconseguir segons les habilitats lectores dels alumnes que atenem.

Canvis en el cervell després de la reeducació

Durant la darrera dècada ha augmentat l'interès per quantificar i caracteritzar els canvis produïts en les estructures cerebrals després d'experimentar intervencions controlades. En aquest sentit, en el nostre estudi hem volgut comprovar quin efecte cerebral ha tingut la reeducació intensiva aplicada en els infants del grup DLEI en comparació al grup normolector. Vam prendre de referència les regions d'interès relacionades amb el circuit lector analitzades en altres estudis i metaanàlisis (Richlan et al., 2013; Linkersdörder et al., 2012 i Barquero et al., 2014; Koyama et al., 2013; Raschle et al., 2011; Ma et al., 2015; Hoeft et al., 2007a; Eckert et al., 2005).

De totes les mesures de volumetria aplicades, macroestructures i estructures subcorticals, vam obtenir canvis significatius en el % de VSB bihemisfèrica, incrementant-se en el grup DLEI després de la intervenció en comparació al grup C, prèvia a aquesta no vam trobar cap diferència entre ambdós grups. Aquestes troballes van en consonància amb el que apunten Keller & Just (2009) en el sentit que, una instrucció intensiva, a banda de provocar un canvi en el funcionament cerebral en alumnes dislèctics, també pot suposar variabilitat en la integritat estructural de la SB dels infants amb dificultats lectores. Autors com Scholz, Klein, Behrens & Johansen-Berg (2009) reporten que, en base a models animals, la SB podria modificar-se amb l'experiència o l'entrenament. Expliquen que la quantitat d'activitat neuronal a través d'un axó modula el seu grau de mielinització produint un ampli cablejat corticocortical en resposta a la intervenció. Cal esmentar que

són pocs els treballs que mesuren el VSB amb infants dislèctics i els que hi ha utilitzen mesures DTI per aprofundir en les característiques microestructurals específiques de la SB. Estudis de VBM i DTI han mostrat reduccions en el volum, densitat o connectivitat al llarg del FA, inclosa l'àrea de Broca i l'escorça temporal associades a anomalies de SB en la dislèxia (Rimrodt et al., 2010 ; Paulesu et al., 1996). Malgrat no haver emprat mesures de DTI en el nostre estudi, els canvis que hem obtingut amb la VBM ens podrien suggerir un major rendiment funcional en l'aprenentatge i augment de la velocitat de conducció a través dels circuits funcionalment actius en aquests alumnes després de la reeducació (Zatorre, Fields & Johansen-Berg, 2012). En aquest sentit, quan hem correlacionat les variables de volumetria i les variables neuropsicològiques, hem observat una correlació entre el % de VSB bihemisfèrica i la velocitat lectora de lletres indicant que a més volum millor puntuació en aquesta variable. Se suposa que el volum de SB representa la connectivitat del cervell (Tamboer et al., 2015), això suggereix que un augment del % de volum post intervenció en el grup DLEI es podria interpretar com un canvi en la comunicació neuronal entre les diferents zones corticals dels alumnes amb dificultats lectores amb compensació de les zones homòlogues en estudis de connectivitat funcional (Schurz et al., 2015).

En relació a les anàlisis de les regions corticals relacionades amb el circuit lector, un cop realitzada la correcció per a múltiples comparacions, no vam detectar canvis corticals associats a la reeducació intensiva. Aquesta troballa contrasta amb investigacions prèvies que sí que mostren l'impacte que té una intervenció sobre els dèficits lectors amb variacions en l'activitat cerebral relacionada amb la tasca (Aylwards et al., 2003; Shaywitz et al., 2004; Simos et al., 2007), en la connectivitat funcional (Koyama et al., 2013), en la integritat de la substància blanca (Keller & Just, 2009) o en el VSG (Krafnick, et al., 2011). Cal destacar que la majoria d'estudis esmentats i els que s'han realitzat amb VBM estan fets amb joves o adults i dels pocs que hi ha, com el de Krafnick et al., (2011), la mostra infantil tenia més edat que la nostra, aspecte que cal tenir en compte en la interpretació de resultats i comparació amb estudis previs.

Considerem que l'absència de diferències en la SG podria explicar-se per diversos factors. El primer d'ells, i coincidint amb la idea de Haier, Karama, Leyba & Jung, (2009), rauria en què els canvis en el funcionament cerebral podrien no anar acompanyats per canvis macroscòpics en l'estructura cortical. Considerem que, malgrat no detectar-se, les nostres troballes no descarten l'efecte de la reeducació sobre les zones corticals analitzades. Tanmateix, el fet que la mostra d'estudi sigui reduïda pot haver evitat que es detectessin efectes més subtils provocats per la reeducació. I el darrer punt a destacar i no menys important té relació amb l'eina que vam utilitzar per a fer la segmentació de l'escorça cerebral. En aquest cas, amb GIF, només vam disposar d'un template (*de l'anglès, plantilla*) d'adults a l'hora de fer les anàlisis i això podria haver influït directament en els nostres resultats.

Hom podria esperar que es produïssin modificacions en el VSG i que, atès que el cervell està experimentant canvis importants associats al propi desenvolupament, aquestes fossin pronunciades. En aquest sentit, aquest és el primer estudi que es planteja amb infants catalans d'entre 6 i 8 anys, encara manca literatura relacionada amb intervenció intensiva en població pediàtrica per saber com es comporta el cervell estructuralment a curta edat després d'estar sotmès a una reeducació com la que hem plantejat. Creiem que aquest pot ser un punt de partida per seguir treballant i millorant en estudis futurs.

5.1. Aplicabilitat i implicacions derivades de l'estudi

Aquest estudi és rellevant per ser el primer en avaluar els efectes que té sobre la lectoescriptura un programa intensiu informatitzat en una mostra catalana de lectors primerencs amb dificultats lectores. Al seu torn, els nostres resultats suposen una transferència de coneixements teòrics i pràctics aplicables tant en l'entorn clínic com educatiu. Considerem que la interacció i la fusió entre disciplines diferents, psicologia, neurociències o pedagogia, per detectar i intervenir les dificultats lectores, amb mesures educatives basades en l'evidència (*de l'anglès, evidence-based education*) que verifiquin de forma rigorosa el seu efecte, és un aspecte rellevant que beneficia directament l'alumnat que les pateix.

Cal esmentar que l'alta prevalença del trastorn a les aules, entre 1 i 3 infants en una aula de 25 alumnes té dislèxia, fa repensar i replantejar quines han de ser les intervencions pedagògiques més adequades per a que aquests alumnes puguin assolir l'èxit acadèmic propi de cada etapa educativa i evitar així patiment emocional i un possible fracàs escolar. El coneixement que tenim sobre com funciona el cervell i com aprèn és de gran valor en l'educació dels nostres alumnes. Una comprensió profunda dels mecanismes que fan possible tots i cadascun dels aprenentatges ens permetrà transformar les estratègies educatives i aplicar nous programes que puguin cobrir la diversitat existent a totes les aules. La neurociència i l'educació han de poder treballar i experimentar conjuntament i de forma fluïda, de manera que siguem capaços de conèixer en profunditat com funciona i aprèn el cervell d'un infant amb dislèxia i quins mètodes d'ensenyament són els més apropiats. Els educadors tenen un dels reptes més importants, integrar els coneixements en la seva pràctica diària per poder detectar i aplicar els mètodes i les estratègies més efectives.

Estudis com el nostre, potencien la sinèrgia entre la recerca i el món educatiu, reforçant la viabilitat i necessitat de seguir en aquesta línia. La implicació de totes les escoles de la Seu en la realització del projecte visibilitza la voluntat dels equips educatius d'aprofundir en els coneixements i les bones pràctiques a fi de transferir-les a les aules. Amb les nostres troballes hem demostrat que, durant els primers cursos de cycle inicial i en el moment de l'exposició a l'aprenentatge de la lectoescriptura, ja poden, i han d'identificar-se els infants en risc de dislèxia. Detectant de forma precoç i entenent les necessitats específiques d'aprenentatge dels i les alumnes amb dificultats lectores augmenta l'oportunitat d'èxit educatiu per a tots ells i elles. Finalment, ha quedat palès el benefici que els hi pot reportar incloure nous programes d'intervenció fonològica intensiva que han demostrat la seva eficàcia per damunt d'altres mètodes de suport que s'apliquen actualment. Aquest fet obre les portes, des de l'evidència científica, a plantejar noves estratègies educatives eficaces i motivadores per a que cada dia, des de les aules, cada infant segueixi progressant en la lectura.

5.2. Limitacions

Finalment, és important destacar certes limitacions del nostre estudi. En primer lloc, la mida de la mostra del grup DLEO és més petita que la dels grups DLEI i C. No podem descartar que les diferències observades entre els tractaments es puguin deure parcialment a aquestes desigualtats en la mida del grup. D'altra banda, el fet que durant el pretractament hi hagués dissimilituds en les habilitats de processament fonològic explícit i implícit, amb lleugeres dissemblances entre els grups DLEI i DLEO, podria haver influït en els resultats de les comparacions anteriors i posteriors a la intervenció entre grups. Una tercera limitació es refereix a la quantitat d'hores de tractament que va rebre cada grup. En ambdós casos, aquest va durar 16 setmanes malgrat les sessions van tenir una petita variació en la durada, 10-15 minuts cada dia per al grup DLEI i 50 minuts setmanals per al grup DLEO. Les característiques del grup DLEO es van determinar segons la pràctica estàndard a les escoles públiques de Catalunya. Aquest punt creiem que continua sent una limitació, ja que els efectes menors podrien influir en el temps total dedicat a la intervenció, que és lleugerament inferior en el grup DLEO.

També considerem que seria molt interessant realitzar estudis amb mesures longitudinals a fi de valorar l'efecte i la permanència a llarg termini dels canvis provocats per una intervenció intensiva en infants de cicle inicial i valorar l'evolució de les competències lectores dels alumnes amb dificultats.

En relació a les anàlisis VBM, creiem que el tamany reduït del grup DLEI i C podria haver contribuït a obtenir resultats poc significatius, ens calen mostres més grans per augmentar la potència i la fiabilitat dels resultats. El fet de no haver pogut comptar amb el grup DLEO per comparar-lo amb les troballes obtingudes pel grup DLEI també és una limitació. L'experiència configura la formació del cervell, especialment en la infància, per tant, pensem que es necessita realitzar més recerca amb mesures longitudinals a fi de determinar com són i com es manifesten els canvis i les diferències cerebrals. És important tenir en compte aquestes limitacions a l'hora de plantejar estudis futurs i treballar en l'homogeneïtzació de les mostres.

5.3. Verificació d'hipòtesis

Hipòtesi 1

- **Un baix rendiment en mesures de vocabulari, memòria de treball i denominació ràpida d'estímuls visuals serà predictor de les dificultats lectores.**

No vam identificar cap mesura de llenguatge, memòria de treball i denominació ràpida d'estímuls visuals com a predictora de les dificultats lectores en la mostra d'estudi.

Hipòtesi 2

- **El grup DLEI millorarà el seu rendiment en proves de lectura després de rebre una intervenció fonològica intensiva.**

Aquesta hipòtesi es verifica, els nens i les nenes del grup DLEI van augmentar de forma significativa el seu rendiment post intervenció en totes les variables de lectura (velocitat i precisió) i en ortografia natural.

Hipòtesi 3

- **Després de la intervenció, el grup DLEI obtindrà un rendiment en proves de lectura i ortografia superior al grup DLEO.**

Aquesta hipòtesi es verifica parcialment, la comparació entre els grups DLEI i DLEO indica que el primer d'ells va superar el segon de forma significativa en precisió de lectura de paraules i en cinc mesures de velocitat de lectura; lletres, síl·labes, paraules, text, pseudoparaules i en ortografia arbitrària.

Hipòtesi 4

- **La millora en el rendiment lector ens permetrà identificar les variables que són predictors de l'èxit de la reeducació segons la intervenció aplicada.**

Els resultats corroboren la hipòtesi de manera que les variables predictors de l'èxit de la intervenció en el grup DLEI són la velocitat lectora de lletres, precisió lectora de paraules i ortografia natural. Els alumnes amb rendiments inicialment baixos en aquestes variables milloren més i, per tant, serien aquestes les tres variables predictors de l'èxit.

Les variables predictores de l'èxit de la intervenció en el grup DLEO són la denominació ràpida d'objectes i colors i els dígitos directes i inversos. Els alumnes amb puntuacions inicialment altes en aquestes variables milloren més i, per tant, serien aquestes les predictores de l'èxit de la reeducació.

Hipòtesi 5

- **Identificarem perfils de dificultats lectores que es relacionaran majoritàriament amb un subtipus d'afectació mixt.**

Aquesta hipòtesi es verifica, un 65,62% dels alumnes amb dificultats lectores presenta una disfunció de les dues rutes, fonològica i lèxica (mixta) i un 34,37% la presenta de predomini fonològic.

Hipòtesi 6

- **Després de la intervenció intensiva, el grup DLEI presentarà canvis volumètrics en l'hemisferi esquerre i en les regions d'interès analitzades relacionades amb la lectura (gir precentral, frontal superior, mig i inferior, temporal superior i inferior, supramarginal, angular, fusiforme i occipital inferior)**

Aquesta hipòtesi es verifica parcialment, després de la intervenció, el grup DLEI ha obtingut un % de volum de SB més elevat en l'HE. No es compleix la hipòtesi per a la resta de regions analitzades.

Conclusions

6. Conclusions finals

Les principals conclusions de l'estudi es presenten a continuació:

1. Els resultats del nostre treball ens mostren que els rendiments baixos en les variables de precisió i velocitat lectora de pseudoparaules, precisió lectora de paraules i text així com en ortografia natural són indicatives de presentar un perfil de dificultats lectores, sent la precisió lectora de paraules i pseudoparaules les que tenen un major valor predictiu sobre el rendiment lector.
2. El tractament intensiu s'ha mostrat eficaç millorant el rendiment post intervenció de totes les variables de lectura analitzades i ortografia natural en comparació amb les mesures prèvies que tenien els alumnes que van rebre aquesta reeducació.
3. Hem observat que el rendiment dels alumnes que es van beneficiar de la reeducació intensiva, en comparació als que van rebre la reeducació ordinària a l'aula, va ser significativament més alt en les mesures de precisió lectora de paraules, de lletres i en cinc mesures de velocitat; lectura de lletres, síl·labes, paraules, text i pseudoparaules així com en ortografia arbitrària.
4. Hem pogut identificar les variables predictores de l'èxit segons el tipus d'intervenció rebuda. En la reeducació intensiva van ser les variables amb rendiments inicialment baixos en velocitat lectora de lletres, precisió lectora de paraules i ortografia natural les predictores de l'èxit. En el tractament ordinari a l'aula van ser les variables amb puntuacions inicialment altes en la denominació ràpida d'objectes i colors i els dígitos directes i inversos les predictores de l'èxit de la reeducació.
5. Les anàlisis de clúster ens van permetre diferenciar i classificar els alumnes segons diferents perfils lectors. Vam observar un perfil amb predomini d'afectació mixt, fonològic i lèxic, essent aquest subtipus el més prevalent.

D'altra banda, vam poder observar que la ruta fonològica, activada en aquestes edats, estava afectada en els tres clústers analitzats.

6. Després de la intervenció i en comparació al grup control, es van identificar canvis significatius en el % de VSB bihemisfèrica en els alumnes que van rebre la reeducació intensiva. Les altres mesures analitzades, estructures subcorticals i % VSG de les regions relacionades amb el circuit lector no van mostrar canvis significatius després de la intervenció.

Bibliografia

7. Bibliografia

- Ackerman, P. T., Dykman, R. A., & Gardner, M. Y. (1990). ADD students with and without dyslexia differ in sensitivity to rhyme and alliteration. *Journal of Learning Disabilities, 23*(5), 279-283.
- Adams, M. J. (1990). *Beginning to read: Thinking and learning about print*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment, 25*(2), 92-98.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., & Willis, C. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *The British Journal of Developmental Psychology, 23*, 417.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliott, J. (2009) The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Development, 80*(2), 606-21. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01282.x
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: are they separable?. *Child development, 77*(6), 1698–1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- American Psychiatric Association (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (4th ed. revised). Washington, DC.
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC.

- Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., & Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: the role of visual attention span. *Science Reports*, 7(1), 14563. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15119-9>.
- Arnold, E. M., Goldston, D. B., Walsh, A. K., Reboussin, B. A., Daniel, S. S., Hickman, E.,... & Wood, F. B. (2005). Severity of emotional and behavioral problems among poor and typical readers. *Journal Abnormalities Child Psychology*, 33(2), 205–217.
- Artigas-Pallarés J., & Narbona J. (2011). *Trastornos del neurodesarrollo*. Barcelona: Viguera Editores.
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry--the methods. *NeuroImage*, 11(6 Pt 1), 805–821. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0582>
- Aylward, E. H., Richards, T. L, Berninger, V. W., Nagy, W. E, Field, K. M, Grimme, A.C., & Cramer, S.C. (2003). *Neurology*, 61(2), 212-9.
- Awadh, F. H., Phénix, T., Antzaka, A., Lallier, M., Carreiras, M., & Valdois, S. (2016). Cross-Language Modulation of Visual Attention Span: An Arabic-French-Spanish Comparison in Skilled Adult Readers. *Frontiers in psychology*, 7, 307. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00307>
- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1002/acp.2350020209>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley A. (1998). Working memory. *Comptes rendus de l'Academie des sciences. Serie III, Sciences de la vie*, 321(2-3), 167–173. [https://doi.org/10.1016/s0764-4469\(97\)89817-4](https://doi.org/10.1016/s0764-4469(97)89817-4)

- Badian, N. A. (2000). *Prediction and prevention of reading failure*. Baltimore, Maryland: York Press.
- Balbi, A., von Hagen, A., Cuadro, A., & Ruiz, C. (2018). Revisión sistemática sobre intervenciones en alfabetización temprana: implicancias para intervenir en español. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 50(1), 31-48.
- Barquero A. B, Davis N., & Cutting L. E. (2014). Neuroimaging of reading intervention: a systematic review and activation likelihood estimate Meta-analysis. *Plos ONE*; 9(1):e83668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083668>
- Benton, A., & Pearl, D. (1978). *Dyslexia: An Appraisal of Current Knowledge*. New York, Oxford.
- Bishop, D. V. (2015). The interface between genetics and psychology: lessons from developmental dyslexia. *Proceedings Biological Science*, 282(1806), 20143139. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.3139>.
- Bishop, T. W. (2018). Mental Disorders and Learning Disabilities in Children and Adolescents: Learning Disabilities. *FP Essentials*, 475, 18–22. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30556687>
- Bishop, D. V., & Adams, C. (1990). A prospective study of the relationship between specific language impairment, phonological disorders and reading retardation. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 31(7), 1027-50.
- Birn, R. M., Kenworthy, L., Case, L., Caravella, R., Jones, T. B., Bandettini, P. A., & Martin, A. (2010). Neural systems supporting lexical search guided by letter and semantic category cues: A self-paced overt response fMRI study of verbal fluency. *NeuroImage*, 49(1), 1099-1107. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.07.036
- Blakemore, S.J., & Frith, U. (2010). *Cómo aprende el cerebro: Las claves para la educación*. Barcelona: Editorial Ariel.

- Boets, B., Op de Beeck, H. P., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., ... & Ghesquière, P. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science (New York, N.Y.)*, *342*(6163), 1251–1254. <https://doi.org/10.1126/science.1244333>
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, *104*(2), 198–230.
- Boot, W.R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychologica* *129*, 387–398.
- Booth, J. R., Bebko, G., Burman, D. D., & Bitan, T. (2007). Children with reading disorder show modality independent brain abnormalities during semantic tasks. *Neuropsychologia*, *45*(4), 775–783. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.08.015>
- Bowers, P. (1995). Tracing symbol naming speed's unique contributions to reading disabilities over time. *Reading and Writing*, *7*, 1-28.
- Brady, S., Poggie, E., & Rapala, M. M. (1989). Speech repetition abilities in children who differ in reading skill. *Language and Speech*, *32*(2), 109-122. doi: 10.1177/002383098903200202
- Bradley, L., & Bryant, P. E. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, *301*(5899), 419–421. <https://doi.org/10.1038/301419a0>
- Brambati, S. M., Termine, C., Ruffino, M., Stella, G., Fazio, F., Cappa, S. F., & Perani, D. (2004). Regional reductions of gray matter volume in familial dyslexia. *Neurology*, *63*(4), 742–745. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000134673.95020.ee>

- Bravo, L. (2002). La conciencia fonológica como una zona de desarrollo próximo para el aprendizaje inicial de la lectura. *Estudios Pedagógicos Valdivia*, 28, 165-177. doi:10.4067/S0718-07052002000100010
- Brizzolara, D., Chilosi, A., Cipriani, P., Di Filippo, G., Gasperini, F., Mazzotti, S.,... & Zoccolotti, P. (2006). Do phonologic and rapid automatized naming deficits differentially affect dyslexic children with and without a history of language delay? A study of Italian dyslexic children. *Cognitive and behavioral neurology: official journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology*, 19(3), 141–149. <https://doi.org/10.1097/01.wnn.0000213902.59827.19>
- Brosnan, M., Demetre, J., Hamill, S., Robson, K., Shepherd, H., & Cody, G. (2002). Executive fluency in adult dyslexia 25 Executive functioning in adults and children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 40, 2144-2155
- 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. <https://doi.org/10.1212/wnl.56.6.781>
- Bruer, J. T. (2000). *El Mito de Los Tres Primeros Años: Una Nueva Vision Del Desarrollo Inicial Del Cerebro y Del Aprendizaje* (Vol. 24). Grupo Planeta (GBS).
- Brunswick, N., McDougall, S., & Davies, M. (2010). *Reading and Dyslexia in Different Orthographies*. New York: Psychology Press.
- Burton, M. W., Small, S. L., & Blumstein, S. E. (2000). The role of segmentation in phonological processing: an fMRI investigation. *Journal of cognitive neuroscience*, 12(4), 679–690. <https://doi.org/10.1162/089892900562309>
- Bus, A. G., & van Ijzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*, 91, 403–414.

- Caravolas, M., Lervåg, A., Defior, S., Seidlová Málková, G., & Hulme, C. (2013). Different patterns, but equivalent predictors, of growth in reading in consistent and inconsistent orthographies. *Psychological science*, 24(8), 1398–1407. <https://doi.org/10.1177/0956797612473122>
- Caravolas, M., Lervåg, A., Mousikou, P., Efrim, C., Litavsky, M., Onochie-Quintanilla, E.,... & Hulme, C. (2012). Common patterns of prediction of literacy development in different alphabetic orthographies. *Psychological science*, 23(6), 678–686. <https://doi.org/10.1177/0956797611434536>
- Caravolas, M., Volin, J., & Hulme, C. (2005). Phoneme awareness is a key component of alphabetic literacy skills in consistent and less consistent orthographies: Evidence from Czech and English children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 92, 107-39. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.04.003>
- Cardoso, M. J., Modat, M., Wolz, R., Melbourne, A., Cash, D., Rueckert, D., & Ourselin, S. (2015). Geodesic Information Flows: Spatially-Variant Graphs and Their Application to Segmentation and Fusion. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 34(9), 1976-88.
- Carreiras, M., Seghier, M. L., Baquero, S., Estévez, A., Lozano, A., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2009). An anatomical signature for literacy. *Nature*, 461, 983-6. doi: 10.1038/nature08461
- Carrion-Castillo, A., Franke, B., & Fisher, S. E. (2013). Molecular genetics of dyslexia: an overview. *Dyslexia*, 19, 214–240.
- Carroll, J.M. , Mundy, I.R., & Cunningham, A.J. (2014). The roles of family history of dyslexia, language, speech production and phonological processing in predicting literacy progress. *Developmental Science*, 17 (5): 727–742 <http://www.nsti.org/procs/Nanotech2009v1/6/M72.404>

- Casanova, M. F., Christensen, J. D., Giedd, J., Rumsey, J. M., Garver, D. L., & Postel, G. C. (2005). Magnetic resonance imaging study of brain asymmetries in dyslexic patients. *Journal of child neurology*, 20(10), 842–847. <https://doi.org/10.1177/08830738050200101401>
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia, *Cognition*, 47, 149–180.
- Castro-Caldas, A., Petersson, K. M., Reis, A., Stone-Elander, S., & Ingvar, M. (1998). The illiterate brain: Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain*, 121 (6), 1053-63. <https://doi.org/10.1093/brain/121.6.1053>
- Cao, F., Bitan, T., & Booth, J. R. (2008). Effective brain connectivity in children with reading difficulties during phonological processing. *Brain and language*, 107(2), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.12.009>
- Cervera, M., Toro, J., Gratacós, M. L., De la Osa, N., & Pons M. D. (1991). *TALEC. Test d'Anàlisi de Lectura i Escriptura en Català*. Barcelona: TEA Ediciones. 1a edició.
- Chall, J. S. (1983). *Stages of reading development*. New York: McGraw-Hill.
- Chard, D. J., Ketterlin-Geller, L. R., Baker, S. K., Doabler, C., & Apichatabutra, C. (2009). Repeated reading interventions for students with learning disabilities: Status of the evidence. *Exceptional Children*, 75(3), 263-281.
- Cirino, P. T., Israelian, M. K., Morris, M. K., & Morris, R. D. (2005). Evaluation of the Double-Deficit Hypothesis in College Students Referred for Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 38, 29-44
- Cohen, J., & Cohen, P. (1983). *Applied multiple regression correlation analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. Dins de G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing* (pp. 151-216). London: Academic Press.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel distributed processing approaches. *Psychological Review*, *100*(4), 589-608. doi: 10.1037/0033-295X.100.4.589
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*(1), 204-256. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.1.204>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews. Neuroscience*, *3*(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annual review of neuroscience*, *34*, 569–599. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113731>
- Crespo, P., Jiménez, J. E., Rodríguez, C., Baker, D., & Park, Y. (2018). Differences in Growth Reading Patterns for at-Risk Spanish-Monolingual Children as a Function of a Tier 2 Intervention. *The Spanish journal of psychology*, *21*, E4. <https://doi.org/10.1017/sjp.2018.3>
- Critcheley, M. (1968). Developmental dyslexia. *Pediatric Clinics of North America*, *15*(3), 669-76.
- Critcheley, M. (1970). Developmental dyslexia: a constitutional disorder of symbolic perception. *Research Publications Association for Resesarch in Nervous and Mental Disease*, *48*, 266-71.
- Cuetos, F., Rodríguez, B., Ruano, E., & Arribas D. (2007). *PROLEC-R: Batería de Evaluación de los Procesos Lectores, Revisada*. Barcelona: TEA Ediciones.

- Cuetos, F., Suárez-Coalla, P., Molina, M. I., & Llenderrozas, 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.
- D'Anastasio R., Wroe, S., Tuniz, C., Mancini, L., Cesana, D.T., Dreossi, D.... & Capasso, L. (2013). Micro-Biomechanics of the Kebara 2 Hyoid and Its Implications for Speech in Neanderthals. *Plos One*, 8 (12). doi: 10.1371/journal.pone.0082261
- Davis, N., Barquero, L., Compton, D. L., Fuchs, L. S., Fuchs, D., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2011). Functional correlates of children's responsiveness to intervention. *Developmental neuropsychology*, 36(3), 288-301. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.549875>
- de Jong, P. F., & van der Leij, A. (1999). Specific contributions of phonological abilities to early reading acquisition: Results from a Dutch latent variable longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 450–76. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.3.450>
- de Jong, P. F., & van der Liej, A. (2002). Effects of Phonological Abilities and Linguistic Comprehension on the Development of Reading. *Scientific Studies of Reading*, 6(1), 51-77. https://doi.org/10.1207/S1532799XSSR0601_03
- De la Peña Álvarez, C. (2012). Inteligencia verbal y memoria verbal en escolares disléxicos de primaria. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 23(3), 81-95. doi: 10.5944/reop.vol.23.num.3.2012.11463
- Defior, S. (1994). La conciencia fonológica y la adquisición de la lectoescritura. *Infancia y Aprendizaje*, 7, 91-113. <https://doi.org/10.1174/021037094321268886>
- Defior, S. (2004). Phonological awareness and learning to read: A crosslinguistic perspective. En Bryant, P. i Nunes, T. (Eds.), *Handbook on children´s literacy* (pp. 631-649). Londres: Academic Press.

- Defior, S. (2008). ¿Cómo facilitar el aprendizaje inicial de la lectoescritura? Papel de las habilidades fonológicas. *Infancia y Aprendizaje*, 31(3), 333-345.
- Defior, S., & Serrano, F. (2011). Procesos fonológicos explícitos e implícitos, lectura y dislexia. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 11, 79-94.
- Defior, S., & Serrano, F. (2014). Diachronic and synchronic aspects of Spanish: the relationship with literacy acquisition/Aspectos diacrónicos y sincrónicos del español: relación con la adquisición del lenguaje escrito. *Estudios de Psicología*, 35(3), 450- 475. <https://doi.org/10.1080/02109395.2014.974422>
- DeFries, J. C.. & Alarcón, M. (1996). Genetics of specific reading disability. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 2, 39–47
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the brain*. New York: Penguin, Viking Adult.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56 (2), 384-398.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15 (6), 254-62. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.003>
- Dehaene, S., Cohen, L., Morais J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 234-44.
- Dehaene, S. Nakamura, K., Jobert, A., Kuroki, C., Ogawa, S., & Cohen, L. (2010a). Why do children make mirror errors in reading? Neural correlates of mirror invariance in the visual word form area. *Neuroimage*, 49 (2), 1837-48. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.024>

- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Jobert, A.,... & Cohen, L. (2010b). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, *330*(6009), 1359–1364.
- Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L. i Dubois, P. (2006). Nature and nurture in language acquisition: anatomical and functional brain-imaging studies in infants. *Trends in Neurosciences*, *29* (7), 367-373. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.05.011>
- Demont, E., & Gombert, J. E. (2004). L'apprentissage de la lecture: évolution des procédures et apprentissage implicite. *Enfance*, *56*(3), 245-257.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1974). Rapid "automatized" naming of pictured objects, colors, letters, and numbers by normal children. *Cortex*, *10*, 186–202.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976). Rapid "automatized" naming (R.A.N): dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, *14*(4), 471–479. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(76\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(76)90075-0)
- Denton, C. A. (2012). Response to intervention for reading difficulties in the primary grades: some answers and lingering questions. *Journal of Learning Disabilities*, *45* (3): 232-43. doi: 10.1177/0022219412442155.
- Díaz, B. (2006). Definición, orígenes y evolución de la dislexia. *Papeles Salmantinos de Educación*, *7*, 141-162.
- Díaz, B., Hintz, F., Kiebel, S. J., & von Kriegstein, K. (2012). *Dysfunction of the auditory thalamus in developmental dyslexia*. Proc Natl Acad Sci USA, *109*,13841–46.
- Dockrell, J. E., & Messer, D. (2004). Lexical acquisition in the school years. In R. Berman. (Ed.), *Language development: Psycholinguistic and typological perspectives*. New York: John Benjamins.

- Dockrell, J. E., Stuart, M., & King, D. (2006). Implementing effective oral language interventions in preschool settings: no simple solutions. In: Clegg, J and Ginsborg, J and Ginsbourg, J, (eds.) *Language and social disadvantage: theory into practice*. (pp. 177-187). Wiley: Chichester.
- Draganski B., Gaser C., Busch V., Schierer G., Bogdahn U., & May A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427 (22): 311–12. doi.org/10.1038/427311a
- Dynarski, M., Clarke, L., Cobb, B., Finn, J., Rumberger, R., & Smink, J. (2008). *Dropout Prevention: A Practice Guide* (NCEE 2008-4025) [Internet]. Washington, DC: National Center for Education Evaluation and Regional Assistance, Institute of Educational Sciences, U.S. Department of Education. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED502502.pdf>
- Duff F. J., & Clarke, P. J. (2011). Practitioner Review: Reading disorders: what are the effective interventions and how should they be implemented and evaluated? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(1): 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02310.x>
- Duara, R., Kushch, A., Gross-Glenn, K., Barker, W. W., Jallad, B.,... & Levin, B. (1991). Neuroanatomic differences between dyslexic and normal readers on magnetic resonance imaging scans. *Archives of neurology*, 48(4), 410–416. <https://doi.org/10.1001/archneur.1991.00530160078018>
- Eckert, M. A. (2004) Neuroanatomical markers for dyslexia: a review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist* 10, 362–71.
- Eckert, M. A., Berninger, V. W., Vaden, K. I., Jr, Gebregziabher, M. & Tsu, L. (2016). Gray Matter Features of Reading Disability: A Combined Meta-Analytic and Direct Analysis Approach(1,2,3,4). *eNeuro*, 3(1), <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0103-15.2015>

- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Richards, T. L., Aylward, E. H., Thomson, J., & Berninger, V. W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain: a journal of neurology*, *126*(Pt 2), 482–494. <https://doi.org/10.1093/brain/awg026>
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Wilke, M., Eckert, M., Richards, T., Richards, A., & Berninger, V. (2005). Anatomical signatures of dyslexia in children: unique information from manual and voxel based morphometry brain measures. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *41*(3), 304–315. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70268-5](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70268-5)
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Stahl, S. A., & Willows, D. M. (2001a). Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Review of educational research*, *71*(3), 393-447. <https://doi.org/10.3102/00346543071003393>
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Valeska Schuster, B., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001b). Phonemic Awareness Instruction Helps Children Learn to Read: Evidence From the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Reading Research Quarterly*, *36*(3), 250-87. <https://doi.org/10.1598/RRQ.36.3.2>
- Elbaum, B., Vaughn, S., Hughes, M. T., & Moody, S. W. (2000). How effective are one-to-one tutoring programs in reading for elementary students at risk for reading elementary students at risk for reading failure? A meta-analysis of the intervention research. *Journal of Educational Psychology*, *92*, 605-619.
- Elbro, C., & Peterson, D. K. (2004). Long-term effects of phoneme awareness and letter sound training: An intervention study with children at risk for dyslexia. *Journal of Educational Psychology*, *96*, 660–670.

- Elnakib, A., Casanova, M. F., Gimelfarb, G., Switala, A. E., & El-Baz, A. (2012). Dyslexia diagnostics by 3-D shape analysis of the corpus callosum. *IEEE transactions on information technology in biomedicine: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 16(4), 700–708. <https://doi.org/10.1109/TITB.2012.2187302>
- Everitt B., Landau S., Leese M., & Stahl D (2011). *Cluster Analysis*. (5th Ed.). Wiley
- Facoetti, A., & Molteni, M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39(4), 352–357. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(00\)00138-x](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(00)00138-x)
- Facoetti, A., Ruffino, M., Peru, A., Paganoni, P., & Chelazzi, L. (2008). Sluggish engagement and disengagement of non-spatial attention in dyslexic children. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 44(9), 1221–1233. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.10.007>
- Facoetti, A., Trussardi, A. N., Ruffino, M., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R., Molteni, M., & Zorzi, M. (2010). Multisensory spatial attention deficits are predictive of phonological decoding skills in developmental dyslexia. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(5), 1011–25. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21232>
- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P.,... & Mascetti, G. G. (2006). The relationship between visuo-spatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive neuropsychology*, 23(6), 841–855. <https://doi.org/10.1080/02643290500483090>
- Fälth, L., Gustafson, S., Tjus, T., Heimann, M., & Svensson, I. (2013). Computer-assisted interventions targeting reading skills of children with reading disabilities- a longitudinal study. *Dyslexia*, 19(1), 37–53. <https://doi.org/10.1002/dys.1450>

- Feng, X., Li, L., & Ding, G. (2016). Abnormal inter-regional brain connectivity in developmental dyslexia. *Advances in Psychological Science*, 24(12), 1864-1872.
- Feng, X., Li, L., Zhang, M., Yang, X., Tian, M., Xie, W., ...& Ding, G. (2017). Dyslexic Children Show Atypical Cerebellar Activation and Cerebro-Cerebellar Functional Connectivity in Orthographic and Phonological Processing. *Cerebellum*, 16(2), 496–507. <https://doi.org/10.1007/s12311-016-0829-2>
- Fernald, G. M. (1943). *Remedial techniques in basic school subjects*. New York: McGraw-Hill.
- Ferreira, J., Gustafson, S., & Rönnerberg, J. (2003). COMPHOT: Computerized phonological training. *Linköping: Institutionen för beteendevetenskap/Institutet för handikappvetenskap, Linköpings universitet*.
- Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Müller, K., & von Cramon, D. Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(1), 11–23. <https://doi.org/10.1162/089892902317205285>
- Filippetti, V. A., & Allegri, R. F. (2011). Verbal fluency in Spanish-speaking children: Analysis model according to task type, clustering, and switching strategies and performance over time. *The Clinical Neuropsychologist*, 25(3), 413-436. doi: 10.1080/13854046.2011.559481
- Finn, E. S., Shen, X., Holahan, J. M., Scheinost, D., Lacadie, C., Papademetris, X., ... & Constable, R. T. (2014). Disruption of functional networks in dyslexia: A whole-brain, data-driven analysis of connectivity. *Biological Psychiatry*, 76(5), 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.08.031>

- Fisher, S. E., & DeFries, J. C. (2002). Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(10), 767-80. doi:10.1038/nrn936
- Fisher, S. E., & Vernes, S. C. (2015). Genetics and the Language. *Sciences Annual Review of Linguistics*, 1, 289-310 <https://doi.org/10.1146/annurev-linguist-030514-125024>
- Fletcher, J. M. (2009). Dyslexia: The evolution of a scientific concept. *Journal International Neuropsychological Society* 15(4), 501–8. doi:10.1017/S1355617709090900.
- Fletcher, J. M., Lyon, G. R. Fuchs, L. S., & And Barnes, M. A. (2007). *Learning disabilities: From identification to intervention*. New Cork: Guilford Press.
- Foorman, B.R., & Moats, L.C. (2004). Conditions for sustaining research-based practices in early reading instruction. *Remedial and Special Education*, 25(1), 51–60.
- Franceschini S., Gori, S., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, 23, 462-66. DOI: 10.1016/j.cub.2013.01.044
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current biology: CB*, 22(9), 814–819. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.013>
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K.,... & Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, 7, 5863. doi: 10.1038/s41598-017-05826-8

- Francis, D. J., Shaywitz, S. E., Stuebing, K. K., Shaywitz, B. A., & Fletcher, J. M. (1996). Developmental lag versus deficit models of reading disability: A longitudinal, individual growth curve analysis. *Journal of Educational Psychology, 88* (1): 3–17. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.88.1.3>
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. Dins de K. Patterson, J. Marshall i M. Coltheart (Eds.), *Surface dyslexia*, (pp.301-330). London, UK: Erlbaum.
- Frith, U. (1986). A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia, 36*, 67-81.
- Frith, U. (1997). Brain, mind and behaviour in dyslexia. In Hulme C. i Snowling, M. (Eds.). *Dyslexia, Biology, Cognition and Intervention*. London: Whurr Publishers.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia, 5*, 192-214.
- Frith, U., Landerl, K., & Frith, C. (1995). Dyslexia and verbal fluency: More evidence for a phonological deficit. *An International Journal of Research and Practice, 1*, 2-11.
- Frost, J., Madsbjerg, S., Niersoe, J., Olofsson, A., & Sorensen, P. M. (2005). Semantic and phonological skills in predicting reading development: From 3-16 years of age. *Dyslexia, 11* (2): 79-92. <https://doi.org/10.1002/dys.292>
- Fuchs, D., & Fuchs, L. S. (2006). Introduction to response to intervention: What, why, and how valid is it? *Reading Research Quarterly, 41*(1), 93-99. <https://doi.org/10.1598/rrq.41.1.4>
- Fuchs, L.S., & Vaughn, S. (2012) Responsiveness-to-intervention: a decade later. *Journal of Learning Disabilities, 45*(3), 195-203. <https://doi.org/10.1177/0022219412442150>

- Furnes, B., & Samuelsson, S. (2009). Preschool cognitive and language skills predicting Kindergarten and Grade 1 reading and spelling: a cross-linguistic comparison. *Journal of research in reading, 32*, 275-292
- Gaab, N., Gabrieli, J. D., Deutsch, G. K., Tallal, P., & Temple, E. (2007). Neural correlates of rapid auditory processing are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training: an fMRI study. *Restorative neurology and neuroscience, 25*(3-4), 295–310.
- Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia. A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science, 26*, 280-83. DOI: 10.1126/science.1171999
- Gabrieli, J. D., & Norton, E. S. (2012). Reading Abilities: Importance of Visual-Spatial Attention. *Current biology, 22*(9), R298-R299. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.041>
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014). Effectiveness of treatment approaches for children and adolescents with reading disabilities: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One, 26*, doi: 10.1371/journal.pone.0089900.
- Galaburda, A. M., & Kemper, T. L. (1978). Auditory cytoarchitectonic abnormalities in a case of familial developmental dyslexia. *Transactions of the American Neurological Association, 103*, 262–265.
- Galaburda, A. M., & Livingstone, M. (1993). Evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Annals of New York Academy of Science, 682*, 70-82.
- Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Science (USA), 91*, 8010-13.

- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of neurology*, 18(2), 222–233. <https://doi.org/10.1002/ana.410180210>
- Gallagher, A., Frith, U., & Snowling, M. J. (2000). Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 41(2), 203–213.
- Gathercole, S., & Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. Sage
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A. M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of experimental child psychology*, 93(3), 265–281. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.08.003>
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). Phonological working memory: A critical building block for reading development and vocabulary acquisition? *European Journal of Psychology of Education*, 8(3), 259-272. doi: 10.1007/BF03174081
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years. *Developmental Psychology*, 40, 177–190.
- Georgiou, G. K., Das, J. P., & Hayward, D. (2009). Revisiting the “simple view of reading” in a group of children with poor reading comprehension. *Journal of Learning Disabilities*, 42(1), 76-84.
- Geschwind, N. (1965). Disconnexion Syndromes in Animals and Man. *Brain*, 88(2), 247-94. doi: 10.1093/brain/88.2.237.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161(3837), 186–187. <https://doi.org/10.1126/science.161.3837.186>

- Giedd, J. N., Rumsey, J. M., Castellanos, F. X., Rajapakse, J. C., Kaysen, D., Vaituzis, A. C.,... & Rapoport, J. L. (1996). A quantitative MRI study of the corpus callosum in children and adolescents. *Brain research. Developmental brain research*, 91(2), 274–280. [https://doi.org/10.1016/0165-3806\(95\)00193-x](https://doi.org/10.1016/0165-3806(95)00193-x)
- Gilger, J. W., Pennington, B. F., & Defries, J. C. (1991). Risk for Reading Disability as a Function of Parental History in Three Family Studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 3, 205-217.
- Giraldo-Chica, M., Hegarty, J. P., 2nd & Schneider, K. A. (2015). Morphological differences in the lateral geniculate nucleus associated with dyslexia. *NeuroImage. Clinical*, 7, 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.03.011>
- Girard, C, Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29, 207-19. doi: 10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x |_489
- Gómez-Velázquez, F. R., González-Garrido, A. A, Zarabozo, D. & Amano, M. (2010). La velocidad de denominación de letras: El mejor predictor temprano del desarrollo en español. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 15(46), 823-47.
- Gómez Zapata, E., Defior, S., & Serrano, F. (2011). Mejorar la fluidez lectora en dislexia: diseño de un programa de intervención en español. *Escritos de Psicología (Internet)*, 4(2), 65-73.
- Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision research*, 99, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.011>
- Goswami, U. (2004). Neuroscience, education and special education. *British Journal of Special Education*, 31(4), 175-183.

- Goswami U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>
- Goswami, U. (2014). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(1), 43-55
- Goswami, U., & Bryant, P. (1990). *Phonological skills and learning to read*. Hove, U.K.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goswami, U., Power, A. J., Lallier, M., & Facoetti, A. (2014). Oscillatory "temporal sampling" and developmental dyslexia: toward an over-arching theoretical framework. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 904. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00904>
- Gottardo, A., Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1996). The Relationships between Phonological Sensitivity, Syntactic Processing, and Verbal Working Memory in the Reading Performance of Third-Grade Children. *Journal of experimental child psychology*, 63(3), 563–582. <https://doi.org/10.1006/jecp.1996.0062>
- Gough, P. B., & Hillinger, M. L. (1980). Learning to read: An unnatural act. *Bulletin of the Orton Society*, 30, 171-176.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Aprendizaje, control de atención y videojuegos de acción. *Current Biology*, 22 (6), R197-R206.
- Grigorenko, E. L. (2003). The first candidate gene for dyslexia: Turning the page of a new chapter of research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11190-92. <https://doi.org/10.1073/pnas.2134926100>
- Guidi, L. G., Velayos-Baeza, A., Martinez-Garay, I., Monaco, A. P., Paracchini, S., Bishop, D., & Molnár, Z. (2018). The neuronal migration hypothesis of dyslexia: A critical evaluation 30 years on. *The European journal of neuroscience*, 48(10), 3212–3233. <https://doi.org/10.1111/ejn.14149>

- Guillingham, A., & Stillman, B. (1960). Remedial Training for Children with Specific Disability in Reading, Spelling, and Penmanship. Cambridge, Massachusetts: Educators Publishing Service.
- Haier, R. J., Karama, S., Leyba, L., & Jung, R. E. (2009). MRI assessment of cortical thickness and functional activity changes in adolescent girls following three months of practice on a visual-spatial task. *BMC research notes*, 2(1), 174.
- Hallgren, B. (1950). Specific dyslexia (congenital word-blindness): a clinical and genetic study. *Acta Psychiatrica et Neurologica Supplementum*, 65, 1-287.
- Hannon, B., & Daneman, M. (2001). A new tool for measuring and understanding individual differences in the component processes of reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 103-128
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., & Leppänen, P. H. (2013). Basic auditory processing deficits in dyslexia: systematic review of the behavioral and event-related potential/ field evidence. *Journal of learning disabilities*, 46(5), 413–427. <https://doi.org/10.1177/0022219411436213>
- Hamilton, L., Halverson, R., Jackson, S., Mandinach, E., Supovitz, J., & Wayman, J. (2009). *Using student Achievement data to support instructional decision making (NCEE 2009-4067)*. Washington, DC: National Center for Education Evaluation and Regional Assistance, Institute of Education Sciences, U.S.
- Hari, R., Renvall, H., & Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain: a journal of neurology*, 124(Pt 7), 1373–1380. <https://doi.org/10.1093/brain/124.7.1373>
- Harris, M., & Coltheart, M. (1986). *Language processing in children and adults: An introduction*. London: Routledge and Kegan Paul.

- Heimann, M., Lundälv, M., Tjus, T., & Nelson, K. E. (2004). Omega–Interactive sentences, a multimedia software for language exploration and play. *Göteborg: Topic Data & Språkbehandling Hb* (www.omega-is.se).
- Herrera, L., & Defior, S. (2005). Una Aproximación al Procesamiento Fonológico de los Niños Prelectores: Conciencia Fonológica, Memoria Verbal a Corto Plazo y Denominación. *Psykhe*, *14*(2), 81-95. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22282005000200007>
- Hinshelwood, J. (1900). Congenital word-blindness. *The Lancet*, *1*, 1506-8.
- Hoeft, F., Meyler, A., Hernandez, A., Juel, C., Taylor-Hill, H.,... & Gabrieli, J. D. (2007a). Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading ability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(10), 4234–4239. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609399104>
- Hoeft, F., Ueno, T., Reiss, A. L., Meyler, A., Whitfield-Gabrieli, S.,... & Gabrieli, J. D. (2007b). Prediction of children's reading skills using behavioral, functional, and structural neuroimaging measures. *Behavioral neuroscience*, *121*(3), 602–613. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.121.3.602>
- Hogben, J. (1997). How Does a Visual Transient Deficit Affect Reading. In C. Hulme, & M. Snowling (Eds.), *Dyslexia: Biology, Cognition and Intervention* (Vol. n/a, pp. 59-71). London: Whurr Publishers Ltd.
- Horowitz-Kraus, T., & Hutton, J. S. (2015). From emergent literacy to reading: how learning to read changes a child's brain. *Acta Paediatrica*, *104* (7): 648-56. <https://doi.org/10.1111/apa.13018>.
- Hughes, J. A., Phillips, G., & Reed, P. (2013). Brief Exposure to a Self-Paced Computer-Based Reading Programme and How It Impacts Reading Ability and Behaviour Problems. *PLoS ONE*, *8*(11): e77867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077867>

- Hulme, C., & Snowling, M. J. (2016). Reading disorders and dyslexia. *Current Opinion in Pediatrics*, 28 (6), 731-35. doi: 10.1097/MOP.0000000000000411
- Hynd, G. W., Semrud-Clikeman, M., Lorys, A. R., Novey, E. S., & Eliopoulos, D. (1990). Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity. *Archives of neurology*, 47(8), 919–926. <https://doi.org/10.1001/archneur.1990.00530080107018>
- Jagger-Rickels, A. C., Kibby, M. Y., & Constance, J. M. (2018). Global gray matter morphometry differences between children with reading disability, ADHD, and comorbid reading disability/ADHD. *Brain and language*, 185, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.08.004>
- Jednoróg, K., Gawron, N., Marchewka, A., Heim, S., & Grabowska, A. (2014). Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume. *Brain structure & function*, 219(5), 1697–1707. <https://doi.org/10.1007/s00429-013-0595-6>
- Jednoróg, K., Marchewka, A., Altarelli, I., Monzalvo Lopez, A. K., van Ermingen-Marbach, M.,... & Ramus, F. (2015). How reliable are gray matter disruptions in specific reading disability across multiple countries and languages? Insights from a large-scale voxel-based morphometry study. *Human brain mapping*, 36(5), 1741–1754. <https://doi.org/10.1002/hbm.22734>
- Jenkins, J. R., & O'Connor, R. E. (2002). Early identification and intervention for young children with reading/learning disabilities. In R. Bradley, L. Danielson, D. P. Hallahan (Eds.), *The LEA series on special education and disability. Identification of learning disabilities: Research to practice* (pp. 99-149). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Jiménez J. E. (2010). Response to Intervention (RtI) Model: a promising alternative for identifying students with learning disabilities? *Psicothema*, 22(4), 932–934.

- Jiménez, J., García, E., Ortiz, R., Hernández-Valle, I., Guzmán, R., Rodrigo, M.,... & Hernández, S. (2005). Is the deficit in phonological awareness better explained in terms of task differences or effects of syllable structure? *Applied Psycholinguistics*, 26(2), 267-87. <https://doi.org/10.1017/S0142716405050174>
- Jiménez González, J. E., & Hernández Valle, I. (2000). Word identification and reading disorders in the Spanish language. *Journal of Learning disabilities*, 33(1), 44-60.
- Jiménez, J., Guzmán, R., Rodríguez, C., & Artilles, C. (2009). Prevalencia de las dificultades específicas de aprendizaje: La dislexia en español. *Anales de Psicología*, 25(1), 78–85.
- Jiménez, J. E., Hernández-Valle, I., Ramírez, G., Ortiz, M. R., Rodrigo, M., Estévez, A.,... & Trabaue, M. L. (2007). Computer Speech-Based Remediation for Reading Disabilities: The Size of Spelling-to-Sound Unit in a Transparent Orthography. *The Spanish Journal of Psychology*, 10 (1), 52-67. <https://doi.org/10.1017/S1138741600006314>
- Jiménez, J. E., & Muñetón, M. A. (2002). *Dificultades de aprendizaje de la lectura*. Madrid: Editorial Trotta S.A.
- Jiménez, J., & Ortiz, M. (2000). Metalinguistic awareness and reading acquisition in the Spanish language, *The Spanish Journal of Psychology*, 1, 37-46
- Jiménez, J., & Ramírez, G. (2002). Identifying subtypes of reading disability in the Spanish language. *The Spanish Journal of Psychology*, 5, 3-19.
- Jiménez, J., & Rodríguez, C. (2014). Subtipos disléxicos y procesos fonológicos y ortográficos en la escritura de palabras. *European Journal of Education and Psychology*, 7, 5-16. doi:10.30552/ejep.v7i1.101.

- Jiménez, J. E., Rodríguez, C., Guzmán, R., & García, E. (2010). Desarrollo de los procesos cognitivos de la lectura en alumnos normolectores y alumnos con dificultades específicas de aprendizaje. *Revista de educación*, 353, 361-86.
- Jiménez, J. E., Rodríguez, C., & Ramírez, G. (2009). Spanish developmental dyslexia: Prevalence, cognitive profile, and home literacy experiences. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 167-185. doi: 10.1016/j.jecp.2009.02.004
- Joshi, R. (2005). Vocabulary: a critical component of comprehension. *Reading & Writing Quarterly*, 21, 209-19. doi: 10.1080/10573560590949278
- Juel, C. (1988). A longitudinal study of 54 children from first through fourth grades. *Journal of Educational Psychology*, 80 (4): 437–47.
- Juel, C. (1991). Beginning reading. En R. Barr, M. L. Kamil, P. B. Mosenthal, P. D. Pearson (Eds.), *Handbook of reading research* (pp. 759-788). New York: Longman.
- Katusic, S. K., Colligan, R. C., Barbaresi, W. J., Schaid, D. J., & Jacobsen, S. J. (2001). Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982. Rochester, Minn. *Mayo Clinical Proceedings*, 76, 1081-92. <https://doi.org/10.4065/76.11.1081>
- Karakas, S., Yalin, A., Irak, M., & Erzençin, O. U. (2002). Digit span changes from puberty to old age under different levels of education. *Developmental neuropsychology*, 22(2), 423–453. https://doi.org/10.1207/S15326942DN2202_1
- Keller, T. A., & Just, M. A. (2009). Altering cortical connectivity: remediation-induced changes in the white matter of poor readers. *Neuron*, 64(5), 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.10.018>

- Kjeldsen, A-C., Niemi, P., & Olofsson, Å. (2003). Training phonological awareness in kindergarten level children: Consistency is more important than quantity. *Learning and Instruction, 13*, 349-365. doi:10.1016/S0959-4752(02)00009-9
- Klein A., & Tourville J. (2012). 101 Labeled brain images and a consistent human cortical labeling protocol. *Frontiers in Neuroscience, 6*, 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00171>
- Kleinschmidt, A. (2011). Retrouver le contenu de la conscience dans le « bruit » de la neuro-imagerie. *Médecine Sciences, 27* (2), 199-203. <https://doi.org/10.1051/medsci/2011272199>
- 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: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron, 25*(2), 493–500. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80911-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80911-3)
- Kotz, S. A., Cappa, S. F., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2002). Modulation of the lexical–semantic network by auditory semantic priming: An event-related functional MRI study. *Neuroimage, 17*, 1761–1772
- Koyama, M. S., Di Martino, A., Kelly, C., Jutagir, D. R., Sunshine, J., Schwartz, S. J., ... & Milham, M. P. (2013). Cortical signatures of dyslexia and remediation: an intrinsic functional connectivity approach. *PloS one, 8*(2), e55454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055454>
- Koyama, M. S., Kelly, C., Shehzad, Z., Penesetti, D., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2010). Reading networks at rest. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991), 20*(11), 2549–2559. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq005>
- Kraebel, K. S., West, R. N., & Gerhardstein, P. (2007). The influence of training views on infants long-term memory for simple 3D shapes. *Developmental Psychobiology, 49*(4), 406-420. doi: 10.1002 / dev.20222.

- Krafnick, A. J., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G.F. (2011). Gray matter volume changes following reading intervention in dyslexic children. *Neuroimage*, 57(3), 733–741. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.06221029785>.
- Kramer, J. H., Knee, K., & Delis, D. C. (2000). Verbal memory impairments in dyslexia. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 15(1), 83-93.
- Kronbichler, M., Hutzler, F., & Wimmer, H. (2002). Dyslexia: Verbal impairments in the absence of magnocellular impairments. *Neuroreport*, 13(5), 617-620.
- Kronbichler, M., Wimmer, H., Staffen, W., Hutzler, F., Mair, A., & Ladurner, G. (2008). Developmental dyslexia: gray matter abnormalities in the occipitotemporal cortex. *Human brain mapping*, 29(5), 613–625. <https://doi.org/10.1002/hbm.20425>
- Kshirsagar, A. M.(1972). *Multivariate analysis*. New York: Dekker.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11), 831-843.
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (2001). Plastic neural changes and Reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 98(18), 10509-10514. <https://doi.org/10.1073/pnas.181589198>
- Kushch, A., Gross-Glenn, K., Jallad, B., Lubs, H., Rabin, M., ... & Duara, R. (1993). Temporal lobe surface area measurements on MRI in normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 31(8), 811–821. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90130-r](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90130-r)

- Kyle, F., Kujala, J., Richardson, U., Lyytinen, H., & Goswami, U. (2013). Assessing the Effectiveness of Two Theoretically Motivated Computer-Assisted Reading Interventions in the United Kingdom: GG Rime and GG Phoneme. *Reading Research Quarterly*, 1(48), 61-76.
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of experimental child psychology*, 103(3), 309–324. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.006>
- Landerl, K., & Wimmer, H. (2000): Deficits in phoneme segmentation are not the core problem of dyslexia: evidence from German and English children. *Applied Psycholinguistics*, 21, 243-262.
- Landerl, K., & Wimmer, H. (2008). Development of word reading fluency and spelling in a consistent orthography: An 8-year follow-up. *Journal of Educational Psychology*. 100(1), 150-161. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.100.1.150>
- Landerl, K., Wimmer, H., & Frith, U. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia: A German–English comparison. *Cognition*, 63, 315–334.
- Larsen, J. P., Höien, T., & Ödegaard, H. (1992). Magnetic resonance imaging of the corpus callosum in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 9(2), 123-34. <https://doi.org/10.1080/02643299208252055>
- Lehongre, K., Morillon, B., Giraud, A. L., & Ramus, F. (2013). Impaired auditory sampling in dyslexia: further evidence from combined fMRI and EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 454. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00454>

- Leppänen, P. H., Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Eklund, K. M., Salminen, H., Tanskanen, A., ... & Lyytinen, H. (2012). Infant brain responses associated with reading-related skills before school and at school age. *Neurophysiologie Clinique/ Clinical Neurophysiology*, 42(1-2), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2011.08.005>
- Leppänen, P. U., Richardson, E., Pinko, E, Eklund, K, Guttorm, T., Aro, M. & Lyytinen, H. (2002). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 22(1), 407-422.
- Leonard, C. M. (2001). Imaging brain structure in children: differentiating language disability and reading disability. *Learning Disability Quarterly*, 24,158–76.
- Leonard, C. M., Voeller, K. K., Lombardino, L. J., Morris, M. K., Hynd, G. W., ... & Mao, J. (1993). Anomalous cerebral structure in dyslexia revealed with magnetic resonance imaging. *Archives of neurology*, 50(5), 461–469. <https://doi.org/10.1001/archneur.1993.00540050013008>
- Lezak, M. (2004). *Neuropsychological assessment*. (4rt ed). New York Oxford Univ Press.
- Liberman, I. Y., & Shankweiler, D. (1991). *Phonology and beginning reading: A tutorial*. In L. Rieben & C. A. Perfetti (Eds.), *Learning to read: Basic research and its implications* (p. 3–17). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lieberman, P. (1987). *On the origins of language: An introduction to the evolution of human speech*. New Haven, University Press of America.
- Lindgren, S. D., de Renzi, E., & Richman, L. C. (1985). Cross-National Comparisons of Developmental Dyslexia in Italy and the United States. *Child Development*, 56(6), 1404-17.DOI: 10.2307/1130460

- 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), e43122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043122>
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(18), 7943–7947. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.18.7943>
- Llauradó, A., & Tolchinsky, L. (2016). The developmental pattern of spelling in Catalan from first to fifth school grade. *Writing Systems Research*, 8(1), 64-83. doi: 10.1080/17586801.2014.1000812
- Llei d'Educació de Catalunya (LEC) (Llei 12/2009, 10 de juliol). *Diari oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 5422, 2009.
- López-Escribano, C., Suro, J., & Leal F. (2018). Prevalence of developmental dislexia in Spanish University Students. *Brain Sciences*, 8, 82, 2-15. doi:10.3390/brainsci8050082
- López-Olóriz, J., Pina, V., Ballesta, S., Bordoy, S., & Pérez-Zapata, L. (2020). Proyecto Petit UBinding: método de adquisición y mejora de la lectura en primero de primaria. Estudio de eficacia. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 40 (1), 12-22.
- López Sala, A. (Coord), Boix, C., Colomé, R., Garau, M., Massagué, M., Palacio, A.,... & Suades, E. (2015). *Dislexia : un enfoque teórico-práctico. Todos estamos implicados.*(1a. ed.) Barcelona: Horsori Editorial.
- Lovett, M. W., Steinbach, K. A., & Frijters, J.C. (2000). Remediation the core deficit of developmental reading disability. A double-deficit perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 334-358.

- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9>
- Lyytinen, P., Eklund, K., & Lyytinen, H. (2005). Language development and literacy skills in late-talking toddlers with and without familial risk for dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 55, 166–192.
- Lyytinen, H., Erskine, J., Hämäläinen, J., Torppa, M., & Ronimus, M. (2015). Early Identification and Prevention: Highlights from the Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia. *Current Developmental Disorders Reports*, 2 (4): 330–38 DOI: 10.1007/s40474-015-0067-1
- Lyytinen, H., Erskine, J., Kujala, J., Ojanen, E., & Richardson, U. (2009). In search of a science-based application: A learning tool for reading acquisition. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50, 668–75. DOI: 10.1111/j.1467-9450.2009.00791.x
- Lyytinen, H., Ronimus, M., Alanko, A., Poikkeus, A-M., & Taanila, M. (2007). Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition. *Nordic Psychology*, 59(2), 109-126, DOI: 10.1027/1901-2276.59.2.109.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of dyslexia*, 53, 1-14.
- Ma, Y., Koyama, M. S., Milham, M. P., Castellanos, F. X., Quinn, B. T.,... & Blackmon, K. (2015). Cortical thickness abnormalities associated with dyslexia, independent of remediation status. *NeuroImage. Clinical*, 7, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.11.005>
- 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. <https://doi.org/10.1196/annals.1416.024>

- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of development dyslexia. *Cognition*, 58, 157–195.
- Manjón J. V., & Coupé P. (2016). volBrain: An Online MRI Brain Volumetry System. *Front Neuroinform*, 27(10), 30. doi: 10.3389/fninf.2016.00030.
- Martínez, J. A., & Sánchez, E. (1999). Dichotic listening CV lateralization and developmental dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 21, 519-534.
- Martins, I. P., Vieira, R., Loureiro, C., & Santos, M. E. (2007). Speech rate and fluency in children and adolescents. *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 13(4), 319–332. <https://doi.org/10.1080/09297040600837370>
- Marzocchi, G. M., Oosterlaan, J., Zuddas, A., Cavolina, P., Geurts, H., Redigolo, D.,... & Sergeant, J. A. (2008). Contrasting deficits on executive functions between ADHD and reading disabled children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49(5), 543-552. doi: 10.1111/j.1469-7610.2007.01859.x
- Mascheretti, S., De Luca, A., Trezzi, V., Peruzzo, D., Nordio, A., Marino, C., & Arrigoni, F. (2017). Neurogenetics of developmental dyslexia: from genes to behavior through brain neuroimaging and cognitive and sensorial mechanisms. *Translational psychiatry*, 7(1), e987. <https://doi.org/10.1038/tp.2016.240>
- Mattingly, I. G. (1972). *Reading, the linguistic process, and linguistic awareness*. In Kavanagh, J. F. & Mattingly, I. G. (Eds.), *Language by ear and by eye: The relationship between speech and reading*. Massachusetts Inst of Technology P.
- Matute, E., & Guajardo, S. (2012). *Dislexia: Definición e intervención en hispanohablantes*. México D. F., México: Editorial El Manual Moderno.

- Maughan, B., Rowe, R., Loeber, R., & Stouthamer-Loeber, M. (2003). Reading problems and depressed mood. *Abnormal Child Psychology*, 31, 219-29.
- May, A., & Gaser, C. (2006). Magnetic resonance-based morphometry: a window into structural plasticity of the brain. *Current opinion in neurology*, 19(4), 407–411. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000236622.91495.21>
- McArthur, G., Kohnen, S., Jones, K., Eve, P., Banales, E., Larsen, L., & Castles, A. (2015). Replicability of sight word training and phonics training in poor readers: a randomised controlled trial. *PeerJ*, 3.
- 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, 293-299.
- McCrory, E. J., Mechelli, A., Frith, U., & Price, C. J. (2005). More than words: a common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia?. *Brain*, 128(2), 261-267.
- McLean, G. M., Stuart, G. W., Coltheart, V., & Castles, A. (2011). Visual temporal processing in dyslexia and the magnocellular deficit theory: the need for speed?. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 37(6), 1957–1975. <https://doi.org/10.1037/a0024668>
- McNulty, M. A. (2003). Dyslexia and the Life Course. *Journal of Learning Disabilities*, 36 (4): 363-381. <https://doi.org/10.1177/00222194030360040701>
- Meyler, A., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Gabrieli, J. D. E., & Just, M. A. (2008). Modifying the brain activation of poor readers during sentence comprehension with extended remedial instruction: a longitudinal study of neuroplasticity. *Neuropsychologia*, 46(10), 2580-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.03.012>

- Moll, K., Fussenegger, B., Willburger, E., & Landerl, K. (2009). RAN is not a measure of orthographic processing. Evidence from the asymmetric German orthography. *Scientific studies of Reading, 13*, 1-25.
- Morais, J., Bertelson, P., Cary, L., & Alegria, J. (1986). Literacy training and speech segmentation. *Cognition, 24* (1-2), 45-64. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(86\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0010-0277(86)90004-1)
- Morgan, P. W. (1896). A case of congenital word blindness. *The British Medical Journal, 7*, 1378.
- Morgan, P. L., Farkas, G., & Hibel, J. (2008). Matthew Effects for Whom? *Learning disability quarterly: journal of the Division for Children with Learning Disabilities, 31*(4), 187–198.
- Morris, R. D., Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Lyon, G. R., Shankweiler, D. P.,... & Shaywitz, B. (1998). Subtypes of reading disability: Variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology, 90*(3), 347–73.
- Morton, J. (1990). An information-processing account of reading acquisition. In A. M. Galaburda (Ed.), *From reading to neurons*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Moura, O., Simões, M. R., & Pereira, M. (2015). Executive functioning in children with developmental dyslexia. *The Clinical Neuropsychologist, 28*(S1), 20-41. doi:10.1080/13854046.2014.964326
- Moura, O., Simões, M. R., & Pereira, M. (2013). Fluência verbal semântica e fonêmica em crianças: funções cognitivas e análise temporal. *Avaliação Psicológica, 12*(2), 167-177.
- Mugnaini, D., Lassi, E., La Malfa, G., & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics, 5*, 255-264.

- Müller-Axt, C., Anwander, A., & von Kriegstein, K. (2017). Altered Structural Connectivity of the Left Visual Thalamus in Developmental Dyslexia. *Current biology: CB*, 27(23), 3692–3698.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.10.034>
- Nakamura, K., Dehaene, S., Joberty, A., Le Bihan, D., & Kouider, S. (2005). Subliminal convergence of Kanji and Kana words: Further evidence for functional parcellation of the posterior temporal cortex in visual word perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 954-968. <https://doi.org/10.1162/0898929054021166>
- National Reading Panel (2000). *Teaching children to read: an evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction*. Washington DC: National Institutes of Child Health and Human Development
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2006). Do cerebellar deficits underlie phonological problems in dyslexia?. *Developmental science*, 9(3), 259–269. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00486.x>
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in neurosciences*, 24(9), 508–511. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(00\)01896-8](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(00)01896-8)
- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. D. (2015). Neurobiology of dyslexia. *Current opinion in neurobiology*, 30, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.09.007>
- Norton, E. S., & Wolf, M. (2010). Rapid Automatized Naming (RAN) and Reading Fluency: Implications for Understanding and Treatment of Reading Disabilities. *Annual Review of Psychology*, 63(1), 427-52. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100431.

- Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual review of psychology*, 63, 427–452. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100431>
- Odegard, T. N., Ring, J., Smith, S., Biggan, J., & Black, J. (2008). Differentiating the neural response to intervention in children with developmental dyslexia. *Annals of dyslexia*, 58(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11881-008-0014-5>
- Ojanen, E., Ronimus, M., Ahonen, T., Chansa-Kabali, T., February, P., Jere-Folotiya, J.,... & Lyytinen, H. (2015). GraphoGame - a catalyst for multi-level promotion of literacy in diverse contexts. *Frontiers in psychology*, 6, 671. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00671>
- Olson, R. J. (1999). Research on Reading disabilities in the Colorado learning disabilities research center. In Lundberg, I., Tonnesen, F. E. & Austad, I. (Eds.) *Dyslexia Advances in theory and practice* (pp141-150). London: Kluwer Academic Publishers.
- Onochie-Quintanilla, E., Simpson, I., Caravolas, M., & Defior, S. (2011). Letter knowledge, phoneme awareness and RAN as predictors of reading fluency in Spanish. *10th Symposium of Psycholinguistics San Sebastián*, April 13th-16th.
- Orton, S. T. (1925). Word-blindness in school children. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 14(5):581–615.
doi:10.1001/archneurpsyc.1925.02200170002001
- Orton, S. T. (1928). Specific reading disability strephosymbolia. *Journal of the American Medical Association*, 90, 1095-9.
- Ozernov-Palchik, O., & Gaab, N. (2016). Tackling the ‘dyslexia paradox’: reading brain and behavior for early markers of developmental dyslexia. *Wires Cognitive Science*, 7(2), 156-76. <https://doi.org/10.1002/wcs.1383>

- Paracchini, S., Scerri, T., & Monaco, A. P. (2007). The genetic lexicon of dyslexia. *Annual review of genomics and human genetics*, 8, 57–79. <https://doi.org/10.1146/annurev.genom.8.080706.092312>
- Paracchini, S., Ang, Q. W., Stanley, F. J., Monaco, A. P., Pennell, C. E., & Whitehouse, A. J. (2011). Analysis of dyslexia candidate genes in the Raine cohort representing the general Australian population. *Genes, brain, and behavior*, 10(2), 158–165. <https://doi.org/10.1111/j.1601-183X.2010.00651.x>
- Parrila, R., Kirby, J., & McQuarrie, L. (2004). Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory, and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development. *Scientific Studies of Reading*, 8, 3-26
- Parviainen, T., Helenius, P., Poskiparta, E., Niemi, P., & Salmelin, R. (2006). Cortical sequence of word perception in beginning readers. *Journal of Neuroscience*, 26(22), 6052-6061. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0673-06.2006>
- Passenger, T., Stuart, M., & Terrel, C. (2003). Phonological processing and early literacy. *Journal of Research in Reading*, 23(1), 55-66.
- Paulesu, E., Démonet, J-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N.,... & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural Diversity and Biological Unity. *Science*, 291(5511), 2165-67
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J.,... & Frith, D.(1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*, 119, 143-57.
- Pennington B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>

- Pennington, B. F., Filipek, P. A., Lefly, D., Churchwell, J., Kennedy, D. N., Simon, J. H.,... & DeFries, J. C. (1999). Brain morphometry in reading-disabled twins. *Neurology*, *53*(4), 723–729. <https://doi.org/10.1212/wnl.53.4.723>
- Pennington, B. F., & Lefly, D. L. (2001). Early Reading Development in Children at Family Risk for Dyslexia. *Child Development*, *72*(3), 816-33. doi: 10.1111/1467-8624.00317.
- Pennington, B. F., McGrath, L. M., Rosenberg, J., Barnard, H., Smith, S. D., Willcutt, E. G., & Olson, R.K. (2009). Gene × environment interactions in reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Developmental Psychology*, *45*, 77–89.
- Pernet, C., Andersson, J., Paulesu, E., & Demonet, J. F. (2009). When all hypotheses are right: a multifocal account of dyslexia. *Human brain mapping*, *30*(7), 2278–92. <https://doi.org/10.1002/hbm.20670>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *Lancet*, *379*(9830), 1997–2007. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60198-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60198-6)
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2015). Developmental dyslexia. *Annual review of clinical psychology*, *11*, 283-307.
- Petersson, K. M., Silva, C., Castro-Caldas, A., Ingvar, M., & Reis, A. (2007). Literacy: a cultural influence on functional left–right differences in the inferior parietal cortex. *European Journal of Neuroscience*. *26* (3), 791-99.
- Pickering, S. J. (2006). *Working Memory and Education*. New York: Academic Press.
- Plakas, A., van Zuijen, T., van Leeuwen, T., Thomson, J. M., & van der Leij, A. (2013). Impaired non-speech auditory processing at a pre-reading age is a risk-factor for dyslexia but not a predictor: an ERP study. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *49*(4), 1034–1045. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.02.013>

- Plaza, M., Cohen, H., & Chevrie-Muller, C. (2002). Oral language deficits in dyslexic children: weaknesses in working memory and verbal planning. *Brain & Cognition*, *48*, 505-512
- Prado C., Dubois M., & Valdois S. (2007). The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision Research*, *47*, 2521-30. [10.1016/j.visres.2007.06.001](https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.06.001)
- Prados Carrasco, F., Cardoso, M. J., Burgos, N., Wheeler-Kingshott, C. A. M., & Ourselin, S. (2016). *NiftyWeb: web based platform for image processing on the cloud*. International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM).
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J.,... & Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of communication disorders*, *34*(6), 479–492. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(01\)00060-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(01)00060-0)
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Fulbright, R. K.,... & Gore, J. C. (2000). The angular gyrus in developmental dyslexia: task-specific differences in functional connectivity within posterior cortex. *Psychological science*, *11*(1), 51–56. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00214>
- Rae, C., Lee, M. A., Dixon, R. M., Blamire, A. M., Thompson, C. H., Styles, P.,... & Stein, J. F. (1998). Metabolic abnormalities in developmental dyslexia detected by 1H magnetic resonance spectroscopy. *Lancet*, *351*(9119), 1849–52. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)99001-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)99001-2)
- 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*, 434–452. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.08.001>

- Ramus, F., Marshall, C. R., Rosen, S., & van der Lely, K. J. H. (2013). Phonological Deficits in Specific Language Impairment and Developmental Dyslexia: Towards a Multidimensional Model. *Brain*, 136(2), 630-45. doi: 10.1093/brain/aws356.
- Ramus, F., Pidgeon, E., & Frith, U. (2003a). The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 44(5), 712–722. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00157>
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003b). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain: a journal of neurology*, 126(Pt 4), 841–865. <https://doi.org/10.1093/brain/awg076>
- Raschle, N.M., Chang, M., & Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage* 57(3), 742–749. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.05520884362>.
- Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science*, 2, 31-74.
- Regtvoort A. G.F. M., & Van Der Leij A. (2007). Early intervention with children of dyslexic parents: Effects of computer-based reading instruction at home on literacy acquisition. *Learning and Individual Differences*, 17, 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.01.005>
- Reiter, A., Tucha, O., & Lange, K. W. (2005). Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*, 11(2), 116-131. doi: 10.1002/dys.289
- Richardson, U., Leppänen, P. H. T., Leiwo, M., & Lyytinen, H. (2003). Speech perception of infants with high familial risk for dyslexia differ at the age of 6 months. *Developmental Neuropsychology*, 3, 385–397.

- Richardson, F. M., & Price, C. J. (2009). Structural MRI studies of language function in the undamaged brain. *Brain structure & function*, 213(6), 511–523. <https://doi.org/10.1007/s00429-009-0211-y>
- 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. <https://doi.org/10.1002/hbm.20752>
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2011). Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *NeuroImage*, 56(3), 1735–1742. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.040>
- 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. <https://doi.org/10.1002/hbm.22127>
- Richlan, F., Sturm, D., Schurz, M., Kronbichler, M., Ladurner, G., & Wimmer, H. (2010). A common left occipito-temporal dysfunction in developmental dyslexia and acquired letter-by-letter reading? *PloS one*, 5(8), e12073. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012073>
- Rimrodt, S. L., Peterson, D. J., Denckla, M. B., Kaufmann, W. E., & Cutting, L. E. (2010). White matter microstructural differences linked to left perisylvian language network in children with dyslexia. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 46(6), 739–749. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.07.008>
- Riva, D., Nichelli, F., & Devoti, M. (2000). Developmental aspects of verbal fluency and confrontation naming in children. *Brain and language*, 71(2), 267–284. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2166>
- Robichon, F., & Habib, M. (1998). Abnormal callosal morphology in male adult dyslexics: Relationships to handedness and phonological abilities. *Brain and Language*, 62(1), 127–146. <https://doi.org/10.1006/brln.1997.1891>

- Rockland, K. S., & Pandya, D. N. (1986). Topography of occipital lobe commissural connections in the rhesus monkey. *Brain research*, 365(1), 174–178. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(86\)90736-5](https://doi.org/10.1016/0006-8993(86)90736-5)
- Rodrigo, M., Jiménez, J. E., García, E., Díaz, A., Ortiz, M. R., Guzmán, R., ... & Hernández, S. (2004). Valoración del procesamiento ortográfico en niños españoles con dislexia: El papel de las unidades léxicas y subléxicas. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 2(2), 105-126.
- Ruiz, J. P., Lassault, J., Sprenger-Charolles, L., Richardson, U., Lyytinen, H., & Ziegler, J. C. (2017). GraphoGame: un outil numérique pour enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture. *A.N.A.E.*, 148, 333-43.
- Rumsey, J. M., Casanova, M., Mannheim, G. B., Patronas, N., De Vaughn, N., ... & Aquino, T. (1996). Corpus callosum morphology, as measured with MRI, in dyslexic men. *Biological psychiatry*, 39(9), 769–775. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(95\)00225-1](https://doi.org/10.1016/0006-3223(95)00225-1)
- Saine, N. L., Lerkkanen, M. K., Ahonen, T., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2010). Predicting word-level reading fluency outcomes in three contrastive groups: Remedial and computer-assisted remedial reading intervention, and mainstream instruction. *Learning and Individual differences*, 20(5), 402-414.
- Saine, N. L., Lerkkanen, M-K, Ahonen, T., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2011). Computer-Assisted Remedial Reading Intervention for School Beginners at Risk for Reading Disability. *Child Development*, 82(3): 1013–28. doi: 10.1111/j.1467-8624.2011.01580.x.
- Sandak, R., Mencl, W. E., Frost, S. J., & Pugh, K. R. (2004). The Neurobiological Basis of Skilled and Impaired Reading: Recent Findings and New Directions. *Scientific Studies of Reading*, 8(3), 273-92. https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0803_6

- Saygin, Z. M., Norton, E. S., Osher, D. E., Beach, S. D., Cyr, ... & Gabrieli, J. D. (2013). Tracking the roots of reading ability: white matter volume and integrity correlate with phonological awareness in prereading and early-reading kindergarten children. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(33), 13251–13258. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4383-12.2013>
- Savage, R. S., Frederickson, N., Goodwin, R., Patni, U., Smith, N., & Tuersley, L. (2005). The relationship among rapid digit naming, phonological processing, motor automaticity and speech perception in poor average and good readers and spellers. *Journal of Learning Disabilities*, 38, 12–28.
- Scammacca, N. K., Roberts, G., Vaughn, S., & Stuebing, K. K. (2015). A Meta-Analysis of Interventions for Struggling Readers in Grades 4-12: 1980-2011. *Journal of learning disabilities*, 48(4), 369–390. <https://doi.org/10.1177/0022219413504995>
- Scanlon, D. M., & Vellutino, F. R. (1997). Instructional influences on early reading success. *Perspectives. The International Dyslexia Association*, 23, 35-37.
- Scarborough, H. S. (1998). Early Identification of Children at Risk for Reading Disabilities: Phonological Awareness and Some Other Promising Predictors. In B. K. Shapiro, P. J. Accardo, & A. J. Capute (Eds.), *Specific Reading Disability: A View of the Spectrum* (pp. 75-119). Timonium, MD: York Press.
- Scarborough, H. S., & Dobrich, W. (1990). Development of Children with Early Language Delay. *Journal of Speech, Language and Hearing research*. 33(1), 70-83.
- Scerri, T. S., & Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European child & adolescent psychiatry*, 19(3), 179–197. <https://doi.org/10.1007/s00787-009-0081-0>

- Schatschneider, C., Fletcher, J. Francis, D., Carlson, C., & Foorman, B. (2004). Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psychology, 96*, 265-282. 10.1037/0022-0663.96.2.265.
- Schneider, K. A. (2011). Subcortical mechanisms of feature-based attention. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 31*(23), 8643-8653.
- Schneider, W., Roth, E., & Ennemoser, M. (2000). Training phonological skills and letter knowledge in children at risk for dyslexia: A comparison of three kindergarten intervention programs. *Journal of Educational Psychology, 92*(2), 284.
- Schneider, K. A., & Kastner, S. (2009). Effects of sustained spatial attention in the human lateral geniculate nucleus and superior colliculus. *Journal of Neuroscience, 29*(6), 1784-1795.
- Schurz, M., Wimmer, H., Richlan, F., Ludersdorfer, P., Klackl, J., & Kronbichler, M. (2015). Resting-State and Task-Based Functional Brain Connectivity in Developmental Dyslexia. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991), 25*(10), 3502–3514. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu184>
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature neuroscience, 12*(11), 1370-1371.
- Serniclaes, W., & Luque, J. L. (2011). Avances en la investigación sobre la dislexia evolutiva: diversidad, especificidad e intervención. *Escritos de Psicología, 4*(2), 1-4. DOI: 10.5231/psy.writ.2011.1307
- Serrano, F., & Defior, S. (2008). Dyslexia speed problems in a transparent orthography. *Annals of Dyslexia, 58*(1), 81. doi: 10.1007/s11881-008-0013-6

- Serrano, F., Defior, S., & Jiménez-Fernández, G. (2005). Evolución de la relación entre conciencia fonológica y lenguaje escrito en niños españoles de primer curso de Educación Primaria. *Iberpsicología. Anales de la Revista de Psicología General y Aplicada*, 10 (3), 15.
- Seymour, P. H., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94 (2), 143-74. <https://doi.org/10.1348/000712603321661859>
- Seymour, P. H. K., & Evans, H. M. (1999). Foundation-level dyslexia: Assessment and treatment. *Journal of Learning Disabilities*, 32(5), 394-405. DOI:10.1177/002221949903200505
- Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: The sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55, 151–218.
- Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia: A new and complete science-based program for reading problems at any level*. Alfred A. Knopf.
- Shaywitz, B. A., Lyon, G. R., & Shaywitz, S. E. (2006). The role of functional magnetic resonance imaging in understanding reading and dyslexia. *Developmental neuropsychology*, 30(1), 613–632. https://doi.org/10.1207/s15326942dn3001_5
- Shaywitz, B. A., & Shaywitz, S. E. (2005). Dyslexia. *Biol Psychiatry*, 57(11), 1301-9. doi: 10.1016/j.biopsych.2005.01.043
- Shaywitz, B. A, Shaywitz, S. E., Pugh, R. K., Mencl, W. E., Fullbright, R. K., Skudlasrki, P., ... & Gore J C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*. 52(2). 101-10. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(02\)01365-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01365-3)

- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P.,... & Gore J C. (2004) Development of Left Occipitotemporal Systems for Skilled Reading in Children After a Phonologically-Based Intervention. *Biological Psychiatry*, 55(9), 926–33. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.12.019>
- Siegel, L.S. (2003). Basic cognitive processes and reading disabilities. En Swanson, H. L., Harris, K. R. & Graham, S. (Eds.), *Handbook of learning disabilities* (pp. 158-181). Nueva York: Guilford Press.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child development*, 60(4), 973–980. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1989.tb03528.x>
- Silani, G., Frith, U., Demonet, J. F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., Frith, C. D. & Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study. *Brain: a journal of neurology*, 128(Pt 10), 2453–2461. <https://doi.org/10.1093/brain/awh579>
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000). Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: a magnetic source imaging approach. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 10(8), 809–816. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.8.809>
- Simos, P. G., Fletcher, J. M., Bergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., Davis, R. N., Fitzgerald, M., & Papanicolaou, A. C. (2002). Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology*, 58(8), 1203–1213. <https://doi.org/10.1212/wnl.58.8.1203>

- 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. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.4.485>
- Skeide, M. A., Kumar, U., Mishra, R. K., Tripathi V. N., Guleria, A. Singh,... & Huettig, F. (2017). Learning to read alters cortico-subcortical cross-talk in the visual system of illiterates. *Science Advances, 3* (5), e1602612. DOI:10.1126/sciadv.1602612
- Smith-Spark, J. H., Henry, L., Messer, D. J., & Zięcik, A. P. (2017). Verbal and non-verbal fluency in adults with developmental dyslexia: Phonological processing or executive control problems?. *Dyslexia, 23*(3), 234-250.
- Snow, C. E., Burns, M. S., & Griffin, P. (1998). *Preventing reading difficulties in young children*. Washington, DC: National Academy Press,
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Snowling, M., Bishop, D. V., & Stothard, S. E. (2000). Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 41*(5), 587–600. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00651>
- Snowling, M. J., Gallagher, A., & Frith, U. (2003). Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. *Child development, 74*(2), 358–373. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.7402003>
- Snowling, M., & Hulme, C. (2011). Evidence-based interventions for reading and language difficulties: Creating a virtuous circle. *The British Journal of Educational Psychology, 81*, 1-23. [10.1111/j.2044-8279.2010.02014.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2010.02014.x).
- Snowling, M. J., & Hulme, C. (2012). Interventions for children's language and literacy difficulties. *International journal of language & communication disorders, 47*(1), 27–34. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00081.x>

- Snowling, M. J., Nash, H. M., Gooch, D. C., Hayiou-Thomas, M. E., & Hulme, C., & Wellcome Language and Reading Project Team (2019). Developmental Outcomes for Children at High Risk of Dyslexia and Children With Developmental Language Disorder. *Child development, 90*(5), e548–e564. <https://doi.org/10.1111/cdev.13216>
- Snowling, M.J., & Stackhouse, J. (2008). *Dyslexia, speech and language. A practitioner's handbook* (2nd edition). London: Whurr publishers.
- Speece, D. L., Cooper, D. H., & Roth, F.P. (2002). A Longitudinal Analysis of the Connection Between Oral Language and Early Reading. *The Journal of Education Research, 95*(5), 259-272.
- Sprenger-Charolles, L., & Serniclaes, W. (2003). Acquisition de la lecture et de l'écriture et dyslexie : revue de la littérature. *Révue Française de Linguistique Appliquée, 8*, 63-90. <https://doi.org/10.3917/rfla.081.0063>
- Stanberry, L. I., Richards, T. L., Berninger, V. W., Nandy, R. R., Aylward, E. H., ... & Cordes, D. (2006). Low-frequency signal changes reflect differences in functional connectivity between good readers and dyslexics during continuous phoneme mapping. *Magnetic resonance imaging, 24*(3), 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2005.12.006>
- Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). The phenotypic performance profile of reading disabled children: a regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology, 86*, 24-53.
- Stark, R. E., Bernstein, L. E., Condino, R., Bender, M., Tallal, P., & Catts, H. (1984). Four-year follow-up study of language impaired children. *Annals of dyslexia, 34*, 49-68.
- Stanovich, K. E., Siegel, L. S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology, 89*, 114-127.

- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36
- Stein, J., & Fowler, M. S. (1981). Visual dyslexia. *Trends Neuroscience*, 1, 77-80.
- Steinbrink, C., Vogt, K., Kastrup, A., Müller, H. P., Juengling, F. D., Kassubek, J., & Riecker, A. (2008). The contribution of white and gray matter differences to developmental dyslexia: insights from DTI and VBM at 3.0T. *Neuropsychologia*, 46(13), 3170–3178. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.015>
- Strauss, E., Sherman E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A Compendium of Neuropsychological Tests. Administration, Norms and Commentary*, Third Edition. Oxford Univ Press
- Suárez, P.M., García, M., & Cuetos, F. (2013). Variables predictoras de la lectura y la escritura en castellano. *Infancia y Aprendizaje*, 36, 77–89. doi: 10.1174/021037013804826537
- Suárez-Coalla, P., Avdyli, R., & Cuetos, F. (2014). Influence of context-sensitive rules on the formation of orthographic representations in Spanish dyslexic children. *Frontiers in Psychology*, 5(1409), 1-7 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01409>
- Suárez-Coalla, P., & Cuetos, F. (2012). Reading strategies in Spanish developmental dyslexics. *Annals of dyslexia*, 62(2), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s11881-011-0064-y>
- Suggate, S. P. (2010). Why what we teach depends on when: grade and reading intervention modality moderate effect size. *Developmental Psychology*, 46(6): 1555-79 doi: 10.1037/a0020612.

- Suggate S. P. (2016). A Meta-Analysis of the Long-Term Effects of Phonemic Awareness, Phonics, Fluency, and Reading Comprehension Interventions. *Journal of learning disabilities*, 49(1), 77–96. <https://doi.org/10.1177/0022219414528540>
- Swanson, H. L. (1999). Reading comprehension and working memory in learning-disabled readers: Is the phonological loop more important than the executive system? *Journal of Experimental Child Psychology*, 72, 1–31.
- Tallal P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain Language*, 9, 182-98.
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 27–47. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb22957.x>
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11(4), 389–398. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(73\)90025-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(73)90025-0)
- Tamboer, P., Scholte, H. S., & Vorst, H. C. (2015). Dyslexia and voxel-based morphometry: correlations between five behavioural measures of dyslexia and gray and white matter volumes. *Annals of dyslexia*, 65(3), 121–141. <https://doi.org/10.1007/s11881-015-0102-2>
- Taylor, J.S. H., Rastle, K., & Davis, M. H. (2013). Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 139(4), 766-91. <https://doi.org/10.1037/a0030266>
- Temple, E. (2002). Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current opinion in neurobiology*, 12(2), 178–183. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(02\)00303-3](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(02)00303-3)

- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M., & Gabrieli, J. D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(5), 2860–2865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0030098100>
- Temple, C. M., Jeeves, M. A., & Vilarroya, O. (1990). Reading in callosal agenesis. *Brain and language*, *39*(2), 235–253. [https://doi.org/10.1016/0093-934x\(90\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0093-934x(90)90013-7)
- Terras, M. M., Thompson, L. C., & Minnis, H. (2009). Dyslexia and psychosocial functioning: an exploratory study of the role of self-esteem and understanding. *Dyslexia*, *15*(4), 304-27.
- Torgesen, J. K. (2000). Individual differences in response to early interventions in reading: The lingering problem of treatment resisters. *Learning Disabilities Research & Practice*, *15*, 55–64.
- Torgesen, J. K. (2006) in *The Science of Reading: A Handbook*, M. Snowling, C. Hulme, Eds. (chap. 27) (Malden, MA: Blackwell Publishing).
- Torgesen, J. K., Alexander, A. W., Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Voeller, K. K. S., & Conway, T. (2001). Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities: Immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities*, *34*(1), 33-58. <https://doi.org/10.1177/002221940103400104>
- Torgesen, J. K., & Burgess, S. R. (1998). Consistency of reading-related phonological processes throughout early childhood: Evidence from longitudinal-correlational and instructional studies. In: Metsala J.L. & Ehri L. C., editors. *Word recognition in beginning literacy*. Lawrence Erlbaum; Mahwah, N. J. 161–88.

- Torgersen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (1994). Longitudinal Studies of Phonological Processing and Reading. *Journal of Learning Disabilities*, 27(5), 276-86. <https://doi.org/10.1177/002221949402700503>
- Togersen J. K, Wagner R. K., Rashotte C. A., Herron J., & Lindamood P. (2010). Computer-assisted instruction to prevent early reading difficulties in students at risk for dyslexia: Outcomes from two instructional approaches. *Annals of Dyslexia*, 60(1), 40-56. doi: 10.1007/s11881-009-0032-y.
- Torgesen, J., Wagner, R., Rashotte, C., Rose, E., Lindamood, P., Conway, T., & Garvan, C. (1999). Preventing reading failure in young children with phonological processing disabilities: Group and individual responses to instruction. *Journal of Educational Psychology*, 91, 579-93. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.579>
- Tokuhamas-Espinosa, T., & Rivera, G. M. (2013). *Estudio del arte sobre conciencia fonológica*. CEEC/SICA.
- Tressoldi, P. E., Stella, G., & Faggella, M. (2001). The development of reading speed in Italians with dyslexia: a longitudinal study. *Journal of learning disabilities*, 34(5), 414–417. <https://doi.org/10.1177/002221940103400503>
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6 (7), 767-773.
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia*, 10(4), 339–363.
- van der Mark, S., Klaver, P., Bucher, K., Maurer, U., Schulz, E.,... & Brandeis, D. (2011). The left occipitotemporal system in reading: disruption of focal fMRI connectivity to left inferior frontal and inferior parietal language areas in children with dyslexia. *NeuroImage*, 54(3), 2426–2436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.002>

- Vandermosten, M., Boets, B., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2012). A qualitative and quantitative review of diffusion tensor imaging studies in reading and dyslexia. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 36(6), 1532–1552. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.04.002>
- Vandermosten, M., Hoeft, F., & Norton, E. S. (2016). Integrating MRI brain imaging studies of pre-reading children with current theories of developmental dyslexia: A review and quantitative meta-analysis. *Current opinion in behavioral sciences*, 10, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.06.007>
- Vanderauwera, J., Wouters, J., Vandermosten, M., & Ghesquière, P. (2017). Early dynamics of white matter deficits in children developing dyslexia. *Developmental cognitive neuroscience*, 27, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.08.003>
- Varvara, P., Varuzza, C., Sorrentino, A. C., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 120. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00120>
- Vaughn, S., Denton, C. A., & Fletcher, J. M. (2010). Why intensive interventions are necessary for students with severe reading difficulties. *Psychology in the schools*, 47(5), 432–444. <https://doi.org/10.1002/pits.20481>
- Vellutino, F.R., Scanlon, D.M., & Lyon, G.R. (2000). Differentiating between difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: More evidence against the IQ–achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 223–238.
- Vidyasagar T. R. (2013). Reading into neuronal oscillations in the visual system: implications for developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 811. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00811>

- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in cognitive sciences*, *14*(2), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- Vigostky, L. (1978). *La mente en la sociedad: el desarrollo de las funciones psicológicas superiores*. Harvard University Press: Cambridge.
- Vikingstad, E. M., Cao, Y., Thomas, A. J., Johnson, A. F., Malik, G. M., & Welch, K. M. (2000). Language hemispheric dominance in patients with congenital lesions of eloquent brain. *Neurosurgery*, *47*(3), 562–570. <https://doi.org/10.1097/00006123-200009000-00004>
- Vinckenbosch, E., Robichon, F., & Eliez, S. (2005). Gray matter alteration in dyslexia: converging evidence from volumetric and voxel-by-voxel MRI analyses. *Neuropsychologia*, *43*(3), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.023>
- von Plessen, K., Lundervold, A., Duta, N., Heiervang, E., Klauschen, F.,... & Hugdahl, K. (2002). Less developed corpus callosum in dyslexic subjects--a structural MRI study. *Neuropsychologia*, *40*(7), 1035-44. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(01\)00143-9](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(01)00143-9)
- Waechter, S., Besner, D., & Stolz, J. A. (2011). Basic processes in reading: Spatial attention as a necessary preliminary to orthographic and semantic processing. *Visual cognition*, *19*(2), 171-202.
- Wang, Y., Mauer, M. V., Raney, T., Peysakhovich, B., Becker, B., Sliva, D. D., & Gaab, N. (2017). Development of Tract-Specific White Matter Pathways During Early Reading Development in At-Risk Children and Typical Controls. *Cerebral cortex (New York, N.Y: 1991)*, *27*(4), 2469–2485. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw095>
- Wanzek, J., & Vaughn, S. (2007). Research-Based Implications from Extensive Early. *School Psychology Review*, *36* (4), 541-61.

- Wanzhek, J., Vaughn, S., Nancy K. Scammacca, N. K., Metz, K., Murray, C. S.,... & Danielson, L. (2013). Extensive Reading Interventions for Students With Reading Difficulties After Grade. *Review of educational research, 83* (2): 163-95. doi.org/10.3102/0034654313477212
- Wechsler, D. (2005). WISC-IV: Escala de Inteligencia Wechsler para niños IV. Madrid: TEA Ediciones.
- What Works Clearinghouse (2010). Lindamood phoneme sequencing (LIPS). Washington: U.S. Department of Education.
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: differences by gender and subtype. *Journal Learning Disabilities, 33*, 179-91.
- Wimmer, H. (1993). Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics, 14*, 1-33.
- Wimmer, H., & Mayringer, H. (2001). Is the reading-rate problem of German dyslexic children caused by slow visual processes?. In *Dyslexia, fluency, and the brain* (pp. 93-102). Timonium: York Press.
- Wise, J. C., Pae, H. K., Wolfe, C. B., Sevcik, R. A., Morris, R. D., Lovett, M., & Wolf, M. (2008). Phonological awareness and rapid naming skills of children with reading disabilities and children with reading disabilities who are at risk for mathematics difficulties. *Learning Disabilities Research & Practice, 23*(3), 125-136.
- Wise, B., Ring, J., & Olson, R.K. (1999). Training Phonological Awareness with and without Explicit Attention to Articulation. *Journal of Experimental Child Psychology, 72*, 271–304. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2490>
- Wise, B. W., Ring, J., & Olson, R. K. (2000). Individual Differences in Gains from Computer-Assisted Remedial Reading. *Journal of Experimental Child Psychology, 77*, 197-235. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2559>

- Witelson, S. F. (1989). Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum. A postmortem morphological study. *Brain*, *112* (Pt 3):799-835. doi:10.1093/brain/112.3.799
- Wolf, M. (2008). *Cómo aprendemos a leer: Historia y ciencia del cerebro y la lectura*. (1ª ed). Barcelona. Edicions B.
- Wolff, U. (2014). RAN as a predictor of reading skills, and vice versa: results from a randomised reading intervention. *Annals of Dyslexia*, *64*, 151-165. DOI 10.1007/s11881-014-0091-6
- Wolf, M. & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexia. *Journal of Educational Psychology*, *91*, 415–438.
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (2000). The question of naming-speed deficits in developmental reading disability: An introduction to the Double-Deficit hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, *33*, 322-324
- Wolf, M., & Denckla, M. B. (2005). *Rapid Automatized Naming and Rapid Alternating Stimulus Tests (RAN/RAS)*. Austin, TX: PRO-ED.
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *J. Educational Psychology*, *105*, 249–65. doi: 10.1037/a0031311
- Yang, Y. H., Yang, Y., Chen, B. G., Zhang, Y. W., & Bi, H. Y. (2016). Anomalous Cerebellar Anatomy in Chinese Children with Dyslexia. *Frontiers in psychology*, *7*, 324. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00324>
- Yeshurun, Y., & Rashal, E. (2010). Precueing attention to the target location diminishes crowding and reduces the critical distance. *Journal of vision*, *10*(10), 16-16.

- Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature neuroscience*, *15*(4), 528-536.
- Ziegler, J. C., Castel, C., Pech-Georgel, C., George, F., Alario, F-X., & Perry, C. (2008). Developmental dyslexia and the dual route model of reading: Simulating individual differences and subtypes. *Cognition*, *107*, 151-78. doi:10.1016/j.cognition.2007.09.004
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, *131*(1), 3-29.

Annex

8. Annex

8.1. Annex 1. Autorització del Comitè d'Ètica



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Gestió de la Recerca

Pavelló Rosa (recinte Maternitat)
primer pis
Travessera de les Corts, 131-159
08028 Barcelona
Tel. 93 403 53 95 - 93 403 53 97
Fax (34) 93 403 54 00
g.recerca@ub.edu
www.ub.es/ogrc/ogrc.htm

Comisión de Bioética
de la Universitat de Barcelona

Certificado de aprobación
Sobre experimentación en humanos o en muestras de origen humano

Don Albert Royes Qui, Secretario de la Comisión de Bioética de la Universitat de Barcelona.

CERTIFICA:

Que el Dr. **Josep Maria Serra Grabulosa** presentó el proyecto titulado "Plasticitat cerebral associada a la intervenció fonològica intensiva en nens amb dificultats lectores. Evidència per ressonància magnètica cerebral".

La Comisión de Bioética de la Universitat de Barcelona analizó toda la documentación presentada por el Dr. **Josep Serra Grabulosa** y, por acuerdo de fecha 18 de febrero de 2014, aprobó informar **favorablemente** desde el punto de vista bioético el proyecto de investigación de referencia.

Y para que conste y a los efectos que corresponda, firmo este documento con el visto bueno del presidente de la Comisión en Barcelona a 18 de febrero de 2014.

Vº Bº El presidente de la Comisión de Bioética
de la Universitat de Barcelona

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Oficina de Gestió
de la Recerca

Jordi Alberch Viè

Institutional Review Board (IRB00003099)

8.2. Annex 2. Full d'informació de l'estudi per a les famílies



Benvolguts/des,

Ens adrecem a vosaltres per convidar el vostre fill/a a participar en l'estudi "**Plasticitat cerebral associada a la intervenció fonològica intensiva en nens amb dificultats lectores. Evidència per ressonància magnètica cerebral**" que desenvolupen de manera coordinada l'Hospital Sant Joan de Déu, l'IDIBAPS i la Universitat de Barcelona, amb el suport econòmic del Ministeri d'Educació i Ciència (antic Ministeri de Ciència i Innovació). Aquest projecte també rep el suport de l'Ajuntament de la Seu d'Urgell, la Fundació Sant Hospital de la Seu d'Urgell i el Centre Pediatria dels Pirineus.

La dislèxia és un trastorn específic de l'aprenentatge de la lectura, amb una base neurobiològica, que es caracteritza per una dificultat en el reconeixement i descodificació de paraules, poca fluïdesa lectora i problemes ortogràfics. És una trastorn en el que les dificultats de lectura contrasten amb el rendiment normal en altres capacitats, amb el grau de motivació i amb l'escolarització.

Els mecanismes cerebrals responsables d'aquesta alteració encara es desconeixen avui en dia. És per això que ens plantejem avaluar els canvis cerebrals associats a l'èxit de la intervenció de lectura aplicada a escolar de cycle inicial amb dificultats de lectura. Per això demanem la participació de nens i nenes **d'entre 6 i 8 anys** amb problemes de lectura i de nens i nenes de la mateixa edat que no presentin aquestes alteracions, per tal de poder tenir una referència. Us encoratgem a què el vostre fill/a participi en l'estudi, ja que aquesta investigació contribuirà de forma molt notable al coneixement i el tractament d'aquestes dificultats, amb la intenció que els nens i nenes que les pateixen podran rebre millor atenció.

Si desitgeu formar-ne part, al vostre fill/a se li realitzarà una **exploració neuropsicològica** completa i una **ressonància magnètica**. El nostre equip fa anys que ve emprant aquesta tècnica per a l'estudi del funcionament cerebral perquè ofereix dos avantatges molt importants. En primer lloc, permet l'adquisició d'imatges en molt poc temps i amb molt bona resolució. En segon lloc i més important, és una tècnica no invasiva i totalment innòcua, ja que no usa radiacions ionitzants. Al final de l'estudi, se us lliuraran els informes resultants, en els quals es destacaran els punts forts i febles de les diferents funcions cognitives estudiades així com un informe del servei de radiologia de l'Hospital Clínic de Barcelona.

Si esteu interessats en rebre més informació sobre l'estudi, us demanem que autoritzeu l'escola a facilitar-nos un telèfon de contacte i ens adreçarem a vosaltres per tal de donar-vos qualsevol informació que desitgeu:
(telèfon/email: 630483592 jmserra@ub.edu / 653235958 s.forne@saine.cat).

Cordialment,

Dr. Josep M Serra Grabulosa
Investigador principal del projecte
Departament de Psiquiatria i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona.

8.3. Annex 3. Consentiment informat i autorització



REVISIÓ DE DOCUMENTS ORIGINALS, CONFIDENCIALITAT I PROTECCIÓ DE DADES DE CARÀCTER PERSONAL

Vostè comprèn i consent, en nom propi o en representació del menor, que:

Amb la finalitat de garantir la fiabilitat de les dades recollides en aquest estudi, serà precís que els promotors de l'estudi i eventualment els membres del Comitè Ètic d'investigació Clínica, tinguin accés a la seva història clínica, o a la del seu representat, comproment-se a la més estricta confidencialitat.

D'acord amb la llei 15/1999 de Protecció de Dades de Caràcter Personal les dades personals que se li requereixen (ex: edat, sexe, dades de salut) són necessàries per cobrir els objectius de l'estudi. En cap dels informes de l'estudi apareixerà el nom del pacient/voluntari ni la seva identitat serà revelada a cap persona excepte per complir amb les finalitats de l'estudi, així com també en el cas de requeriment legal. Qualsevol informació de caràcter personal que pugui ser identificable serà conservada i processada per medis informàtics sota condicions de seguretat pels promotors o per una institució designada per ella, amb el propòsit de determinar els resultats de l'estudi. L'accés a aquesta informació quedarà restringit al personal dels promotors designat a l'efecte o a altre personal autoritzat, que estarà obligat a mantenir la confidencialitat de la informació. Els resultats de l'estudi podran ser comunicats a les autoritats sanitàries, i a la comunitat científica a través de congressos i/o publicacions.

Les dades podran ser també utilitzades amb altres finalitats de caràcter científic. Si les seves dades són utilitzades per altres objectius, primer es dissociaran, és a dir, tota la informació que permeti identificar a la persona s'eliminarà i només es processarà de manera que no es pugui conèixer la seva identitat. D'acord amb la llei vigent vostè té dret a l'accés de les seves dades personals, modificació, oposició i cancel·lació. Si així ho desitja, haurà de sol·licitar-ho al professional que l'atengui en aquest estudi. Així mateix, davant de qualsevol eventualitat que pugui sorgir mentre estigui participant en aquest estudi o per qualsevol pregunta sobre el mateix que desitgi realitzar després de llegir aquest document si us plau dirigeixi's a:

Dr/a o Professional...Josep M Serra Grabulosa / Susanna Forné González

Telèfon/e-mail: 630483592 jmserra@ub.edu / 653235958 s.forne@saine.cat

Se li entregarà còpia d'aquesta informació i del consentiment firmat i datat.

CONSENTIMENT INFORMAT PER A LA PARTICIPACIÓ EN EL PROJECTE

“Plasticitat cerebral associada a la intervenció fonològica intensiva en nens amb dificultats lectores. Evidència per ressonància magnètica cerebral”

En el supòsit que el pacient sigui un menor d'edat, i aquest no pugui comprendre ni intel·lectual ni emocionalment l'abast de l'estudi, el consentiment l'haurà de donar el seu representant legal, tal i com ho preveu l'article 9.3, apartat c, de la *Llei 41/2002, de 14 de novembre, bàsica reguladora de l'autonomia del pacient i dels drets i obligacions en matèria d'informació i documentació clínica*. En el cas que el menor tingui 12 anys complerts, se n'haurà d'escoltar la seva opinió. Els menors emancipats o, els que tinguin setze anys complerts, han de prestar el consentiment directament, no sent possible el consentiment per representació.

Jo, (nom i cognoms)

.....

Com a representant legal del menor (si s'escau, posar la relació amb el menor)

.....

- He llegit aquest full d'informació que se m'ha entregat.
- He pogut fer preguntes sobre l'estudi.
- He rebut suficient informació sobre l'estudi.
- He parlat amb el Dr/a o professional (nom i cognoms)

.....

- Comprenc que la meua participació és voluntària
- Comprenc que puc retirar-me de l'estudi:

- 1- Quan vulgui
- 2- Sense haver de donar explicacions
- 3- Sense que això repercuteixi en el meu tractament mèdic

Dono lliurement la meua conformitat per participar en aquest estudi.

Firma del participant..... Data: ../...../..... DNI:.....
(o del representant legal)

Firma de l'investigador..... Data: ../...../.....
(persona que sol·licita el consentiment)



FULL D'AUTORITZACIÓ

En/Na.....com a
pare/mare/tutor/a de l'alumne/a.....
autoritza l'escola a proporcionar el nom i el número de telèfon als responsables de l'estudi
**"Plasticitat cerebral associada a la intervenció fonològica intensiva en nens amb
dificultats lectores. Evidència per ressonància magnètica cerebral"** desenvolupat per
l'Hospital Sant Joan de Déu i la Universitat de Barcelona, amb l'única finalitat de rebre
informació sobre el mateix.

Data i lloc

Signatura

8.4. Annex 4. Publicació en revisió associada a la tesi

Article acceptat en revisió a la revista *Annals of Dyslexia*, <https://www.springer.com/journal/11881>

Improved reading skills by the application of a computerized phonological training program in early readers with reading difficulties

Susanna Forné¹, Anna López-Sala², Roger Mateu-Estivill³, Ana Adan^{3,4}, Xavier Caldú^{3,4}, Anna Mesas², Anna Sans⁵, Josep M. Serra-Grabulosa^{3,4,6}

¹Department of Psychiatry and Legal Medicine, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain

²Department of Neurology, Hospital Sant Joan de Déu, Barcelona, Spain

³Department of Clinical Psychology and Psychobiology, University of Barcelona, Barcelona, Spain

⁴Institute of Neurosciences, University of Barcelona, Barcelona, Spain

⁵Unitat de Neurodesenvolupament, Hospital Universitari Sagrat Cor, Barcelona, Spain

⁶Digital Care Research Group. University of Vic – Central University of Catalonia (UVic-UCC), Vic, Spain

Correspondence

Josep M. Serra-Grabulosa, Department of Clinical Psychology and Psychobiology, University of Barcelona, Pg. Vall d'Hebron, 171, 08035 Barcelona, Catalonia, Spain; Phone: +34 933125051 - Email: jmserra@ub.edu.

Acknowledgements

This study was supported by a grant from the Ministerio Español de Economía y Competividad (PSI2013-47216-P) to JMSG. The authors thank Dr. Josep M. Sopena for his contribution to the design of the project and also for his support in the development and implementation of the Binding method.

ORCID codes: Ana Adan (0000-0002-3328-3452), Xavier Caldú (0000-0002-0011-1339), Josep M Serra-Grabulosa (0000-0002-4291-9432).

Abstract

In the last years there has been a big effort to identify risk factors for reading difficulties and to develop new methodologies to help struggling readers. It has been shown that early intervention is more successful than late intervention, and that intensive training programs can benefit children with reading difficulties. The aim of our study is to investigate the effectiveness of an intensive computerized phonological training program designed to improve reading performance in a sample of children with reading difficulties at the early stages of their reading learning process. Thirty-two children with reading difficulties were randomly assigned to one of the two intervention groups: RDIR (children with reading difficulties following a computerized intensive remediation strategy) ($n=20$) ($7.01+0.69$ yr.), focused on training phonemic awareness, decoding and reading fluency through the computational training; and RDOR (children with reading difficulties following an ordinary remediation strategy) ($n=12$) ($6.92+0.82$ yr.), which consisted of a reinforcement of reading with a traditional training approach at school. Normal readers (NR) were assigned to the control group ($n=24$) ($7.32+0.66$ yr.). Our results indicate that both the RDIR and RDOR groups showed an increased reading performance after the intervention. However, children in the RDIR group showed a stronger benefit than the children in the RDOR group, whose improvement was weaker. The control group did not show significant changes in reading performance during the same period. In conclusion, results suggest that intensive early intervention based on phonics training, is an effective strategy to remediate reading difficulties, and that it can be used at school as the first approach to tackle such difficulties. **Keywords:** reading difficulties, remediation, dyslexia, computerized intervention, phonological training, early readers.

INTRODUCTION

Learning to read is a complex process that implies an interaction between, at least, visual, verbal and attention systems. Besides the mechanical aspects of reading, comprehension depends of how new and stored information interacts, at semantic and also at emotional levels.

In the last two decades, an effort has been made to understand the neurobiology of reading, from birth to adulthood (Dehaene, 2009; Horowitz & Hutton, 2015). As it has been shown in multiple studies, children with reading difficulties at primary school will likely continue to struggle with reading in subsequent years (Francis, Shaywitz, Stuebing, Shaywitz, & Fletcher, 1996; Juel, 1988; Torgesen & Burgess, 1998). The results of the meta-analysis of the National Reading Panel (National Institute of Child Health and Human Development, 2000), indicate the importance of having a good ability to decode in the initial phases in order to become a good reader. Specifically, in second grade, at approximately age 7, children usually transit from 'learning to read' to 'reading to learn' (Chall, 1983).

For that reason, in the last years there has been a significant effort to identify the risk factors for reading difficulties (Hulme & Snowling, 2016) and to develop new methodologies and intervention programs to help struggling readers (Fuchs & Vaughn, 2012; Snowling & Hulme, 2012; Jiménez et al., 2007). In addition to explicit phonological processing skills, including phonological awareness, reading speed and accuracy, and their predictive role in reading performance, phonological skills of an implicit nature, such as short and long term memory, working memory or quick access to stored representations are other risk factors that work as a predictive value in the acquisition of reading skills (Defior & Serrano, 2011). Other skills, such as rapid automatized naming (RAN) have been found to predict reading speed (Torppa, Lyytinen, Erskine, Eklund, & Lyytinen, 2010; Wolff, 2014) and fluency (Landerl & Wimmer, 2008). Moreover, a lower performance in verbal fluency tasks in early childhood can also be predictive of dyslexia (Moura, Simões, Pereira, 2015; Smith-Spark, Henry, Messer, & Zięcik 2017).

On the other hand, and in relation to the remediation of the reading difficulties, several studies have shown that early intervention is more successful than late intervention (Caravolas, Volin, & Hulme 2005; Gabrieli, 2009; Torgesen et al., 2001). Successful interventions promote functional changes in areas that previously were dysfunctional (see meta-analysis Barquero, Davis, & Cutting, 2014). In this sense, phonics instruction, including interventions that systematically teach letter-sound correspondences and decoding strategies, is the most researched treatment and it has shown to promote significant reading and spelling improvements in early stages of reading (Duff & Clarke 2011; Ehri, Nunes, Willows, et al., 2001; Suggate, 2010). In children and adolescents, phonics instruction has been showed to be the more effective treatment approach to reading difficulties (see Galuschka, Ise, Krick, & Schulte-Körne, 2014 for a review). The importance of the training phonological processes during childhood has also been seen in languages with transparent spelling, as in the case of Spanish (Jiménez et al., 2007; Suárez, García & Cuetos, 2013) or Finnish (Lyytinen, Erskine, Hämäläinen, Torppa, & Ronimus, 2015).

One approach for early detection and remediation of reading difficulties is the Response to Intervention (RTI) approach (Vaughn & Fuchs, 2003). Response to Intervention is a multi-tier approach for early identification and support of students with learning and behavior needs. The academic area most often targeted in schools that implement RTI models begins with reading. With the RTI approach, students are provided with evidence-based classroom reading instruction and supplemental intervention when needed; decisions related to intervention are based on student assessment data (Denton, 2012). Even though there is a lot of support for the Response to Intervention approach (Fuchs & Vaughn, 2012; Denton, 2012), in Spain, it continues to be poorly implemented (Crespo, Jiménez, Rodríguez, Baker, & Park, 2018; Jiménez, 2010). With regards to remediation interventions, it is interesting to highlight that in recent years computer-assisted training programs have been developed to remediate reading difficulties. One such program is GraphoGame (Lyytinen, Ronimus, Alanko, Poikkeus, & Taanila, 2007), which was initially developed as a technology-based intervention method to aid children with reading difficulties. Today, the game is available to all Finnish school

children as literacy support, while in a number of other countries it is as a reading instruction method, as in the case of the United Kingdom (Kyle, Kujala, Richardson, Lyytinen, and Goswami, 2013), Zambia, Kenya, Tanzania, and Namibia (Ojanen et al., 2015) or Norway (Solheim, Frijters, Lundetræ, & Uppstad, 2018). Until present, GraphoGame has been implemented in over 20 countries (see a Metanalysis in McTigue, Solheim, Zimmer, & Uppstad, 2019).

Several studies have showed that GraphoGame benefits children with reading difficulties. In one of them, children of a sample of 166 Finnish 7 year-old children at risk for reading difficulties were assigned to three intervention groups: phonics remedial reading instruction, computer-assisted reading and mainstream reading instruction (Saine et al., 2011). The children with low prereading skills who trained with the computer-assisted remedial reading intervention showed an improvement in letter knowledge, reading accuracy, fluency and spelling, and the gains were maintained 16 months after intervention. Other studies have shown similar results after applying computerized training programs (Fälth, Gustafson, Tjus, Heimann, & Svensson, 2013; Huges, Phillips, & Reed, 2013). Also, several studies have also concluded that intensive remediation strategies based on action videogames improve reading abilities and attention (Antzaka et al., 2017; Franceschini, Gori, & Facchetti, 2013; Franceschini et al., 2017). In Spain, a country where in several regions different languages are spoken in addition to the Spanish, there is two studies which showed the effectiveness of computer-assisted training programs. One of them was performed by Jiménez et al. (2007) in a sample of 83 Spanish dyslexic children aged 7.1 years to 10.6 years. Authors of this study showed that phonological training using a speech-based computer-remediation program improved word decoding in dyslexic children. Recently, another study was carried out in Catalonia, a region in North-Eastern Spain, where Catalan and Spanish are both official languages (López-Olóriz, Pina, Ballesta, Bordoy, Pérez-Zapata, 2020). Authors selected a sample of 347 children from 33 schools in which Catalan was used as a vehicular language, observing that all primary school children in 1st grade benefited from the follow-up of intensive phonological training using the Binding Method as an educational method to stimulate reading throughout the academic year. In this study, group and individual sessions were combined, and

the results showed that the experimental group (Binding group) obtained better results in reading fluency (speed and accuracy) in all tests administered, and when compared to the control group at the end of the course. However, a comparative analysis was not carried out between children with reading difficulties and the rest of the children, nor was the efficiency of the Binding Method compared to an ordinary remedial program at the participating schools.

Thus, and to our knowledge, there are no studies assessing the effects on reading and writing of an intensive computer-training program in a Catalan sample of early readers with reading difficulties. Catalan is a romance language like Spanish, French, Italian and Portuguese, which is spoken in Catalonia, with approximately 7.5 million inhabitants. Catalan is a Romance language of the Western Romance group, with features common to Ibero-Roman languages, such as morphology (especially nominal and verbal flexions), and to Galician-speaking languages (phonetics and, in part, lexicon), with much affinity to Spanish. Catalan is a language with a moderately transparent spelling. It is used to teach more than 1.5 million children (Llaurador & Tolchinsky, 2016). The Catalan vowel system has 5 letters that are represented by 8 sounds *s* /ə/, /a/, /e/, /ɛ/, /i/, /o/, /ɔ/ i /u/ and consonant phonemes, which, in many cases, do not have a direct correspondence with a grapheme. In fact, some sounds can be written five different ways. For example /b/-v or b (*veure* or *beure*), /p/- p or b (*pal* or *calb*), /g/- g or gu (*gol* or *guineu*), /t/- t or d (*pot* or *fred*), /k/- c, q or g (*casa*, *quilo* or *biòleg*), /z/-s o z (*rosa* or *zebra*), /ʃ/- x or ix (*feix* or *coixí*), /s/- s, ss, ç, c, sc (*sopa*, *cassola*, *peça*, *cirera*, *piscina*), /tʃ/- ig or –g (*faig* or *mig*), /dʒ/- tj, tg, dj (*platja*, *fetge*, *adjectiu*), among other sounds.

Thus, the aim of our study was to analyze changes in reading fluency and accuracy in a group of early readers (6-7 years old) with reading difficulties after following an intensive phonological-based computerized intervention program, Binding method, which previously have been successfully applied to increase the reading performance in early readers (López-Olóriz et al., 2020). According to this recent study and also to previous studies using computerized tools to train reading difficulties (Elbro, 1996; Hudges et al. 2013; Jiménez et al., 2007; Regtvoort & Van

der Leij, 2007; Saine et al. 2011; Wise, Ring, & Olson, 2000), and based on the fact that early phonological intervention is the most effective approach (Shaywitz et al., 2004; Suggate, 2016), we hypothesize that children with reading difficulties at the early stages of the reading learning process (6-7 years old) will improve their reading performance after an intensive computerized phonological training program.

METHODS

Participants

Participants were native Catalan or Catalan-speaking children, from urban zones and average socio-economic backgrounds, who were attending different public schools. The sample included a group of normal readers (n=24, NR group) (7.32+0.66 yr.), a group with reading difficulties who followed a digital and intensive remediation program (n=20, RDIR group) (7.01+0.69 yr.), and a third group with reading difficulties who received an ordinary remediation program (n=12, RDOR group) (6.92+0.82 yr.). The participants were randomly assigned to the RDIR or RDOR group. The control group was matched for age and gender at the beginning of the study (see table 1). Teachers did an initial selection of children with reading difficulties. After that, the selected children were assessed following a standardized protocol which included an estimation of their intelligence quotient (IQ), reading and spelling abilities, executive function, selective attention, rapid naming and switching, working memory and behavior. Six participants in the RDOR group were excluded from the final analysis for different reasons: 2 of them moved to another school after 2 and 5 weeks of training, and 4 of them were sick for a long period.

(Table 1 goes about here)

Inclusion criteria for the RDIR and RDOR groups were established by having a score below 1.5 standard deviations in at least three reading subtests. Exclusion criteria included having an IQ below 85, history of chronic disorders or mental

illness, not speaking or understanding Catalan, and having motor or sensorial deficits that could affect their neuropsychological assessment.

The research ethics committee Institutional Review Board (IRB00003099) of the University of Barcelona (Catalonia, Spain) approved the study. Written informed parental consent was obtained for each infant.

Neuropsychological assessment

All participants in the study were individually assessed before and after the training program. A trained neuropsychologist (S.F.) conducted the assessment. After the initial evaluation, the three groups started the 'intervention' period which lasted 16 weeks: the RDIR group started the phonological training; the RDOR group followed a standard reading support program at school; and normal readers did not receive any kind of intervention. After the training period, children were re-assessed using the same evaluation protocol, except for the IQ estimation.

Measures

IQ estimation. The Vocabulary subtest of WISC-IV (Wechsler, 2005) was used to obtain an estimation of verbal IQ (VIQ), and the Block design subtest to obtain an estimation of the performance IQ (PIQ).

Attention/verbal short term memory. This measure was assessed by Digit span (WISC-IV; Wechsler, 2005). The task was to repeat sequences of digits (spanning from two to eight digits) in the correct order. Each correctly repeated span was scored.

Working memory. This measure was assessed by Digit span (WISC-IV; Wechsler, 2005). The task was to repeat digits (spanning from two to eight digits) backwards in the correct order. Each correctly repeated span was scored.

Phonetic and semantic fluencies. These measures were used as an assessment of executive function and verbal fluency. First, children were asked to generate words that began with letters FAS in a 60-seconds interval per letter (total number of words was used as a measure of verbal phonetic fluency). Then, children were

asked to generate as many animal names as possible within a one-minute interval (total number of names was used as a measure of semantic verbal fluency) (Strauss, Sherman, & Spreen, 2006).

Naming speed task. Rapid automatized naming for letters and colors were used as a measure of naming speed (Wolf & Denckla 2005). The total time in seconds for naming letters and colors was registered for each child.

Reading. This measure was assessed by the standardized Catalan reading skills tests TALE-C (Cervera, Toro, Gratacós, De la Osa, & Pons, 1991) and PROLEC-R (Cuetos, Rodríguez, Ruano, & Arribas, 2007). Measures of reading speed and accuracy were obtained from the letters, syllables, words and text subtests of TALE-C, and by the pseudowords subtest of the PROLEC-R. Text comprehension was assessed by the text comprehension test of the TALE-C.

Spelling. Natural and arbitrary orthography were measured by the writing subtest of the TALE-C (Cervera et al. 1991).

Intervention

Digital and intensive remediation program

The digital and intensive remedial program was based on the application of software known as the “Binding Method.” This method was developed to help children with reading difficulties so that they acquire and improve their reading skills (Department of Basic Psychology of the University of Barcelona, in collaboration with the Josep Finestres Foundation at <http://www.ubinding.cat>). The Binding Method was developed following the Response to Intervention Model, which is intensive and based on the progress of each child (Fuchs & Fuchs, 2006; Jiménez et al., 2010). It trains in a variety of tasks. These included 1) Reading speed, with exercises in which children are asked to read syllable lists, invented or real words as quickly as possible, while measuring the effectiveness and the time it takes to do that task. 2) Phonological awareness, with tasks in which: a) children had to indicate images on a board from among those that begin with a specific letter; b) look for words from a given sound-set; c) suppress sounds; or d) invert

syllables. 3) Short-term verbal memory, with the presentation of several syllables or words that should be read aloud and once these disappeared from the screen, the children had to repeat them in sequential order. 4) Working memory, with activities in which there were also several syllables and words to be read and memorized, but only the one that appeared in a specifically requested position or with sequences of syllables where the child had to decide whether or not the new word appearing on the screen was equal to the previous one (1-back task). 5) Vocabulary, with tasks that should be noted from among a large group of both real and invented words, but they only chose real words.

The digital and intensive remediation program consisted of a 16-week intervention, 5 sessions per week, 15 minutes per session, focused on training phonemic awareness, decoding, reading fluency and verbal working memory. A special education teacher, previously instructed on how to use the training program, supervised the training sessions. The children's answers were digitally registered as "correct" or "incorrect" by the computer according to the teacher's assessment. Two psychologists (JMSG and JMSS) selected the training tasks each day according to the reading level of each child (accuracy and speed reading scores of the previous sessions) and knowing the program that has all the exercises labeled according to the complexity of the task. Accuracy was calculated from the total number of hits for each task (i.e.: good reading of the word/pseudo word). Speed reading was also calculated as well as the amount of time between the presentation of a word/pseudo word and its reading. Performance was categorized as optimal if the hits were above 75%. The two psychologists selected the training task based on the performance of each subject. Thus, only the level of difficulty was increased from a yield of 75% or higher in the previous level. Tasks were classified according to their complexity: monosyllables, bi-syllables, tri-syllables, and the combinations of vowels and consonants, depending on the probability of finding these combinations in the Catalan language.

The intervention used in the RDIR was not applied in any of the supports that the RDOR group received at school.

The children started each session performing a speech rate activity (Wise, Ring, & Olson, 1999), training pairs of words for 2 minutes. Then, the phonological training started for 15 minutes, with a combination of phonological awareness, phoneme decoding and reading fluency activities (more than 50% of activities), and verbal working memory tasks, and adapting the level of difficulty to each child, following a response-to-intervention (RTI) approach (Fuchs & Vaughn, 2012).

The phonological awareness activities consisted in letters and syllables identification (in words and pseudowords), quick letter naming, rhymes identification and segmentation of words into syllables. Pictures accompanied some activities, in which the child had to decide which words had the same initial phoneme than the picture.

The decoding and reading fluency activities used a bottom-up strategy where each child read groups of words and pseudowords with different structures: consonant-vowel (CV), vowel-consonant (VC), consonant-vowel-consonant (CVC), consonant-consonant-vowel (CCV), consonant-consonant-vowel-consonant (CCVC), and the combination of these structures in disyllabic and trisyllabic words.

Words and pseudowords were displayed on the screen in different formats: one-by-one in the center, as a dynamic list where a white marker signaled the word to be read, or as a game where the child played a race driving a car or riding a horse. In this case, the second player was controlled by the program, which decided the speed of the figure (car or horse) according to the level of each child in the previous race. At the end of each session, each child was asked to score the difficulty and the liking levels of the session.

Ordinary remediation program

This intervention consisted of reinforcing reading (speed, precision and comprehension) at school. The characteristics of the RDOR group were determined by what is standard practice at public schools in Catalonia. The work took place in a small group (four children), with a frequency of one day per week during 16 weeks, 50 minutes per session, with a variety of activities related to

reading aloud or silently, writing, phonological awareness and reading comprehension. Training sessions were less systematic than intensive intervention sessions, carried out by a special education teacher who decided which activities were included in each session.

Statistical Methods

Statistical analyses were performed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS v25.0, SPSS Inc., Chicago, USA). Mean and standard deviation were calculated to describe the demographic characteristics of the sample. The analysis of pre-post comparisons was done with a 3 (group: two kinds of intervention and one control condition) x 2 (time: pre- vs. post-test) mixed design ANOVA. After that, the comparison of the distribution for quantitative-type variables was done with the ANOVA test for independent samples (to compare the three study groups) since the normality and equality of variances criteria were met. In each group, a repeated-measures analysis of variance was done to study the effects of the intervention. The partial eta square η_p^2 was obtained as a measure of the MANOVA effect size and Cohen's d was used for the ANOVA test. The association between qualitative variables was performed through the Pearson χ^2 square test.

RESULTS

Analysis of reading performance showed differences among the three groups after the intervention period. Specifically, results showed that the children in the computerized and intensive remediation program (RDIR group) increased their performance in all the reading and spelling variables. On the other hand, the ordinary intervention group (RDOR) had a slight performance increase after intervention, which was significant in the speed of word and text reading, and in the accuracy of syllable, word and text reading. In the NR group, results showed no differences in performance between the first and second assessment, except in the number of hits to answer the questions in the test for text comprehension ($p=0.002$) (Table 2).

(Table 2 goes about here)

In relation to the multiple comparisons, table 3 shows the effect size when comparing the results in the reading and spelling tests among the three groups at pre- (T1) and post-intervention (T2).

At the pre-intervention period, the NR group showed a significant higher level than both the RDIR and RDOR groups in all variables of speed reading, reading accuracy and spelling. In the comparison between the RDIR and RDOR groups, the RDOR subjects performed worse than the RDIR children in reading speed of syllables and words, in and arbitrary spelling. On the other hand, the RDIR subjects performed worse than the RDOR children in reading accuracy of pseudowords.

Regarding the post-intervention comparisons, the NR and RDIR groups did not significantly differ in speed measures of letter naming ($p=0.536$) and syllable ($p=0.672$) subtests, which means that the RDIR group performed in the normal range in these variables. In contrast, differences between these groups were found in the other 10 variables of reading, which means that although there was a significant improvement, their performance in these variables did not reach the normal range. On the other hand, in the post-intervention comparison between the NR and RDOR groups, results showed differences in all the variables of reading accuracy and speed: letters ($p<0.001$ and $p<0.001$), syllables ($p=0.002$ and $p<0.001$), words ($p<0.001$ and $p<0.001$), pseudowords ($p<0.001$ and $p<0.001$), text ($p<0.001$ and $p<0.001$), text comprehension ($p<0.001$ and $p<0.001$). The mean of the effect size is above 0.8, indicating that the effect of the RDOR intervention was non-existent in these measures.

(Table 3 goes about here)

Finally, the comparison between the RDIR and RDOR groups at the post-intervention period indicates that the first group outperformed the RDOR group in reading accuracy of words ($p=0.008$), and in five measures of reading speed: letters ($p=0.002$), syllables ($p=0.001$), words ($p<0.001$), text ($p=0.002$) and pseudowords ($p<0.001$), and in arbitrary spelling ($p=0.006$). As shown in table 3, the achievement level in the effect size was >0.8 .

In relation to the implicit factors that contribute to reading, table 4 shows the pre- and post-intervention scores of the three groups in short-term memory measures, working memory, verbal fluency and rapid naming, all considered phonological abilities of an implicit nature that also influence the acquisition of reading (Defior, 2011). In this sense, we can observe that the NR group obtains a significant negative result in the reverse digits index ($p=0.001$) and phonemic verbal fluency ($p <0.001$), achieving a T2 performance lower than at T1 even though both results, T1 and T2, are in the average range. The RDIR group obtains significant differences in four of the six variables assessed, RAN objects ($p=0.036$), RAN colors ($p<0.001$), semantic verbal fluency ($p<0.001$) and direct digits ($p=0.001$), while the RDOR group does not obtain significant differences in any of the measured values.

(Table 4 goes about here)

DISCUSSION

The aim of our study was to analyze changes in reading fluency and accuracy in a group of early readers with reading difficulties after following a computerized intensive remediation program, and to compare these changes with those obtained by a non-intensive training. Results showed that the children in the intensive remediation program based on a digital phonological training, combining phonemic awareness, decoding and reading fluency activities, improved in all variables of reading accuracy, speed and natural spelling when compared with the children who followed an ordinary remediation program, whose improvement was weaker.

The importance of preventing and detecting children with reading difficulties fosters the interest in the scientific community to know when it is best to start intervening and in what way. Our results are congruent with previous studies indicating that early remediation (6-8 years old) (Gabrieli 2009; Suárez et al, 2013; Torgesen, Alexander, et al., 2001; Torgesen, Wagner, et al. 1999; Wanzek et al., 2013) and phonics instruction (Ehri, Nunes, Stahl, et al., 2001; National Reading Panel Report, 2000; Balbi, von Hagen, Cuadro & Ruiz, 2017; López-Olóriz et al., 2020) yield a higher benefit on reading learning, and the combination of both is the most effective approach in learning to read and spell in children with reading disabilities (Galuschka et al., 2014). Our results are also in agreement with previous studies indicating that remediation intervention should include bottom-up training in the early stages of the reading learning process (Helland, Tjus, Hovden, Ofte, & Heimann, 2011). Our results also positively support the work performed within the framework of the RTI methodology. Projects like this could be the basis for contributing to the implementation of RTI in Spain, which is a country where it still has limited presence (Jiménez, Rodríguez, Crespo, González, Artilles & Afonso, 2010). On the other hand, it should be noted that this work complements a recent Binding Method endeavor that has been found to significantly improve reading and learning among children (López-Olóriz et al., 2020). It is now known that in addition to facilitating reading in primary school children, the Binding Method significantly improves reading mechanics in children who have reading difficulties.

In our case, the benefit of the intervention in the RDIR group had an effect size mean value of 1.05 on speed reading/reading fluency, of 1.13 on reading accuracy, and of 0.76 on natural spelling. These results are in keeping with the meta-analysis by Ehri, Nunes, Stahl, et al. (2001), who proposes an overall statistically significant positive effect size for phonics instruction of reading. The results obtained in our study are in line with studies carried out with more transparent spellings, which, apart from working on phonological skills, also affect the fluency of reading, as it is one of the variables that is a major obstacle in surface languages (Chard, Ketterlin-Geller, Baker, Doabler & Apichatabutra, 2009; Defior & Serrano, 2014; Balbi et al., 2017). However, it is necessary to consider that spelling in Catalan is not as transparent as Finnish or Spanish (Farmer & Tolchinsky, 2016). In this

sense, almost 100% of all Finnish letters have only one reading and nearly 90% only one spelling; in the case of Spanish, 96% of the letters have only one reading and 90% only one spelling; in Catalan, 76% of the letters have only one reading and 70% only one spelling.

When it comes to the implicit phonological skills, the RDIR group also showed greater improvement after intervention; this group obtained significant and greater changes in comparison with the rest in RAN measurements, verbal fluency and attention/working memory, with mean values for the effect size of $d=0.48$, $d=0.76$ and $d=0.52$, respectively. The execution of RAN tasks is highly predictive of success in learning to read and write transparent spellings (Landerl & Wimmer, 2008; Onochie-Quintanilla et al., 2011; Parrila et al., 2004). Moreover, early levels of naming speed have been related to predicting future reading skills (Babayigit & Stainthorp, 2010; Caravolas, Lervåg, Mousikou, Efrim, Litavský, Onochie-Quintanilla, & Hulme, 2012; Kirby, Parrila, & Pfeiffer, 2003; Lervåg et al., 2009; Shapiro, Carroll, & Solity, 2013) as far as Grade 10 (Georgiou, Papadopoulos, & Kaizer, 2014). Thus, the best observed in RAN measurements could indicate that in future courses, the reading level would remain at least at the same levels attained.

In our study, the RDIR group achieved mean scores in all reading speed values, although these were still lower than those in the NR group indicating the need for more continuity in the intervention. Similar results have been previously described (Gabielli, 2009). Some authors attribute the differences among age groups to neuroplasticity (Draganski, Gaser, Busch, Schierer, Bogdahn, & May, 2004) and others (Torgesen et al. 2001) propose that this could also be explained by the rejection to reading throughout schooling and the limited amount of reading hours they are exposed to.

As we have previously mentioned, early identification and preventive intervention is essential for reducing the reading difficulties that many students present in the elementary grades, and to ensure that they can receive effective remediation (Francis et al. 1996; Jenkins & O'Connor 2002; Torgesen, Wagner, Rashotte, Herron, & Lindamood, 2010). As indicated by Denton (2012), there has been an

increase in educational initiatives aimed at preventing reading difficulties before age 8. It is imperative that early detection is done in schools and that reading support programs are implemented which are effective in helping these children. The results obtained in our study go in this line. When we analyze how the type of intervention received by children with reading difficulties influenced their performance in tasks of speed, accuracy, reading comprehension and spelling, we find that those who followed the computer training program (RDIR) obtained better results than those who received ordinary school support (RDOR). In Catalonia, public schools offer small-group specific support to those students who need to reinforce reading acquisition. The hours of training assigned depend on the teachers' detection of the students' needs and on the resources available in each school. The results obtained in our study endorse and support the need to rethink what kind of intervention is offered in schools, and also to work within a model of good practice in teaching to read that focuses on the application of those support programs that are more effective, if not for all, at least for the majority of children with difficulties in this area (Scammacca, Roberts, Vaughn, & Stuebing, 2015).

On the other hand, several studies have showed that computer-aided learning is an attractive and effective method for improving learning in children with reading problems. The results of a recent meta-analysis (Wouters, van Nimwegen, van Oostendorp, & van der Spek, 2013) suggest that digital programs are more effective than conventional instruction methods in terms of learning. It is interesting to highlight that lately there has been an increase of studies using computer-assisted training programs to remediate reading disabilities which have been shown to be beneficial for reading learners (Hudges et al. 2013; Jiménez et al. 2007; Lyytinen Erskine, Kujala, Ojanen, & Richardson 2009; Lyytinen, Erskine, Hämäläinen, Torppa, & Ronimus, 2015; Regtvoort & Van der Leij, 2007; Saine et al. 2011; Torgesen et al. 2001; Wise et al. 2000). An example of this is found in the GraphoGame computer game, developed as a way of training letter-sound connections and reading skills, which has shown to have a positive effect on children with reading difficulties (Ojanen, et al., 2015). As indicated in some of the studies mentioned above, in order for an intervention to be effective, it must offer phonological training, whether individually or in small group, and it must be

repetitive, intensive (between 4 and 5 sessions per week) and motivating. The computer training that has been applied in our study is characterized by a combination of all these variables, being a good tool to implement the Rtl approach.

Finally, it is important to highlight certain limitations of our study. First of all, the sample size of the RDOR group (n=12) was small in comparison to the RDIR (n=20) and NR (n=24) groups. It cannot be ruled out that the differences observed between treatments could be partially due to these differences in group size. On the other hand, the fact that during the pre-treatment there were differences in the explicit and implicit phonological processing skills, with slight differences between the RDIR and RDOR groups, which may have influenced the results of the pre- and post-treatment comparisons between groups. A third limitation relates to the quantity of remediation hours each group received. In both cases, remediation training lasted 16 weeks, but in the case of intensive remediation, there were daily, 15-minute sessions while in the case of ordinary remediation, these were weekly 50-minute sessions. The characteristics of the RDOR group were determined by what is standard practice at public schools in Catalonia. However, this is still a limitation, as minor effects could be influenced by the total time spent on remediation, which is significantly lower in the RDOR group. Thus, these limitations need to be taken into account for future studies by using more homogeneous samples.

In conclusion, our results indicate that children with reading difficulties who receive an early computerized and intensive training program, based on phonemic awareness, decoding and reading fluency exercises, significantly improve their performance in precision, fluency, reading comprehension and spelling.

REFERENCES

- Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., & Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: the role of visual attention span. *Science Reports*, 7(1), 14563. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15119-9>.
- Babayiğit, S., & Stainthorp, R. (2010). Component processes of early reading, spelling, and narrative writing skills in Turkish: A longitudinal study. *Reading and Writing*, 23(5), 539-568. <http://doi.org/10.1007/s11145-009-9173-y>
- Balbi, A., von Hagen, A., Cuadro, A. & Ruiz, C. (2018). Revisión sistemática sobre intervenciones en alfabetización temprana: implicancias para intervenir en español. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 50(1), 31-48.
- Barquero, A. B., Davis, N., & Cutting, L. E. (2014). Neuroimaging of reading intervention: a systematic review and activation likelihood estimate Meta-analysis. *Plos ONE*, 9(1): e83668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083668>
- Caravolas, M., Volin, J., & Hulme, C. (2005). Phoneme awareness is a key component of alphabetic literacy skills in consistent and less consistent orthographies: Evidence from Czech and English children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 92, 107-139.
- Caravolas, M., Lervåg, A., Mousikou, P., Efrim, C., Litavský, M., Onochie-Quintanilla, E.,... & Hulme, C. (2012). Common Patterns of Prediction of Literacy Development in Different Alphabetic Orthographies. *Psychological Science*, 23(6), 678-686. <http://doi.org/10.1177/0956797611434536>
- Cervera, M., Toro, J., Gratacós, M.L., De la Osa, N., & Pons, M. D. (1991). *TALEC. Test d'Anàlisi de Lectura i Escriptura en Català*. Barcelona: TEA Ediciones, 1st edition.
- Chall, J.S. (1983). *Stages of reading development*. New York: McGraw-Hill.

- Chard, D. J., Ketterlin-Geller, L. R., Baker, S. K., Doabler, C., & Apichatabutra, C. (2009). Repeated reading interventions for students with learning disabilities: Status of the evidence. *Exceptional Children*, 75(3), 263-281. <https://doi.org/10.1177/001440290907500301>.
- Crespo, P., Jiménez, J. E., Rodríguez, C., Baker, D. & Park, Y. (2018). Differences in Growth Reading Patterns for at-Risk Spanish-Monolingual Children as a Function of a Tier 2 Intervention. *The Spanish Journal of Psychology*, 21 (e4), 1-16.
- Cuetos, F., Rodríguez, B., Ruano, E., & Arribas, D. (2007). *PROLEC-R: Batería de Evaluación de los Procesos Lectores, Revisada*. Barcelona: TEA Ediciones.
- Cuetos Vega, F. (2008). Psicología de la lectura. *Diagnóstico y tratamiento de los trastornos de lectura*. Madrid: Escuela Española.
- Defior, S., & Serrano, F. (2011). Procesos fonológicos explícitos e implícitos, lectura y dislexia. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 11, 79-94.
- Defior, S., & Serrano, F. (2014). Diachronic and synchronic aspects of Spanish: the relationship with literacy acquisition/Aspectos diacrónicos y sincrónicos del español: relación con la adquisición del lenguaje escrito. *Estudios de Psicología*, 35(3), 450- 475. <https://doi.org/10.1080/02109395.2014.974422>.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the brain*. New York: Penguin, Viking Adult.
- Denton, C.A. (2012). Response to intervention for reading difficulties in the primary grades: some answers and lingering questions. *Journal of Learning Disabilities*, 45 (3), 232-243. <https://doi.org/10.1177/0022219412442155>.
- Draganski, B., Gaser C., Busch V., Schierer G., Bogdahn U., & May A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(22), 311–312. <https://doi.org/10.1038/427311a>.

- Duff, F. J., & Clarke, P. J. (2011). Practitioner Review: Reading disorders: what are the effective interventions and how should they be implemented and evaluated? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *52*(1), 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02310.x>
- Ehri, L.C., Nunes, S.R., Stahl, S.A, & Willows D. M. (2001). Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Review of Educational Research*, *71*(3), 393-447. <https://doi.org/10.3102/00346543071003393>
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Valeska Schuster, B., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: evidence from the national reading panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly*, *36*(3), 250-287. <https://doi.org/10.1598/RRQ.36.3.2>
- Elbro, C. (1996). Early linguistic abilities and reading developmental: a review and a hypothesis. *Reading and Writing*, *8*(6), 453–485.
- Fälth, L., Gustafson, S., Tjus, T., Heimann, M., & Svensson, I. (2013). Computer-assisted interventions targeting reading skills of children with reading disabilities- a longitudinal study. *Dyslexia*, *19*(1), 37-53. <https://doi.org/10.1002/dys.1450>.
- Franceschini, S., Gori, S., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, *23*, 462-466. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.044>
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K.,... Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, *7*, 5863. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>.

- Francis, D. J., Shaywitz, S. E., Stuebing, K. K., Shaywitz, B. A., & Fletcher, J. M. (1996). Developmental lag versus deficit models of reading disability: A longitudinal, individual growth curve analysis. *Journal of Educational Psychology, 88*(1), 3–17. <https://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.88.1.3>.
- Fuchs, D., & Fuchs, L. S. (2006). Introduction to response to intervention: What, why, and how valid is it? *Reading Research Quarterly, 41*(1), 93-99. <https://doi.org/10.1598/rrq.41.1.4>
- Fuchs, L.S., & Vaughn, S. (2012). Responsiveness-to-intervention: a decade later. *Journal of Learning Disabilities, 45*(3): 195-203. <https://doi.org/10.1177/0022219412442150>.
- Gabrieli, J. D.E. (2009). Dyslexia. A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science, 26*, 280-283. <https://doi.org/10.1126/science.1171999>.
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014). Effectiveness of treatment approaches for children and adolescents with reading disabilities: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One, 26*, e89900. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089900>.
- Georgiou, G. K., Papadopoulos, T. C., & Kaizer, E. L. (2014). Different RAN components relate to reading at different points in time. *Reading and Writing, 27*(8), 1379-1394. <https://doi.org/10.1007/s11145-014-9496-1>.
- Helland, T., Tjus, T., Hovden, M., Ofte, S., & Heimann, M. (2011). Effects of bottom-up and top-down intervention principles in emergent literacy in children at risk of developmental dyslexia: a longitudinal study. *Journal of Learning Disabilities, 44*(2):105-122. <https://doi.org/10.1177/0022219410391188>.
- Horowitz-Kraus, T., & Hutton, J. S. (2015). From emergent literacy to reading: how learning to read changes a child's brain. *Acta Paediatrica, 104*(7): 648-656. <https://doi.org/10.1111/apa.13018>.

- Hughes, J. A., Phillips, G., & Reed, P. (2013). Brief Exposure to a Self-Paced Computer-Based Reading Programme and How It Impacts Reading Ability and Behaviour Problems. *PLoS ONE*, 8(11): e77867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077867>.
- Hulme, C., & Snowling, M. J. (2016). Reading disorders and dyslexia. *Current Opinion in Pediatrics*, 28(6), 731-735. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000411>.
- Jenkins, J. R., & O'Connor, R. E. (2002). Early identification and intervention for young children with reading/learning disabilities. In R. Bradley, L. Danielson, D. P. Hallahan (Eds.), *The LEA series on special education and disability. Identification of learning disabilities: Research to practice* (pp. 99-149). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Jiménez, J. E., Hernández-Valle, I., Ramírez, G., Ortiz, M. R., Rodrigo, M., Estévez, A.,... Trabaue, M. L. (2007). Computer Speech-Based Remediation for Reading Disabilities: The Size of Spelling-to-Sound Unit in a Transparent Orthography. *The Spanish Journal of Psychology*, 10(1): 52-67. <https://doi.org/10.1017/S1138741600006314>.
- Jiménez, J. E., Rodríguez, C., Crespo, P., González, D., Artiles, C., & Afonso, M. (2010). Implementation of Response to Intervention (RtI) Model in Spain: An example of a collaboration between Canarian universities and the department of education of the Canary Islands. *Psicothema*, 22, 935-942
- Juel, C. (1988). A longitudinal study of 54 children from first through fourth grades. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 437-447.
- Kirby, J. R., Parrila, R. K., & Pfeiffer, S. L. (2003). Naming Speed and Phonological Awareness as Predictors of Reading Development. *Journal of Educational Psychology*, 95(3), 453-464.

- Kyle, F., Kujala, J. V., Richardson, U., Lyytinen, H., and Goswami, U. (2013). Assessing the effectiveness of two theoretically motivated computer-assisted reading interventions in the United Kingdom: GG Rime and GG Phoneme. *Read. Res. Q.* 48, 61–76.
- Landerl, K., & Wimmer, H. (2008). Development of word reading fluency and spelling in a consistent orthography: An 8-year follow-up. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 150-161. <https://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.100.1.150>.
- Lervåg, A., Bråten, I., & Hulme, C. (2009). The cognitive and linguistic foundations of early reading development: A Norwegian latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 45(3), 764-781. <https://doi.org/10.1037/a0014132>
- Llauradó, A., & Tolchinsky, L. (2016). The developmental pattern of spelling in Catalan from first to fifth school grade. *Writing Systems Research*, 8(1), 64-83. <https://doi.org/10.1080/17586801.2014.1000812>
- López-Oloriz, J., Pina, V., Ballesta, S., Bordoy, S., & Pérez-Zapata, L. (2020). Petit UBinding project: An efficacy study of a reading acquisition and reading improvement method for first grade children. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 40(1), 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2019.06.001>
- Lyytinen, H., Erskine, J., Hämäläinen, J., Torppa, M., & Ronimus, M. (2015). Early Identification and Prevention: Highlights from the Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia. *Current Developmental Disorders Report*, 2(4), 330–338. <https://doi.org/10.1007/s40474-015-0067-1>.
- Lyytinen, H., Erskine, J., Kujala, J., Ojanen, E., & Richardson, U. (2009). In search of a science-based application: A learning tool for reading acquisition. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50, 668–675. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00791.x>.
- Lyytinen, H., Ronimus, M., Alanko, A., Poikkeus, A. & Taanila, M. (2007). Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition. *Nordic Psychology*, 59 (2), 109-126.

- McTigue, E. M., Solheim, O. J., Zimmer, W. K., & Uppstad, P. H. (2019). Critically Reviewing GraphoGame Across the World: Recommendations and Cautions for Research and Implementation of Computer-Assisted Instruction for Word-Reading Acquisition. *Reading Research Quarterly*, 55(1), 45–73. <https://doi.org/10.1002/rrq.256>.
- Moura, O., Simões, M.R., Pereira, M. (2015). Executive functioning in children with developmental dyslexia. *Clinical Neuropsychologist*, 28(S1), 20-41. <https://doi.org/10.1080/13854046.2014.964326>.
- National Reading Panel. (2000). Teaching children to read: Evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction. *National Reading Panel, National Institute of Child Health and Human Development*. Bethesda.
- Ojanen, E., Ronimus, M., Ahonen, T., Chansa-Kabali, T., February, P., Jere-Folotiya, J.,... & Lyytinen, H. (2015). GraphoGame – a catalyst for multi-level promotion of literacy in diverse contexts. *Frontiers in Psychology*, 6, 671. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00671>.
- Onochie-Quintanilla, E., Simpson, I., Caravolas, M., & Defior, S. (2011). Letter knowledge, phoneme awareness and RAN as predictors of reading fluency in Spanish. *10th Symposium of Psycholinguistics San Sebastián*, April 13th-16th.
- Parrila, R., Kirby, J., & McQuarrie, L. (2004). Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Studies of Reading*, 8, 3-26.
- Regtvoort, A.G.F.M., & Van Der Leij A. (2007). Early intervention with children of dyslexic parents: Effects of computer-based reading instruction at home on literacy acquisition. *Learning and Individual Differences*, 17, 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.01.005>.

- Saine, N. L., Lerkkanen, M-K, Ahonen, T., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2011). Computer-Assisted Remedial Reading Intervention for School Beginners at Risk for Reading Disability. *Child Development*, 82(3), 1013–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01580.x>.
- Scammacca, N. K, Roberts, G, Vaughn, S, & Stuebing, K.K. (2015). A Meta-Analysis of interventions for Struggling Readers in Grades 4-12: 1980-2011. *Journal of Learning Disabilities*, 48(4), 369-390. <https://doi.org/10.1177/0022219413504995>.
- Shapiro, L. R., Carroll, J. M., & Solity, J. E. (2013). Separating the influences of prereading skills on early word and nonword reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(2), 278-295. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.05.011>.
- Shaywitz, B. A, Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P.,... & Gore J. C. (2004). Development of Left Occipitotemporal Systems for Skilled Reading in Children After a Phonologically-Based Intervention. *Biological Psychiatry*, 55(9), 926–933. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.12.019>.
- Smith-Spark, J. H., Henry, L. A., Messer, D. J., & Zięcik, A. P. (2017). Verbal and Non-verbal Fluency in Adults with Developmental Dyslexia: Phonological Processing or Executive Control Problems? *Dyslexia*, 23(3), 234-250. <https://doi.org/10.1002/dys.1558>.
- Torgerson, C. J. (2003). *Systematic Reviews*. London: Continuum Books.
- Snowling, M. J., & Hulme, C. (2012). Interventions for children’s language and literacy difficulties. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 47(1), 27–34. <https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00081.x>.
- Solheim, O. J., Frijters, J. C., Lundetræ, K., & Uppstad, P. H. (2018). Effectiveness of an early reading intervention in a semi-transparent orthography: A group randomised controlled trial. *Learning and Instruction*, 58, 65–79. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.05.004>.

- Strauss, E., Sherman E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A Compendium of Neuropsychological Tests. Administration, Norms and Commentary*, Third Edition. Oxford Univ Press.
- Suárez, P. M., García, M., Cuetos, F. (2013). Variables predictoras de la lectura i la escritura en castellano. *Infancia y Aprendizaje*, 36, 77–89. <https://doi.org/10.1174/021037013804826537>.
- Suggate, S. P. (2010). Why what we teach depends on when: grade and reading intervention modality moderate effect size. *Developmental Psychology*, 46(6), 1555-79. <https://doi.org/10.1037/a0020612>.
- Suggate, S. P. (2016). A Meta-Analysis of the Long-Term Effects of Phonemic Awareness, Phonics, Fluency, and Reading Comprehension Interventions. *Journal of Learning Disabilities*, 49(1), 77-96. <https://doi.org/10.1177/0022219414528540>.
- Torgerson, C. J., Brooks, G., Hall, J. (2006). *Systematic Reviews*. London: Continuum Books.
- Torgesen J. K., Wagner R. K., Rashotte C. A., Rose E., Lindamood P., Conway T., & Garvan, C. (1999). Preventing reading failure in young children with phonological processing disabilities: Group and individual responses to instruction. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 579-593. <https://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.579>.
- Torgesen, J. K, Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Herron, J., & Lindamood P. (2010). Computer-assisted instruction to prevent early reading difficulties in students at risk for dyslexia: Outcomes from two instructional approaches. *Annals of Dyslexia*, 60(1), 40-56. <https://doi.org/10.1007/s11881-009-0032-y>.
- Torgesen, J. K. (2004). Preventing Early Reading Failure. *American Educator*, 28, 6-19.

- Torgesen, J. K., & Burgess, S.R. (1998). Consistency of reading-related phonological processes throughout early childhood: Evidence from longitudinal-correlational and instructional studies. In: Metsala, J.L., & Ehri, L. C., editors. *Word recognition in beginning literacy*. Lawrence Erlbaum; Mahwah, NJ.
- Torgesen, J. K., Alexander, A. W., Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Voeller, K. K. S., & Conway, T. (2001). Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities: Immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities*, 34(1), 33-58. <https://doi.org/10.1177/002221940103400104>
- Torppa, M., Lyytinen, P., Erskine, J., Eklund, K., & Lyytinen H. (2010). Language development, literacy skills and predictive connections to reading in Finnish in children with and without familial risk for dyslexia. *Journal of Learning Difficulties*, 43(4), 308–321. <https://doi.org/10.1177/0022219410369096>.
- Vaughn, S., & Fuchs, L. S. (2003). Redefining learning disabilities as inadequate response to instruction: The promise and potential problems. *Learning Disabilities Research & Practice*, 18, 137–146.
- Wanzhek, J., Vaughn, S., Nancy K. Scammacca, N. K., Metz, K., Murray, C.,.... & Danielson, L. (2013). Extensive reading interventions for students with reading difficulties after grade 3. *Review of educational research*, 83(2), 163-195. <https://doi.org/10.3102/0034654313477212>.
- Wechsler, D. (2005). *WISC-IV: Escala de inteligencia Wechsler para niños IV*. Madrid TEA.
- Wise, B. W., Ring, J., & Olson, R. K. (2000). Individual Differences in Gains from Computer-Assisted Remedial Reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 197–235. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2559>.

- Wise, B., Ring, J., & Olson, R.K. (1999). Training Phonological Awareness with and without Explicit Attention to Articulation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72, 271–304. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2490>
- Wolf, M., & Denckla, M. B. (2005). *Rapid Automatized Naming and Rapid Alternating Stimulus Tests (RAN/RAS)*. Austin, TX: PRO-ED.
- Wolff, U. (2014). RAN as a predictor of reading skills, and vice versa: results from a randomised reading intervention. *Annals of Dyslexia*, 64, 151-165. <https://doi.org/10.1007/s11881-014-0091-6>.
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105, 249–265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>.

Table 1. *Demographic characteristics of the sample*

	NR (n=24)	RDIR (n=20)	RDOR (n=12)	p-value
	Mean (s.d.)	Mean (s.d.)	Mean (s.d.)	
Age				
Before remediation	7,32 (0.66)	7,01 (0,69)	6,92 (0,82)	ns
After remediation	8,08 (0.70)	7,35 (0.73)	7,26 (0,74)	ns
Gender (boys/girls)	15/9	10/10	6/6	ns
IQ estimation				
VIQ WISC-IV	108,33 (10.95)	95,5 (6,82)	97,58 (7,39)	<0,001
PIQ WISC-IV	111,13(9,88)	101,65 (11,58)	104,25 (12,36)	0,012

Note. M= mean, s.d.= standard deviation

IQ: intelligence quotient; VIQ: verbal IQ; PIQ: performance IQ

Statistical signification p-value ≤ 0.05

Table 2. Performance on the reading test for each intervention group before and after intervention

	NR (n=24)		RDIR (n=20)		RDOR (n=12)		Interaction group x time	
	Mean (s.d.)		Mean (s.d.)		Mean (s.d.)		F	η_p^2
	Time 1	Effect Size	Time 1	Effect Size	Time 1	Effect Size		
SPEED READING								
Letters	61.79 (2.67)	0.22	51.35 (9.35)***	1.05	46.92 (9.98)	0.29	5.285	0.166*
	62.54 (4.23)		59.45 (6.22)		49.75 (10.38)			
Syllables	60.63 (2.22)	0.28	54.50 (5.23)***	1.19	50.50 (6.24)	0.26	4.863	0.155*
	61.29 (2.65)		59.85 (3.88)		52.33 (8.46)			
Words	59.96 (3.42)	0.21	49.65 (6.24)***	1.05	38.50 (11.81)	0.45	14.04	0.346***
	60.67 (3.46)		55.30 (4.69)		43.17 (9.88)**			
Pseudowords	51.13 (7.83)	0.23	31.10 (9.07)***	1.38	27.83 (7.78)	0.29	14.50	0.354***
	53.04 (8.82)		45.40 (11.94)		30.33 (10.01)			
Text	59.13 (3.89)	0.15	46.80 (11.54)***	0.8	42.83 (8.57)	0.33	6.02	0.185**
	59.71 (3.8)		54.05 (6.26)		45.33 (7.04)			
Text	59.33 (4.39)	0.16	47.65 (8.41)***	0.83	47.17 (4.11)*	0.72	10.11	0.276***
Comprehension	58.79 (2.21)		53.80 (6.60)		50.25 (4.83)			
READING ACCURACY								
Letters	58.83 (3.75)	0.14	44.00 (9.06)**	0.72	47.67 (7.19)	0.48	5.14	0.170*
	59.33 (3.61)		49.45 (6.24)		44.00 (8.78)			
Syllables	63.25 (3.99)	0.5	49.80 (8.79)***	0.8	53.08 (7.98)*	0.53	3.66	0.121*
	64.83 (2.22)		56.00 (7.07)		57.33 (8.73)			
Words	62.00 (3.01)	0.2	38.25 (6.20)***	1.6	39.33 (8.64)*	0.48	18.70	0.414***
	62.63 (3.27)		48.95 (7.45)		42.58 (5.11)			
Pseudowords	52 (7.44)	0.24	22.55 (4.59)***	1.16	30.08 (8.67)	0.24	5.65	0.176**
	53.67 (6.58)		33.55 (13.02)		32.25 (10.45)			
Text	59.88 (1.92)	0.16	34.65 (11.14)***	1.84	36.67 (10.29)***	1.09	23.83	0.473***
	60.21 (2.26)		53.20 (9.54)		46.75 (8.98)			
Text	50.38 (10.41)**	0.57	41.50 (10.21)**	0.68	47.08 (9.18)	0.5	6.18	0.189***
comprehension	56.25 (10.55)		47.40 (7.51)		43.08 (7.55)			
(hits)								
SPELLING								
Arbitrary	59.29 (8.13)	0.29	54.60 (7.37)	0.13	43.92 (10.94)	0.05	1.36	0.049
Orthography	61.50 (7.47)		53.65 (7.31)		44.42 (12.04)			
Natural	63.67 (5.10)	0.34	39.15 (11.69)***	0.76	39.17 (6.09)	0.48	7.74	0.226***
Orthography	62.13 (4.04)		47.85 (11.91)		42.17 (7.02)			

Note.* p-value \leq 0.05; ** p-value \leq 0.005; *** p-value \leq 0.001

Table 3. *Effect sizes for the contrast among intervention groups and the control group in the reading test*

	NR versus RDIR		NR versus RDOR		RDIR versus RDOR	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Letters	2.27 ^a	1.73 ^a	1.73 ^a	2.69 ^a	0.54	0.96
Speed letters	1.33 ^a	0.35	1.85 ^a	1.75 ^a	0.52	1.40 ^a
Syllables	2.09 ^a	1.62 ^a	1.67 ^a	1.47 ^a	0.42	0.15
Speed syllables	1.36 ^a	0.26	2.23 ^a	1.82 ^a	0.88 ^a	1.56 ^a
Words	4.27 ^a	2.60 ^a	4.09 ^a	3.82 ^a	0.17	1.22 ^a
Speed Words	1.74 ^a	0.9 ^a	2.84 ^a	3.60 ^a	1.10 ^a	2.70 ^a
Text	3.10 ^a	0.95 ^a	2.81 ^a	1.83 ^a	0.29	0.88
Speed text	1.60 ^a	1.17 ^a	2.15 ^a	2.88 ^a	0.55	1.71 ^a
Text comprehension	0.97 ^a	1.09 ^a	0.45	1.64 ^a	0.52	0.55
Speed comprehension	2.09 ^a	1.24 ^a	2.27 ^a	2.13 ^a	0.18	0.90
Pseudowords	4.52 ^a	2.13 ^a	3.49 ^a	2.32 ^a	1.03 ^a	0.20
Speed pseudowords	2.63 ^a	0.88 ^a	3.14 ^a	2.48 ^a	0.52	1.60 ^a
Arbitrary Spelling	0.67	1.04 ^a	2.03 ^a	2.23 ^a	1.37 ^a	1.19 ^a
Natural Spelling	3.00 ^a	1.72 ^a	2.95 ^a	2.38 ^a	0.05	0.66

Note. ^ap-value \leq 0.05

NR= normal readers; RDIR= reading difficulties intensive remediation; RDOR= reading difficulties ordinary remediation; T1= preintervention; T2= postintervention; Cohen's d =0.1-0.4, small effect; Cohen's d = 0.5-0.7, medium effect; Cohen's d = 0.8 and above, large effect.

Table 4. Performance on the implicit phonological processes for each intervention group before and after intervention

	NR (n=24)		RDIR (n=20)		RDOR (n=12)	
	Mean (s.d.)	Effect	Mean (s.d.)	Effect	Mean (s.d.)	Effect
	Time 1	Size	Time 1	Size	Time 1	Size
	Time 2		Time 2		Time 2	
RAPID AUTOMATIZED NAMING (RAN)						
Objects	50.17 (5.75)	0.19	40.90 (7.03)*	0.36	36.25 (7.09)	0.44
	51.33 (6.60)		43.70 (8.97)		38.92 (5.63)	
Colors	46.17 (6.03)	0.05	33.80 (7.08)***	0.60	34.42 (7.50)	0.16
	45.88 (6.16)		38.20 (8.02)		35.33 (4.33)	
VERBAL FLUENCY						
Phonemic	52.25 (9.62)***	0.78	47.15 (9.25)	0.04	39.58 (6.01)	0.56
	6.04 (6.31)		47.55 (11.89)		44.42 (11.16)	
Semantic	60.67 (11.28)	0.11	42.80 (8.37)***	1.49	46.83 (5.57)	0.16
	61.75 (9.49)		58.60 (12.85)		47.67 (5.57)	
ATTENTION AND WORKING MEMORY						
Direct digits	56.42 (5.32)	0.13	43.75 (5.02)***	0.96	43.92 (2.64)	0.56
	55.67 (6.65)		48.55 (5.20)		46.33 (5.77)	
Reverse digits	58.67 (7.20)***	0.65	48.90 (7.04)	0.12	43.50 (6.20)	0.01
	53.92 (8.07)		49.70 (6.89)		43.42 (5.42)	

Note. * p-value \leq 0.05; ** p-value \leq 0.005; *** p-value \leq 0.001

