

***Desarrollo del procesamiento subléxico
en niños normo-lectores y disléxicos***



Facultad de Psicología

Programa de Doctorado en Lectura y Comprensión

Tesis Doctoral

Valencia, Septiembre 2019

Presentada por:

Victoria Panadero Mateo

Dirigida por:

Manuel Perea Lara

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 La lectura.....	8
1.2 Procesos que intervienen en la lectura.....	8
1.2.1 Visión general de los procesos lectores.....	8
1.2.2 Los procesos perceptivos.....	9
1.2.3 El procesamiento léxico.....	12
Ruta léxica.....	12
Ruta fonológica.....	13
1.2.4 El procesamiento sintáctico.....	15
1.2.5 El procesamiento semántico.....	16
1.3 Modelos de lectura.....	18
1.3.1 Modelos duales.....	18
1.3.2 Modelos conexionistas.....	19
1.3.2.1 Modelo de activación interactiva (localista).....	19
1.3.2.2 Modelo del triángulo (distribuido).....	21
1.4 Los trastornos de la lectura.....	24
1.4.1 Concepto de dislexia.....	24
1.4.2 Dislexias adquiridas.....	25
1.4.3 Dislexias periféricas.....	26
1.4.3.1 Dislexia atencional.....	26
1.4.3.2 Dislexia visual.....	26
1.4.3.3 Dislexia letra a letra o alexia pura.....	27
1.4.4 Dislexias centrales.....	27
1.4.4.1 Dislexia fonológica.....	27
1.4.4.2 Dislexia superficial.....	28
1.4.4.3 Dislexia semántica.....	29
1.4.4.4 Dislexia profunda.....	29

1.4.5 Dislexias evolutivas.....	30
1.4.5.1 Tipos de dislexias evolutivas.....	30
1.5 Diagnóstico de los trastornos de lectura.....	32
1.6 Tratamiento de los trastornos de lectura.....	35
 2. JUSTIFICACIÓN.....	40
2.1 El procesamiento de letras en espejo.....	41
2.2 El papel de la información visual en la palabra.....	44
2.3 El efecto de espaciado entre letras y la dislexia.....	47
 3. BLOQUE EXPERIMENTAL.....	49
3.1 Suppression of mirror generalization for reversible letters: Evidence from masked priming....	50
3.1.1 Introduction.....	50
3.1.2 Experiment 1.....	55
Method.....	55
Results and Discussion.....	57
3.1.3 Experiment 2.....	59
Method.....	59
Results and Discussion.....	61
3.1.4 Experiment 3.....	62
Method.....	62
Results and Discussion.....	64
3.1.5 General Discussion.....	65
 3.2 The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics.....	70
3.2.1 Introduction.....	70

3.2.2 Overview of the experiments.....	74
3.2.3 Experiment 1 (adult skilled readers).....	75
Method.....	76
Results and Discussion.....	77
3.2.4 Experiment 2 (young normal readers).....	80
Method.....	80
Results and Discussion.....	81
3.2.5 Experiment 3 (young readers with developmental dyslexia).....	84
Method.....	84
Results and Discussion.....	84
3.2.6 Experiment 4 (text reading).....	87
Method.....	87
Results and Discussion.....	88
3.2.7 General Discussion.....	90
 3.3 Does violin activate violin more than violon? On the use of visual cues during visual-word recognition.....	95
Method.....	99
Results and Discussion.....	100
 4. DISCUSIÓN.....	107
5. CONCLUSIONES.....	117
6. REFERENCIAS.....	120
7. ANEXOS.....	130
7.1 Leyendo a través del espejo.....	131
7.2 Un pequeño aumento en el espaciado entre letras favorece la lectura en niños disléxicos.....	137

Algunos de los trabajos que aquí se presentan se encuentran recogidos en los siguientes artículos:

Perea, M., Moret-Tatay, C., & Panadero, V. (2011). Suppression of mirror generalization for reversible letters: Evidence from masked priming. *Journal of Memory and Language*, 65, 237–246. DOI: 10.1016/j.jml.2011.04.005

Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22, 420-430. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.04.001

Panadero, V., Perea, M., & Gómez, P. (2012). Un pequeño aumento en el espaciado entre letras favorece la lectura en niños disléxicos. *Ciencia Cognitiva*, 6:3, 51-53.

Perea, M., & Panadero, V. (2014). Does viotin activate violin more than viocin? On the use of visual cues during visual-word recognition. *Experimental Psychology*, 61, 23-29. DOI: 10.1027/1618-3169/a000223

Panadero, V., Jiménez, M., & Perea, M. (2014). Leyendo a través del espejo. *Ciencia Cognitiva*, 8:2, 32-35.



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

El Dr. Manuel Perea Lara, Catedrático de Universidad de la Universitat de València,

DECLARA:

Que el trabajo titulado *Desarrollo del procesamiento subléxico en niños normo-lectores y disléxicos*, que presenta Victoria Panadero Mateo para la obtención del título de doctora, se ha realizado bajo mi dirección y tutoría cumple todos los requisitos para poder optar a su lectura como Tesis Doctoral en la Universitat de València.

Y para que así conste y tenga los efectos oportunos, firmo el presente documento.

A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text "UNIVERSITAT DE VALÈNCIA", "Departament de Psicologia", and "FACULTAT DE CIÈNCIES DEL COMPORTAMENT".

Manuel Perea

Valencia, 27 de septiembre de 2019

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La lectura

Aprender a leer es una tarea muy compleja. Generalmente estamos acostumbrados a trabajar la lectura desde muy pequeños, y sin embargo no todos llegamos a ser buenos lectores. En la actualidad, muchos fracasos escolares tienen su origen en los trastornos específicos de la lectura conocidos habitualmente con el nombre de dislexias. Se caracterizan por un deterioro de la capacidad para reconocer palabras escritas, una lectura lenta e insegura, así

como una escasa comprensión lectora. Ello ocurre sin que existan problemas intelectuales, sensoriales, físicos, motores o deficiencias educativas que justifiquen el déficit lector (véase Gabrieli, 2009, para una revisión reciente desde la neurociencia cognitiva).

1.2 Procesos que intervienen en la lectura

Leer consiste en transformar los signos gráficos que aparecen sobre un papel (o pantalla) en sonidos en el caso de la lectura en voz alta, o en significados en el caso de la lectura silenciosa. Para poder efectuar estas transformaciones es necesario realizar una serie de complejas operaciones cognitivas, que comienzan con el procesamiento de los estímulos visuales y continúan con la conversión de esos estímulos visuales en lingüísticos, conceptuales, motores, etc. (véase Cuetos y Domínguez, 2012, para una revisión reciente en español).

El sistema de lectura en un lector adulto se suele dividir en varios módulos separables, en los que cada uno se encarga de realizar una función específica, como veremos en los siguientes apartados.

1.2.1 Visión general de los procesos lectores

a. **Procesos perceptivos:** La primera operación que realizamos al leer es la de analizar los signos gráficos escritos para su identificación. Está relacionado con la discriminación e identificación de letras, primero de forma aislada y posteriormente en palabras, y cuyo objetivo es conseguir el reconocimiento de las mismas.

b. **Procesamiento léxico:** En el momento en que reconocemos las palabras, accedemos al significado y a la recuperación de su pronunciación, y encontramos el concepto con el que se asocia esa unidad lingüística. Tradicionalmente, se suele señalar que existen dos vías. La primera pertenece a la categoría semántica, conecta directamente los signos gráficos con el significado y la

segunda se corresponde con la tarea de lectura de voz alta, que transforma los signos gráficos en sonidos y utiliza esos sonidos para llegar al significado.

c. **Procesamiento sintáctico:** Para llevar a cabo el análisis gramatical de las oraciones disponemos de reglas sintácticas que nos permiten segmentar cada oración en sus constituyentes, clasificarlos de acuerdo con sus papeles gramaticales y finalmente construir una estructura sintáctica que haga posible la extracción del significado. Generalmente, las palabras aisladas aportan poca información, tienen que agruparse en unidades como frases y oraciones para formar los mensajes.

d. **Procesamiento semántico:** Una vez que las palabras han sido reconocidas y conectadas entre sí, el siguiente y último de los procesos que interviene en la comprensión lectora es el del procesamiento semántico, consistente en la extracción del significado de la oración o texto y su integración en los conocimientos que ya posee el lector. Se trata de construir una representación mental del contenido del texto y de integrar esa representación en los propios conocimientos, pues sólo en ese caso se produce la auténtica comprensión.

1.2.2 Los procesos perceptivos

Los movimientos sacádicos

Los movimientos oculares son una parte crítica del proceso de lectura. Si bien, como señalaron Rayner, Pollatsek, Ashby y Clifton (2012), cuando leemos nuestros ojos (y la mente) barren continuamente a través del texto, y es solamente al encontrarnos con alguna dificultad cuando hacemos una pausa para considerar lo que acabamos de leer o para volver a leer el material anterior. No somos conscientes de los movimientos de nuestros ojos. Los ojos permanecen relativamente quietos durante las fijaciones, que generalmente duran de 150 a 500 ms (con un promedio entre 200 a 250 ms) (Carpenter y Just, 1977; Dunn y Pirozzolo, 1984; Holmes y O'Regan, 1981; Rayner, 1977; Rayner y McConkie, 1976). Cuando una persona lee un texto, sus ojos avanzan a pequeños saltos llamados movimientos sacádicos, que se alternan con períodos de fijación. Éstos permiten al lector percibir un trozo del

material escrito y los movimientos sacádicos lo trasladan al siguiente punto del texto con la finalidad de que quede situado frente a la fovea, zona de máxima agudeza visual, y pueda continuar asimilando la información. El 90% del tiempo se dedica a fijar la vista sobre el papel para extraer la información necesaria del texto, y el 10% restante a realizar los movimientos sacádicos.

Los buenos lectores ejecutan lo que se suele denominar fijaciones oculares amplias, es decir que en cada fijación captan con claridad cuatro o cinco letras y alguna palabra y deducen las otras palabras y partes de las frases, se deben realizar un buen número de operaciones mentales y si falla algún aspecto lector el sistema de lectura queda afectado. Pavlidis (1981) fue el primero en mostrar anomalías de los movimientos oculares en niños con dislexia: más fijaciones y más largas, menor amplitud sacádica y mayor porcentaje de regresiones sacádicas.

Es importante señalar que, en muchos casos, se emplean dos o más fijaciones en la lectura de una palabra. Sin embargo, nuestra imagen de los movimientos oculares es incompleta, además todo varía según la velocidad de lectura, la duración de la fijación, y la duración media extraída de diferentes tipos de textos. Cuando la dificultad del texto aumenta, la velocidad de lectura se ralentiza y la duración de la fijación y de regresiones aumenta (véase Rayner et al., 2012).

Las palabras cortas (con tres letras o menos) que suelen ser palabras de función, tienen una probabilidad mucho mayor de ser saltadas que las palabras más largas (de seis o más letras); así mismo se ha observado que las palabras que tienen ocho o más letras raramente son saltadas. Las palabras de contenido que reciben mayor número de fijaciones son las que tienen como media seis letras (Rayner y cols., 2012). Carpenter y Just (1983) indican que en torno al 83% del tiempo de las fijaciones se emplea en las palabras de contenido (véase también Duffy, Morris y Rayner, 1988). Los lectores suelen situar las fijaciones de forma preferente entre el comienzo y la mitad de las palabras (Rayner y cols., 2012). Esto es debido a que el comienzo de las palabras contiene mayor información; y también está relacionado con la cantidad de información parcial obtenida parafovealmente en la fijación previa. También se ha observado que se produce un procesamiento parcial (*pre-procesamiento*) de la palabra antes de que el lector se fije en ella aun cuando la palabra a la derecha de la fijación no se identifique (Henderson, 1993).

Cada una de las operaciones que realizamos durante la lectura requiere de un tiempo determinado. Los estudios en los que se mide el tiempo que las personas tardan en leer cada palabra muestran que la media está

alrededor de los 500 ms. Aproximadamente, los primeros 100 ms se dedican al procesamiento visual de las palabras y los 10 restantes a la activación semántica y fonológica. Quedan otros 250 ms, hasta completan los 500ms, que se dedican a activar y ejecutar los programas motores para emitir la pronunciación, en el caso de lectura en voz alta. Cuando se realiza lectura silenciosa, sólo intervienen los primeros 250 ms dedicados al procesamiento semántico, tal como indican los estudios de seguimiento de los movimientos oculares (Cuetos y Domínguez, 2012; Rayner et al., 2012).

El patrón de extracción de información durante la lectura es, pues, un poco como ver una presentación de diapositivas (Rayner et al., 2012). Alrededor de un cuarto de segundo; hay un breve tiempo de apagado, y luego una nueva diapositiva con un punto de vista. Este patrón de las fijaciones y movimientos sacádicos no es único para la lectura. La percepción de cualquier exposición estática (es decir, una imagen o una escena) procede de la misma manera, aunque el patrón y el momento de las fijaciones difiere con el de la lectura (Rayner, Li, Williams, Cueva y Bueno, 2007).

Mientras que la mayoría de los movimientos sacádicos son hacia delante (de izquierda a derecha), alrededor del 10-15% de los movimientos sacádicos son hacia atrás (de derecha a izquierda) y se denominan movimientos sacádicos regresivos. Los lectores no son generalmente conscientes de la mayoría de las regresiones, salvo las que reflejan gran confusión, o cuando tienen que volver a una considerable distancia en el texto para aclarar las cosas. Sin embargo, la mayoría de las regresiones son bastante cortas y en muchos casos no reflejan dificultades de comprensión, sino que son correcciones de errores oculomotores.

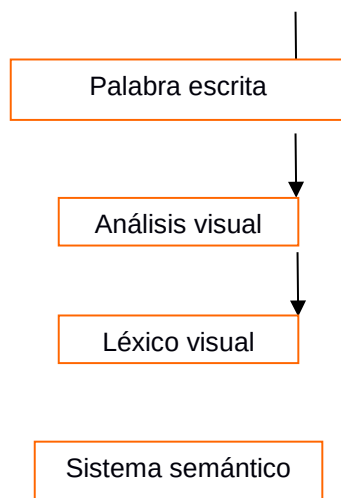
Los estudios basados en el análisis de errores que cometen los lectores en el transcurso de su lectura vienen a confirmar, desde otra perspectiva, los hallazgos derivados de los estudios basados en análisis de los movimientos oculares basados en el siguiente sentido: “Los buenos lectores no se fijan en todas las palabras del texto. Los buenos lectores utilizan el contexto no sólo para percibir e identificar palabras, sino también para hacerlo con mayor rapidez y menos fijaciones. Los buenos lectores no leen únicamente de izquierda a derecha sino que, realizan regresiones para corregir, clarificar, confirmar o reconsiderar mentalmente las palabras y sus significados” (Weaver, 2002, p.109). El proceso lector empieza a partir de la fijación, cuando los ojos reciben las ondas de energía luminosa que han de transmitir al cerebro en forma de impulsos nerviosos. Los receptores sensoriales deben detectar la presencia de estímulos, en el caso de la lectura, existen rasgos visuales situados frente

a la fovea. Para identificar una palabra es necesario realizar dos tipos de operaciones, 1) analizar la señal lingüística y codificarla en una primera representación, 2) acceder al significado de la palabra.

1.2.3. El procesamiento léxico

Cuando reconocemos las palabras escritas y accedemos a su significado, se suele asumir que se pueden emplear dos rutas:

Ruta Léxica



Ruta léxica en el procesamiento léxico

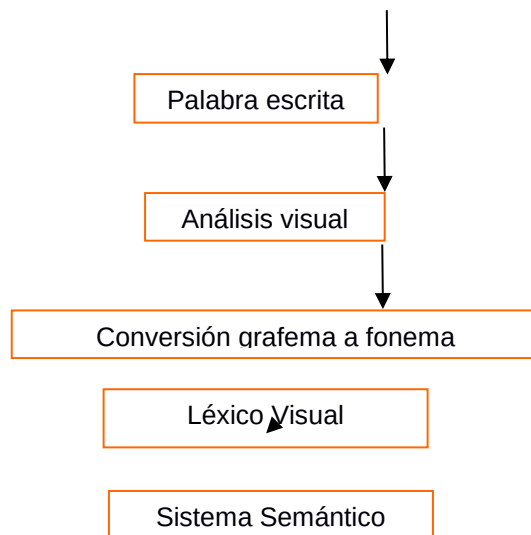
Cuando vemos una palabra escrita y nos disponemos a leerla comparamos la forma ortográfica de la palabra (secuencia de letras) con las representaciones de palabras que disponemos en el **léxico visual** (a modo de “diccionario visual”). Desde esta ruta el acceso al léxico interno se realiza de una forma directa, estableciendo conexión entre la representación ortográfica de la palabra y su significado en la memoria léxica. Por la ruta visual se podrán leer palabras que forman parte del vocabulario ortográfico y, por tanto, son conocidas con anterioridad por el lector, por lo que no podrán leerse las palabras desconocidas, ni las pseudopalabras.

En el **sistema semántico** se encuentran los significados de las palabras, está organizado por categorías semánticas como frutas, animales, colores... Consiste en extraer el significado de la palabra para integrarlo con los conocimientos del lector.

En el **léxico fonológico** se encuentran representadas las pronunciaciones de las palabras; tenemos más facilidad para encontrar la pronunciación de las palabras frecuentes gracias a un dispositivo de activación para cada palabra en función de su frecuencia de uso.

La lectura puede ser silenciosa o podemos leer en voz alta, sí así lo hacemos accederemos al almacén de pronunciación donde se emitirá la palabra. El almacén de pronunciación retiene las informaciones procedentes del léxico fonológico y del sistema de conversión grafema-fonema. Aquí permanece temporalmente hasta que se articulan en sonidos o se pronuncian internamente para que puedan ser reconocidas por el léxico auditivo.

Ruta Fonológica



Ruta fonológica en el procesamiento léxico

Mediante el mecanismo de **conversión de grafemas** (letras) a **fonemas** (sonidos), se obtiene la pronunciación de la palabra, siendo así ésta identificada, en la ruta fonológica se puede leer cualquier palabra, palabras desconocidas y las pseudopalabras que sigan las reglas de conversión grafema-fonema. Coltheart (1986) distingue tres mecanismos:

- 1) **Análisis grafémico:** Se encarga de separar los grafemas que componen la palabra.
- 2) **Asignación de fonemas:** se le asigna a cada fonema el sonido correspondiente.

3) Unión de fonemas: une los sonidos para articularlos.

En castellano podemos leer todas las palabras por la ruta fonológica porque es un idioma transparente en el que todas las palabras se ajustan a las reglas grafema-fonema. Pero en otros idiomas existen muchas palabras irregulares, cuya pronunciación no se ajusta a esas reglas y sólo se sabe cuando se conoce específicamente esa palabra, leyendo a través de la ruta léxica.

Léxico auditivo

Distinguimos dos léxicos diferentes para el reconocimiento de palabras: uno para el lenguaje escrito (léxico visual) y otro para el lenguaje oral (léxico auditivo). En el léxico auditivo cada palabra está representada por un dispositivo que se activa por la llegada de información tanto procedente del exterior como del sistema semántico. Igualmente cada representación tiene un umbral diferente de activación dependiente de la frecuencia de uso. La única diferencia está en el tipo de información exterior que activa las representaciones, ya que en el léxico visual son las palabras escritas y en el léxico auditivo los fonemas de las palabras.

En definitiva, por la ruta léxica se podrían leer todas las palabras conocidas, tanto regulares como irregulares pero no las pseudopalabras. Por la ruta fonológica se podrían leer las palabras regulares y pseudopalabras pero no las palabras irregulares (Cuetos, 1991; Sánchez Miguel, 1998; Vidal y Manjón, 2001).

1.2.4. El procesamiento sintáctico

En la percepción de la imagen, los ojos se mueven rápidamente a las regiones consideradas ser de carácter informativo (Antes, 1974; Mackworth y Morandi, 1967;) o semánticamente anómala (Becker, Pashler y Lubin, 2007; Loftus y Mackworth, 1978; Rayner, Castelhana y Yang, 2009; véase también Henderson, Semanas y Hollingworth, 1999). Estos fenómenos sugieren que algo similar puede estar ocurriendo en la lectura.

El reconocimiento de las palabras es algo necesario para poder llegar a entender el mensaje de un texto escrito, pero las palabras aisladas no transmiten nada, es en la relación entre ellas donde se encuentra el mensaje. El agrupamiento correcto de las palabras en una oración, así como las interrelaciones entre los constituyentes, se consigue gracias a una serie de claves presentes en la oración. Algunas de las más importantes son estas:

- a) Orden de las palabras. El orden de las palabras nos va a marcar el papel sintáctico de la oración, por ejemplo en esta oración: “Luis besó a María”. El sujeto de la acción de besar es Luis y el objeto María. Y en esta oración: “María besó a Luis”, los papeles se invierten. Esto sucede porque en castellano, si no hay ninguna preposición o indicador de lo contrario, el primer nombre hace de sujeto y el segundo de objeto.
- b) Palabras funcionales. Estas son los artículos, conjunciones, preposiciones, etc., que juegan un papel principalmente sintáctico. Por ejemplo, los artículos señalan el comienzo de un nuevo sintagma nominal, las preposiciones de un complemento circunstancial, etc.
- c) Significado de las palabras. Este aspecto también es clave para conocer como deben ir interrelacionadas las palabras. Por ejemplo, en una oración cuyo verbo es dormir, el sujeto no puede ser un objeto inanimado.
- d) Signos de puntuación. En el lenguaje escrito son los que marcan los pasos y la entonación que utilizamos en el lenguaje oral. En los textos son importantes para su comprensión.

1.2.5. El procesamiento semántico

Después que ha establecido la relación entre los distintos componentes de la oración, el lector pasa ya al último proceso, consistente en extraer el mensaje de la oración para integrarlo con sus conocimientos. Esta operación consta de dos subprocesos: la extracción del significado y la integración en la memoria.

Extraer el significado consiste en construir una representación o estructura semántica de la oración o texto en la que vienen indicados los papeles de actuación (no los gramaticales) de los elementos que intervienen en la acción señalada por el verbo. Para poder integrar los mensajes en la memoria es necesario establecer un vínculo entre esta nueva estructura y los conocimientos que ya poseen, y este vínculo se consigue introduciendo en el mensaje información que el lector ya posee y que le servirá para activar los conocimientos correspondientes.

En cualquier frase siempre hay una parte que es conocida por el lector u oyente que recibe el nombre de información dada, y una parte desconocida, que es la que se quiere dar a conocer, llamada información nueva. La información dada sirve para conectar la información nueva con la frase anterior o con los conocimientos del sujeto. Si no hubiese parte dada no podríamos entender las oraciones al no saber a qué hechos hacen referencia. Si, por el contrario, no hubiese parte nueva no aportarían ningún conocimiento distinto al que ya poseemos.

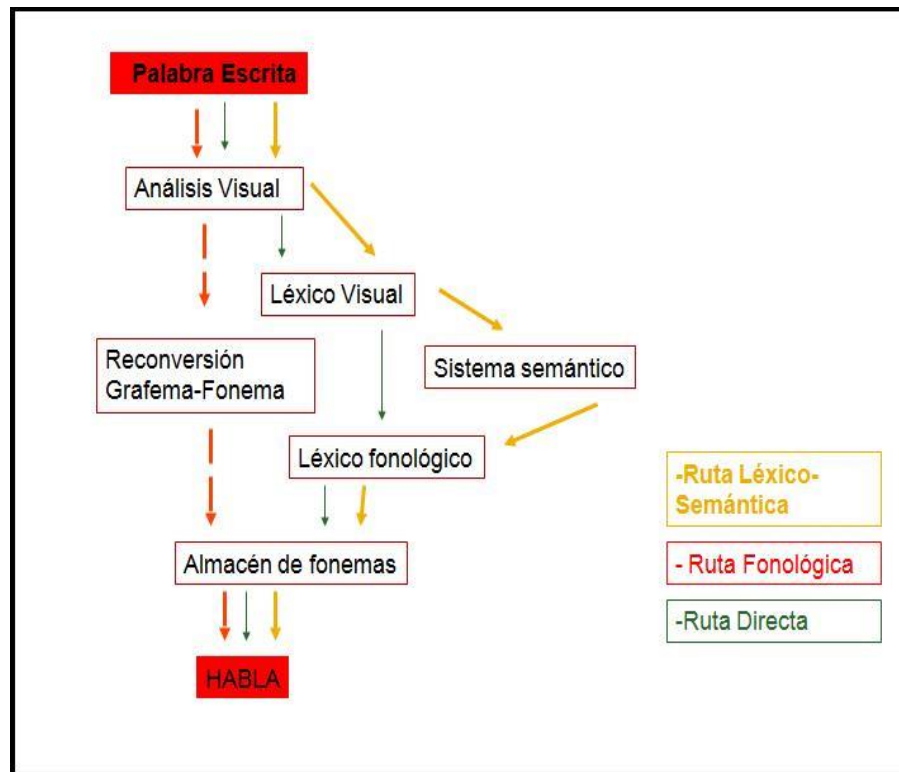
Comprender una oración o texto consiste en construir un modelo mental sobre lo que allí está descrito. Este modelo se va formando con la información que el lector va recibiendo del texto, pero a su vez se usa como referente para la realización de inferencias y para guiar la interpretación de los que va leyendo.

Algunas veces el lector puede haber construido una representación de la oración y sin embargo no es capaz de integrarlo en sus conocimientos. Esto ocurre, por ejemplo, cuando escuchamos una oración fuera de contexto y no la entendemos simplemente porque no sabemos con qué conocimientos la tenemos que integrar. Otras veces poseemos los conocimientos adecuados pero no disponemos de claves que nos permitan poner en relación la información de la frase con nuestra propia información (véase Cuetos, 2001). Solo cuando ha integrado la información en la memoria se puede decir que ha terminado el proceso de comprensión. De todo lo que leemos debemos de sacar el significado, lo que pretende transmitir, y además integrarlo en los conocimientos que tenemos para integrarlo en la memoria. Hay que relacionar la nueva información con la que ya tenemos. Los conocimientos que tenemos están en la memoria en forma de esquemas. Además de esto, nosotros a medida que vamos leyendo, vamos realizando inferencias propias que nos ayudan a ir enlazando las distintas partes del texto y la información que estamos recibiendo con la que ya tenemos.

Una correcta comprensión requiere que nos hagamos un modelo mental sobre el texto que estamos leyendo. El modelo mental tiene tres niveles:

- Micronivel: construido por las proposiciones del texto.

- Macronivel: que es un resumen de lo leído.
- Modelo mental: hacernos una idea general por ejemplo de un cuento.



Modelo de logogen de Morton (1969, 1979)

En el modelo de logogen se entiende que cada palabra está representada por un mecanismo llamado logogen. Cada logogen posee cierto valor crítico o umbral que determina la cantidad de información necesaria para llegar a activarse. En condiciones normales estos logógenes están en reposo, pero cuando llega información procedente del sistema de análisis visual se activa el logogen correspondiente a esa información. No sólo ése, sino además se activan los logógenes correspondientes a las palabras que comparten alguna característica con la que se está procesando. Ahora bien, sólo uno de los logógenes, normalmente el que corresponde a la palabra estímulo (a no ser que se produzca un error de reconocimiento), alcanzará el umbral crítico, cuando esto sucede la palabra se da por reconocida y todos los logógenes vuelven a su estado de reposo.

Con las aportaciones de Morton respecto a que el reconocimiento de palabras conocidas se realiza a través de una vía directa o visual, y la influencia de los estudios de Coltheart por los que se incorpora el acceso al significado y

pronunciación de palabras desconocidas por medio de una representación fonológica de las mismas, se origina uno de los modelos de lectura más relevantes en este campo, conocido como *Modelo Dual o de Doble Ruta*.

1.3. Modelos de lectura

Muchos son los modelos que tratan de explicar los procesos que se llevan a cabo durante la lectura. Algunos modelos defiende la idea del procesamiento serial, es decir cada proceso no empieza a funcionar hasta que no ha terminado de hacerlo el proceso anterior, otros por el contrario defienden un procesamiento en paralelo donde todos los procesos pueden ir funcionando al mismo tiempo.

Los modelos más conocidos son el modelo dual y el modelo conexionista.

1.3.1 Modelo duales

Existen dos rutas para llegar desde la palabra escrita al significado y a la pronunciación:

Ruta fonológica	Ruta léxica
Transformación de los grafemas de la palabra en su correspondiente fonema.	Reconoce la palabra de forma directa.
Es más lenta.	Es más rápida.
Puede leer cualquier palabra: conocida, desconocida o pseudopalabras.	La palabra debe estar representada en la memoria ortográfica del lector.

Tabla 1. Diferentes rutas para llegar al significado y a la pronunciación de la palabra escrita

En castellano todas las palabras se ajustan a las reglas grafema-fonema, por lo que podríamos leer cualquier palabra por la ruta subléxica. Por el contrario, en inglés, al poseer muchas palabras irregulares y no ajustarse a la reglas grafema-fonema, se hace mucho más uso de la ruta léxica.

Coltheart et al. (2001) propusieron un modelo computacional a partir del modelo de doble ruta, con algunos procesos funcionando de manera serial y otros de manera interactiva. Distinguen tres rutas:

1. La ruta fonológica: genera la pronunciación de las palabras mediante la aplicación de las reglas de correspondencia grafema-fonema.
2. La ruta léxica: necesita de varias operaciones, primero activa todas las unidades de letras que forma una palabra, después se activa la representación de la palabra en el léxico ortográfico y a su vez se activa el léxico fonológico.
3. La ruta léxico-semántica: sigue la misma ruta que la ruta léxica hasta el léxico ortográfico y a partir de ahí se activa la correspondiente representación semántica.

1.3.2 Modelos conexionistas

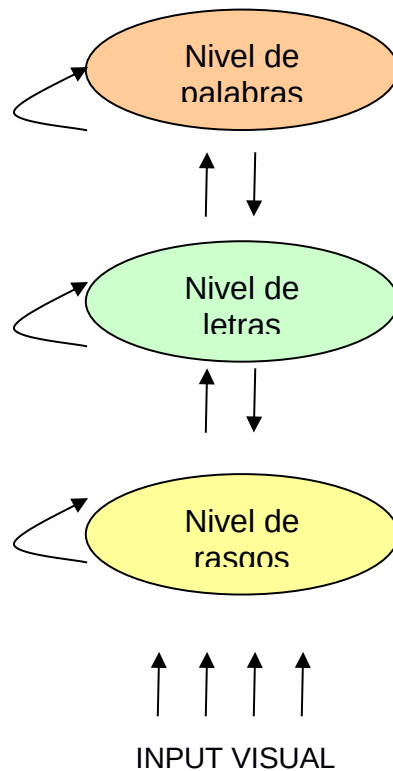
Los modelos computacionales de arquitectura conexionista están inspirados en el funcionamiento cerebral y tratan de simular las redes neuronales. Conciben el sistema de lectura formado por redes compuestas por un gran número de unidades conectadas entre sí. Se caracterizan por defender una relación bidireccional.

El procesamiento de la información ocurre paralelamente bien de forma ascendente o descendente. Además, estos modelos postulan un único mecanismo para el reconocimiento de las palabras a diferencia del modelo dual.

1.3.2.1 Modelo de activación interactiva (localista)

El procedimiento interactivo, basado en la metáfora neuronal, supone que las operaciones de varios niveles de procesamiento ocurren temporalmente en paralelo o en “cascada”, y además influyen unas sobre otras. Los efectos contextuales hallados en diferentes investigaciones apoyan una interpretación interactiva.

El procesamiento de la información tiene lugar tanto de arriba-abajo como a la inversa, es decir, los nodos de palabras pueden ejercer relaciones excitatorias con el nivel de letras favoreciendo la activación de aquellas que no hayan alcanzado el umbral de activación, al igual que el nivel de letra puede establecer relaciones con el de rasgo que favorezca la activación de ciertas unidades. Además su funcionamiento en paralelo hace que se puedan producir a la vez reconocimiento de las diferentes unidades en los diferentes niveles.



Representación del Modelo de activación interactiva de McClelland y Rumelhart (1981)

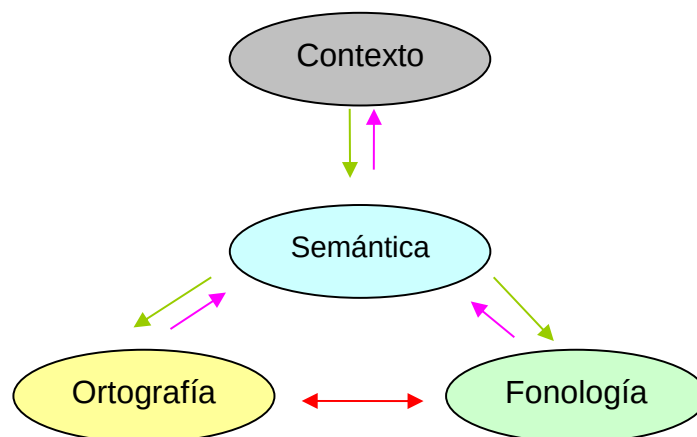
Aunque en algunos modelos conexionistas, como el modelo de activación interactiva para el reconocimiento de palabras propuesto por McClelland y Rumelhart (1981), cada unidad de procesamiento corresponde a un rasgo, una letra o palabra particular, por lo general, las representaciones en los sistemas conexionistas se encuentran distribuidas en el conjunto de unidades de la red. Esta red está dotada de las siguientes propiedades: 1) Tiene capacidad de autogenerarse, ya que nuevos “inputs” pueden clasificarse de la misma manera que otros semejantes existentes en el sistema; 2) tiene la capacidad de completar un patrón especificado de una manera incompleta, la red es capaz de proporcionar las activaciones correspondientes en los nodos que carecen de ellas; 3) tolera imperfecciones, de manera que cuando se lesionan ciertas unidades del sistema su funcionamiento se resiente ligeramente pero no se imposibilita totalmente. Esta última característica hace que estos modelos se asemejen más a la arquitectura cerebral, en la que el deterioro de una serie de neuronas, no impide el

funcionamiento del sistema, sino sólo produce un deterioro que depende de la extensión y localización de la lesión.

1.3.2.2 Modelo de triángulo (distribuido)

El modelo cerebral de la mente defendido desde esta nueva perspectiva afirma que las funciones cognitivas se producen en redes que operan en paralelo (Lloyd, 1989). Estos modelos no creen en la necesidad del programa almacenado ni de un lenguaje interior constituido por la manipulación de símbolos. Se trata, por tanto, de modelos no simbólicos de la mente en los que la actividad surge de la fuerza de las conexiones entre las unidades del sistema, no de los símbolos codificados dentro del sistema, siendo los pesos de estas conexiones los que determinan el funcionamiento de la red.

Entre los modelos conexionista, el más conocido es el modelo de triángulo propuesto inicialmente por Seidenberg y McClelland (1989). Es un modelo completamente interactivo, éste considera que el proceso de lectura está compuesto por tres dominios representacionales: ortografía, fonología y semántica, conectados entre sí en forma triangular. No hay un léxico en el que se encuentren representadas las palabras, todo está distribuido por la red. Es un modelo conexionista distribuido.



Representación gráfica del modelo de Seidenberg y McClelland (1989)

Este modelo no distingue entre ruta léxica y subléxica, ya que para la lectura de pseudopalabras se utilizan los mismos procedimientos que para las palabras, sin embargo sí que asume la existencia de dos vías distintas para

la lectura en voz alta, una vía que conecta directamente la ortografía con la fonología y otra lo hace a través de la semántica. Igualmente, para el acceso al significado se puede pasar directamente de la ortografía a la semántica o se puede ir a través de la fonología. Cuántas más veces se produzca la activación de cada nivel, mayor será la fuerza de conexión. Las palabras de alta frecuencia serán reconocidas más rápidamente que las de baja frecuencia. Es un modelo de aprendizaje. Recordemos que en el modelo de triángulo la información sobre las palabras no se encuentra almacenada en unidades concretas, está distribuida en la red.

Un debate de larga duración en la investigación de la lectura ha sido si las palabras impresas son percibidas de manera anticipada en la base de la información ortográfica, o si el sistema es totalmente interactivo y la retroalimentación de estas representaciones ofrece de forma temprana el reconocimiento visual de palabras.

Carreiras, Armstrong, Perea y Frost (2014) revisaron la evidencia reciente a partir de imágenes de resonancia magnética funcional, electroencefalografía, magnetoencefalografía, y el modelado conexionista biológicamente plausible, centrándose en cómo cada método ofrece penetración en el flujo temporal de información en el sistema léxico.

El modelo conexionista ofrece una plataforma mecánica que permite investigar el “dónde” y “cuándo” del reconocimiento visual de la palabra y los relacionan directamente a las preguntas de “qué” (representaciones) y “cómo” (mecanismos de procesamiento) que trabajan en conjunto para la percepción de las palabras escritas. Por otra parte, los modelos conexionistas permiten a los investigadores explorar las propiedades emergentes de éstos sistemas y desarrollar programas de investigación empíricos dirigidos para el futuro.

Muchos estudios de resonancia magnética funcional han investigado los circuitos cerebrales que son la base de la lectura. El hemisferio izquierdo juega un papel importante en la lectura y el circuito de lectura consiste en una red con dos vías principales: (i) una vía dorsal incluyendo la zona occipital, supramarginal y las circunvoluciones angulares, la zona promotora y el par opercularis (área 44 de Brodmann) en la corteza frontal inferior; y (ii) una vía ventral que integra el fusiforme izquierdo, el triangularis medio y temporal anterior y el par en la corteza frontal inferior. Desde una perspectiva del procesamiento anatómico, el giro fusiforme izquierdo es considerado un área relativamente “temprana” de procesamiento, está implicado en el procesamiento ortográfico.

Los modelos conexionistas ofrecen varias rutas para explorar estas posibilidades. Una particularmente importante es la capacidad de incorporar limitaciones neurobiológicas adicionales en los modelos conexionistas

estándar (Por ejemplo, mediante la especificación de diferentes subpoblaciones de neuronas inhibitoras y excitadoras) para simular electrofisiológicamente las respuestas de comportamiento (Armstrong, 2012). En las últimas décadas se han llevado a cabo investigaciones dedicadas a buscar relaciones entre funcionamiento cerebral y el procesamiento lingüístico en el aspecto sintáctico, semántico, ortográfico y fonético (Kutas, Van Petten y Even, 2011). Por ejemplo, Laszlo y Plaut (2012) mostraron cómo un modelo puede generar y explicar dinámicas electrofisiológicas correspondientes al componente N400 en los potenciales relacionados con eventos (*Event Related Potentials*, ERPs). Tanto en el lenguaje oral como en el lenguaje escrito, las palabras que componen un mensaje se perciben e interpreta de acuerdo con el contexto que se ha establecido. Ciertos experimentos psicolingüísticos han confirmado que las palabras más esperadas dentro de un contexto se reconocen y entienden más rápidamente que las poco esperadas, (Fischler y Bloom, 1979; Stanovich, 1981). Otros experimentos mostraron que el N400 era específico para discrepancias semánticas y no una reacción general a cualquier estímulo inesperado. Por ejemplo, cuando las palabras presentaban cambios físicos (letras de mayor tamaño) no aparecía N400, sino el componente P300 (Kutas, 1980).

Por otro lado, la denominada “área visual de la palabras” se suele asumir que es un centro preléxico, específico para las palabras escritas. Otra posición teórica, sin embargo, postula que la activación de la zona de la forma visual de la palabra es modulada por propiedades superiores lingüísticas de estímulos tales como la fonología, morfología y semántica. Estos dos enfoques ofrecen muy diferentes puntos de vista de la lectura: El primero es compatible con la noción de prealimentación de la modularidad temporal (y estructural), con la lectura se considera que las áreas cerebrales dependen de una secuencia de consecutivo en una jerarquía de representaciones ortográficas áreas cerebrales sensibles (v.g., letras, grupos de letras) que culmina en el reconocimiento de una palabra. Este último considera la lectura como un sistema de procesamiento totalmente interactivo donde el nivel más alto de información lingüística no es modulado necesariamente con un procesamiento ortográfico temprano.

1.4. Los trastornos de la lectura

1.4.1 Concepto de dislexia

Según la *International Dyslexia Association* (2003): “La dislexia es una dificultad específica de aprendizaje cuyo origen es neurobiológico. Se caracteriza por la dificultad en la exactitud y/o fluidez de reconocimiento de las palabras, por la mala ortografía y deficiente decodificación en la lectoescritura. Estas dificultades, que suelen resultar de un déficit en el componente fonológico de la lengua, suelen ser inesperadas en relación con otras capacidades cognitivas y con una instrucción eficaz en el aula. Como consecuencias secundarias pueden aparecer problemas en la comprensión lectora y la reducción de su velocidad, que pueden impedir el incremento de vocabulario y el conocimiento del contexto” (Lyon, Shaywitz y Shaywitz, 2003, p. 2).

La mayoría de los estudios coinciden en que la dislexia tiene un componente genético, y por ello, resulta muy frecuente encontrar en una familia a más de una persona con dislexia. Es independiente de cualquier causa intelectual, cultural y emocional, y se da a pesar de una inteligencia normal o por encima de la media (véase Gabrieli, 2009, para una revisión). Esta disfunción puede producirse antes de que el sujeto haya adquirido la lectura o después de adquirida, por lo que hay que distinguir dos grandes grupos de dislexias: dislexias adquiridas y dislexias evolutivas.

De acuerdo con el DSM-V (Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, 2013) el término dislexia no queda precisado y pasa a codificarse como Trastorno de Lectura. El niño que es diagnosticado de Trastorno de Lectura debe cumplir los siguientes criterios:

A. El rendimiento en lectura, medido mediante pruebas de precisión o comprensión normalizadas y administradas individualmente, se sitúa sustancialmente por debajo de lo esperado dada la edad cronológica del sujeto, su cociente intelectual y la escolaridad propia de su edad.

B. La alteración del criterio A interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida cotidiana que exigen habilidades para la lectura.

C. Si existe un déficit sensorial, las dificultades para la lectura exceden las habitualmente asociadas a él.

Son dos los aspectos a añadir a esta definición, una es la edad mental del sujeto y la otra su historia vital. Si bien el DSM-IV hace referencia al cociente intelectual para descartar que las dificultades lectoras no se deban a un déficit de la capacidad cognitiva, nuestra experiencia diagnóstica hace que debamos añadir la importancia de delimitar la edad mental del sujeto, y si ésta se encuentra en detrimento significativo de la edad lectora. Otro de los aspectos al que nos referiremos y que es esencial para el diagnóstico, es la historia vital del evaluado. El

conocimiento de la presencia de indicadores de riesgo durante su proceso madurativo, complementan los resultados de las pruebas estandarizadas y nos permiten diagnosticar con una gran fiabilidad. Los trastornos de aprendizaje (entre los que se incluye la dislexia) deben diferenciarse de las variaciones normales de rendimiento, así como de la falta de oportunidades escolares o factores culturales. El trastorno del cálculo y el trastorno de la expresión escrita se presentan frecuentemente en combinación con el trastorno de lectura. Según la mayoría de los estudios recientes, la dislexia se caracteriza por una alteración en el procesamiento fonológico, es decir, en la capacidad de decodificación fonema-grafema. En las publicaciones más recientes se enfatiza el carácter unitario de las dislexias, atribuyendo a la alteración fonológica la base patogénica de las dislexias (Shaywitz, 1995) y obviando las teorías que diferenciaban tipos de dislexia. Sin embargo, debemos tener en cuenta que no encontraremos dos disléxicos iguales (Alvarado et al., 2007).

1.4.2 Dislexias adquiridas

En las dislexias adquiridas, habiendo logrado un determinado nivel lector, el sujeto pierde en mayor o menor grado, como consecuencia de una lesión cerebral- del tipo que sea- alguna de las habilidades que poseían. Puede ocurrir que una lesión cerebral lesione alguno de estos componentes y deje el resto intacto, de manera que se alteren ciertas habilidades que permanezcan en funcionamiento el resto.

Podemos distinguir distintos tipos de dislexia producidas por lesión de alguno de los componentes del sistema de lectura, que tratamos en los siguientes subapartados.

1.4.3 Dislexias periféricas

Afecta al control de los movimientos de los ojos debido a un déficit en el comportamiento oculomotor. Los sujetos con dislexia periférica, no padecen ningún déficit perceptivo, sólo cometen errores con estímulos lingüísticos. Estos trastornos se producen porque los sujetos no tienen una buena representación de la palabra y de ahí que no consigan identificarla a pesar de tener su percepción intacta.

Dentro de las dislexias periféricas se distinguen tres categorías, denominadas: dislexias atencional, dislexia visual y dislexia letra a letra.

1.4.3.1 Dislexia atencional

Los pacientes pueden reconocer tanto las letras aisladas como palabras de forma global, pero son incapaces de identificar las letras cuando forman parte de una palabra (Patterson, 1981). El disléxico atencional tiene dificultades para discriminar dentro de una categoría en función de la posición y, sin embargo, cuando se le muestran varias palabras, las letras migran en función de su posición en ella. Pero estos errores también se pueden dar en sujetos normales si se modifican las condiciones experimentales. Dentro de las palabras, el conocimiento del nivel superior puede limitar la posición de la letra, por lo que, aunque las letras permuten, siguen teniendo aspecto de palabras, produciendo errores de migración.

Aún no está claro a qué se debe este deterioro, pero el hecho de obtener resultados similares tanto en pacientes como en sujetos normales, respalda la idea de que la información categorial está disponible antes de la selección atencional.

1.4.3.2 Dislexia visual

Se define a partir de la dificultad para seguir y retener secuencias visuales y para el análisis e integración visual de los rompecabezas. No está relacionada con problemas de visión, sino sólo con la inhabilidad de captar lo que se ve. La mayoría de los sujetos perciben letras y algunas partes de la palabra invertidas, son lentos y tienen problemas con la secuencia. En particular, la dislexia visual se caracteriza por la inhabilidad para captar el significado de los símbolos del lenguaje impreso. Este tipo de dislexia es el más fácil de corregir, usualmente por medio de ejercicios adecuados pueden aprender los signos gráficos con precisión y gradualmente aprender secuencias; aunque la lentitud podrá persistir.

1.4.3.3 Dislexia letra a letra o alexia pura

Es una dislexia debida a problemas lingüísticos que se produce en estadios iniciales del procesamiento de la palabra escrita. Para poder leer una palabra, el sujeto tiene que nombrar (generalmente en voz alta) cada una de las letras que la componen. Su lectura es lenta y trabajosa, si bien con tiempo pueden leer bien cualquier palabra. Tiene la comprensión oral y escrita en buen estado. Los pacientes con alexia pura suelen tener dañado el lóbulo occipital izquierdo. La localización de la lesión a nivel cognitivo no está clara dado que algunos autores defienden que el déficit se encuentra en el proceso de identificación de letras y otros postulan que es la conexión entre el almacén de representaciones de letras con el léxico visual la que está deteriorada (Cuetos, 2001).

1.4.4 Dislexias centrales

Se producen en las rutas que conectan los signos gráficos con el significado. Los sujetos que la padecen no tienen problemas a nivel perceptivo, peor son incapaces de reconocer las palabras. El trastorno se produce por alteraciones en las rutas de acceso del significado, y dependiendo de qué ruta esté dañada los síntomas serán distintos y en consecuencia se hablará de distintos tipos de dislexia:

1.4.4.1 Dislexia fonológica

Si un sujeto tiene alterada la ruta fonológica, será capaz de leer las palabras familiares a través de la ruta visual, pero será incapaz de leer, o lo hará con dificultad, las palabras desconocidas y las pseudopalabras, ya que éstas no disponen de una representación en el léxico visual que le permita su reconocimiento.

La dificultad específica de los disléxicos fonológicos para leer pseudopalabras no se debe a problemas articulatorios, ya que estos pacientes pueden repetir cuando se les dicta oralmente, tampoco se debe a problemas perceptivos ya que identifican sin dificultad las letras que componen las pseudopalabras (Cuetos, 2008).

Destacan como errores típicos: los fallos de lexicalización; confunde pseudopalabras o palabras desconocidas con palabras ortográficamente correctas y los errores derivativos consistentes en leer la raíz de la palabra correctamente e inventar el resto, o también, en cambiar las palabras función.

Los disléxicos fonológicos no constituyen un grupo homogéneo, ya que la ruta fonológica está compuesta por tres subprocesos, si se altera el *Análisis grafémico* el sujeto tendrá problemas con el agrupamiento de las letras en

grafemas, si se altera la *Asignación de fonemas* el sujeto tendrá problemas para asignar los fonemas correspondientes a los grafemas y se altera la *Combinación de fonemas* el sujeto tendrá problemas para combinar los fonemas en una pronunciación conjunta.

Por otro lado, los disléxicos fonológicos suelen padecer otros trastornos de lectura los más llamativos son los errores derivativos y cambios en las palabras funcionales. La explicación que se da a los errores derivativos es que en las palabras compuestas la raíz se analiza por la ruta visual, que en estos sujetos está intacta, y los afijos por la ruta fonológica, que se encuentra dañada (Temple 1984). Igualmente se considera que las palabras funcionales son elementos sintácticos que no tienen representación semántica y que por tanto son leídas por a través de la ruta fonológica (Cuetos, 2001).

1.4.4.2 Dislexia superficial

El lector tiene dañada la ruta visual. Puede seguir leyendo las palabras regulares, sean o no familiares, pero es incapaz de leer palabras que no se ajustan a las reglas de conversión grafema a fonema. Leen las palabras irregulares como si se ajustasen a las reglas de conversión grafema a fonema. Sus errores son de regularización, las pronuncian como si se ajustasen a las reglas de conversión grafema a fonema con lo cual los sonidos no coinciden con ninguna palabra, o si coinciden (caso de los homófonos [v.g., vaca y baca] o pseudohomófonos [orchata]) le da una interpretación que no le corresponde. La dislexia superficial se puede dar por lesiones en puntos diferentes, si la lesión se produce en el *léxico visual*, el paciente no podrá acceder al significado de las palabras irregulares mediante la lectura, pero sí a través del lenguaje oral, puesto que su sistema semántico está intacto. No tendrá problemas de denominación puesto que su léxico fonológico también funciona normalmente. Si la lesión se produce en el *sistema semántico* el paciente tendrán problemas para entender las palabras escritas y para entender las palabras orales e incluso para hacer uso de ellas en producción (tanto en habla como en la escritura). Si la lesión se produce en el *léxico fonológico* los pacientes pueden comprender las palabras irregulares pero si se les pide que las lean en voz alta, al no poder hacer uso del léxico fonológico tienen que recurrir a la ruta fonológica produciendo los consiguientes errores de regularización. Estos pacientes acceden al significado de las palabras por su forma ortográfica y no por su pronunciación.

1.4.4.3 Dislexia semántica

Hablamos de dislexia semántica cuando existe una lesión en la conexión entre el léxico visual y el sistema semántico. El sujeto puede leer palabras a través de la conexión entre la ruta visual y el léxico fonológico, pero no recupera su significado. Esta posibilidad también se ha encontrado en varios pacientes que leen la mayoría de las palabras, tanto regulares como irregulares, lo que indica que están haciendo uso de la ruta visual, pero que son capaces de entender lo que significan.

1.4.4.4 Dislexia profunda

El trastorno abarca ambas rutas, produciéndose los síntomas característicos de ambas lesiones. Lo más particular de esta lesión son los errores semánticos; consisten en decir una palabra por otra con la que no guarda ninguna relación visual, aunque sí semántica. Los pacientes tendrán también dificultades para leer pseudopalabras y problemas para acceder al significado. Los disléxicos profundos son incapaces de leer ciertas clases de palabras (palabras abstractas, verbos, palabras funcionales...), lo cual indica un mal funcionamiento de la ruta visual. Además producen errores visuales (“polo” por “bolo”) y derivativos (“marchó” por “marchaba”). Respecto a la dificultad de los disléxicos profundos para reconocer palabras abstractas, una de las más interesantes explicaciones que se han dado es que las palabras están organizadas en el sistema semántico por categorías. La dificultad con las palabras abstractas se debería entonces a una dificultad en activar esa categoría. Podemos hablar de dos tipos de dislexia profunda en función del componente dañado, el léxico visual o conexión del léxico visual con el sistema semántico/ léxico fonológico (Cuetos, 2008).

1.4.5 Dislexias evolutivas

En 1970, la Federación Mundial de Neurología definió el síndrome de dislexia evolutiva (o dislexia infantil) “como un desorden que se manifiesta en la dificultad de aprender a leer a pesar de una instrucción convencional, inteligencia adecuada y oportunidades socioculturales” (Cf. Critchley, 1985).

Los niños con dislexia evolutiva suelen tener un retraso específico para la lectura o en todo caso para el área del lenguaje. En actividades como razonamiento, cálculo numérico..., que no exigen hacer uso del lenguaje, su ejecución puede ser incluso superior a la media. Esta es otra característica que los diferencia de los niños con problemas de lectura no disléxicos, ya que éstos suelen ir retrasados en todas las materias.

1.4.5.1 Tipos de dislexias evolutivas

Existen varios tipos de dislexias evolutivas en función del componente que se asume dañado. Si el lector presenta anomalías en el control oculomotor (movimientos sacádicos más cortos, fijaciones más largas, mayor número de regresiones) estamos hablando de un **Déficit en los procesos perceptivos**. Pero tampoco en estos casos está claro si esas anomalías son la causa o el resultado de las dificultades lectoras. Se ha mantenido durante bastante tiempo que el proceso de análisis visual era el responsable de las alteraciones de los disléxicos evolutivos. Sin embargo la evidencia empírica no parece indicar que ésta sea la causa principal. Estudios recientes demuestran que cuando las tareas no exigen la denominación verbal de los estímulos visuales, los disléxicos tienen una ejecución similar a los controles. Sus resultados son peores cuando tienen que aplicarles etiquetas verbales. Eso significa que su déficit no se debe a una alteración en el procesamiento visual, sino a problemas de tipo verbal (Ziegler, Pech-Georgel, Dufau y Grainger, 2010).

Déficit en el reconocimiento de palabras. En la dislexia evolutiva se ha comprobado que es en el procesamiento léxico en el que se encuentran las mayores diferencias entre niños disléxicos y sujetos normales (Miles y Ellis, 1981).

El estudio de cómo reconocemos palabras puede aportar luz al funcionamiento de los procesos de lectura, actuando como un primer paso para llegar al esclarecimiento de procesos más complejos implicados en la lectura de unidades gramaticales mayores: frases, párrafos y textos (Perea y Rosa, 2000) En este sentido, el conocimiento

de los procesos subyacentes al reconocimiento visual de palabras ha resultado especialmente útil en la evaluación y posterior rehabilitación de algunos trastornos de lectura como, por ejemplo, los diferentes tipos de dislexia). En unos casos las dificultades se pueden producir por incapacidad de hacer uso de la ruta fonológica, en otros casos de la ruta visual, y en otros por dificultades en ambas rutas. En función de cual es la ruta que no está funcionando de manera se observarán dificultades en la ruta fonológica, dificultades en la ruta visual o dificultades en ambas rutas. En función de donde se encuentre el problema, el trastorno será más o menos similar a los subtipos de dislexias adquiridas.

Estudios de Mann, Shankweiler y Smith (1984) llevaron a la conclusión de que no existía retraso a nivel sintáctico, sino que los problemas se situaban en la memoria de trabajo. **Déficit en el procesamiento sintáctico.** Jiménez et al (2002) concluyeron que los niños con dificultades lectoras en una ortografía consistente mostraban un déficit en el procesamiento sintáctico incluso controlando la memoria de trabajo. La memoria de trabajo se refiere a la retención de la información en la memoria inmediata. Este aspecto es fundamental para la lectura sobre todo en los inicios lectores ya que las reglas de conversión grafema-fonema deben ser guardadas en la memoria mientras los nuevos segmentos son procesados. Si hay dificultades en el procesamiento sintáctico lo habrá también en la fluidez y en la eficacia lectora. Los problemas sintácticos influyen también en la lectura de palabras simples, el reconocimiento funcional de las palabras y en aquellos términos difíciles de reconocer fuera de un contexto semántico.

Cuando el sujeto no es capaz de organizar los conceptos del texto en una estructura coherente o es incapaz de integrar esa estructura en su conocimiento hablamos de **Déficit en el procesamiento semántico.** La comprensión de un texto, por sencillo que sea, requiere un conocimiento complejo del mundo y un amplio rango de experiencia, y muchas veces los lectores son incapaces de comprender un párrafo o texto porque no poseen los conocimientos necesarios para su comprensión. Se ha comprobado que los sujetos con dificultades lectoras poseen menos conocimientos generales que los lectores normales.

1.5 Diagnóstico de los trastornos de lectura

Existen varios enfoques sobre el diagnóstico de la dislexia, sus posibles causas y tratamiento. Los hallazgos neurocientíficos han confirmado que la dislexia es un trastorno complejo con una génesis multifactorial, que toma diferentes formas entre las que predominan las dificultades fonológicas y además el factor genético es determinante para su predisposición. Sin embargo, al parecer la edad a la que se realiza la intervención terapéutica parece jugar un papel importante dado que se ha encontrado que los patrones de activación cerebral en los niños más pequeños después de mejorías en el desempeño lector se asemejan a los observados en niños lectores típicos (Aylward et al., 2003; Meyler, Keller, Cherkassy, Gabrieli y Just, 2008; Richards et al., 2007; Shaywitz et al., 2004).

Un primer paso para tratar de identificar la causa de trastorno lector es fijarse en los síntomas tanto al leer como al escribir. Algunos de los siguientes déficits aparecen con gran frecuencia:

1. Dificultades de lectura

- Lectura lenta
- Inicio lento, largos periodos de titubeos
- Pérdida del lugar dónde se está leyendo
- Omisión, remplazo, inversión o adición de una palabra o parte de una palabra
- Fraseo incorrecto
- Cambio de palabras en las oraciones o de letras en las palabras

2. Errores ortográficos

- Errores en el sonido (fonológicos)
- Correspondencia letra-sonido insegura e inestable
- Errores en la secuenciación (intercambio de letras en las palabras)

- Omisión de letras o partes de palabras
- Inserción de letras incorrectas o partes de palabras
- Inversión de letras en las palabras (b-d, p-q)
- Errores en el manejo de las reglas de ortografía incluyendo el uso de mayúsculas
- Dificultades para memorizar
- Inconsistencia en los errores

Es importante destacar que no existe un error que tipifique la dislexia. Los errores varían en cada sujeto es por ello que los diversos tipos de errores de lectura y escritura, han propiciado la clasificación de la dislexia en subgrupos. La identificación de tales subgrupos es de gran importancia tanto para identificar las causas de los trastornos lectores como para escoger la terapia apropiada. Sin embargo, un buen número de estudios han demostrado que existe más solapamiento entre los grupos que diferencias entre ellos. Así, múltiples causas, diferentes grados de expresión, varios factores de desarrollo y probablemente la interacción entre ellos es lo que crea esta diversidad (Ramus, 2003). Lo anterior naturalmente conlleva a que el diagnóstico sea muy amplio con el objetivo de especificar debilidades y fortalezas en las áreas cognitivas, emocionales y sensorio-motrices de cada niño que se sospecha algún déficit lector. En los sistemas de escritura de tipo alfabético, es decir, aquellos que representan el sonido a través de una relación grafema–fonema–grafema, se han identificado diferentes características que pueden incidir en la expresión de la dislexia. De estas características, las más estudiadas son el grado de transparencia – opacidad en la relación grafema – fonema – grafema, las características silábicas y la presencia del acento gráfico o tilde (Preilowski y Matute, 2011). Se considera que el español es transparente para leer dado que la relación unívoca grafema – fonema es del 83% y menos transparente para escribir puesto que la relación unívoca fonema – grafema es del 43% (Leal y Matute, 2001); de ahí que resulte en español más fácil leer que escribir. Las características de las sílabas son otro atributo de la lengua que facilita o complica su representación gráfica. En español, el mayor número de sílabas es simple, consonante – vocal (Moreno, Torre, Curto y de la Torre, 2008). Finalmente, está el acento gráfico. El uso de éste varía a través de las lenguas. En español, el acento gráfico se utiliza principalmente para marcar la sílaba tónica en palabras con un patrón de

acentuación no dominante. La identificación de la sílaba tónica es esencial para la comprensión de las palabras durante la lectura (Gutiérrez y Palma, 2004). De ahí que la identificación de la sílaba tónica a través del acento gráfico en palabras con un patrón de acentuación no dominante sea relevante para el lector. Estudios como el de Aguilar Isaías (2006) mostraron que los niños disléxicos presentaban un mayor déficit en tareas de procesamiento fonológico, las dificultades más frecuentes se observaban en las pruebas de atención, memoria de textos, comprensión de instrucciones y velocidad de procesamiento, no se encontró correlación entre el número de áreas afectadas y el desempeño escolar ni el índice general de habilidad cognitiva, medido a través de una prueba de inteligencia. Esto sugiere que el grado del déficit disléxico no puede ser explicado simplemente adicionando varios déficits cognitivos, por lo que se concluyó que un problema en la conciencia fonológica es el núcleo de la dislexia. Las otras debilidades cognitivas pueden ser consideradas como comorbilidades, que de hecho tienen alguna influencia moduladora del desarrollo de las habilidades de lectura y escritura así como del comportamiento en general. Ellas deben por lo tanto, también ser incluidas en el planteamiento de una terapia individualizada. El diagnóstico de la dislexia no está únicamente dirigido al trastorno específico de los trastornos lectores sino que también es conveniente detallar un perfil de los aspectos cognitivos, la actitud de cada niño y las condiciones socio-ambientales de la escuela y la familia. El objetivo es establecer un plan individualizado de intervención siendo lo más multidisciplinar posible.

- Terapia neuropsicológica dirigida a las funciones básicas (atención, percepción, funciones sensorio-motrices, lenguaje, etc.).
- Terapia de aprendizaje (conciencia fonológica, conocimiento alfabético, automatización de las asociaciones letra-sonido, reglas ortográficas, etc.).
- Psicoterapia (control de la ansiedad, fortalecimiento de la autoestima).
- Orientación a padres.

1.6 Tratamiento de los trastornos de lectura

Si bien el objetivo de esta tesis es localizar y analizar donde hay problemas para tratarlos, vamos a hacer una visión completa del tema ofreciendo una pequeña pincelada del tratamiento de los trastornos de la lectura.

La intervención en los trastornos de la lectura puede ser preventiva o terapéutica. Los métodos científicos de neuroimagen apoyan los hallazgos sobre la efectividad de varios enfoques terapéuticos, existe un consenso en apoyar al diagnóstico neuropsicológico como plataforma para la toma de decisiones. De igual importancia es la supervisión continua y el ajuste individual de las intervenciones basados en la caracterización del perfil cognitivo-emocional del paciente y de los cambios que se observen durante el proceso de intervención.

No es posible “curar” la dislexia, pero si se pueden obtener mejorías importantes, sobre todo cuanto más temprano se inicie el tratamiento (Schneider, Visé, Reimers y Blaesser, 1994; Torgesen et al., 2001). Es importante desarrollar medidas preventivas si existe posibilidad hereditaria de ser disléxico. Las neurociencias y enfoques neuro-genéticos son especialmente eficaces para hacer de la prevención una realidad (Hoeft et al., 2011). El tratamiento temprano ha mostrado reducir los síntomas a tal grado que aun cuando permanecen las dificultades -principalmente en la fluidez lectora y en la ortografía- la escuela, la formación profesional y los estudios académicos pueden ser completados con éxito. Sin embargo, con frecuencia, especialmente si no hay historia familiar de este problema, puede ser que las dificultades escolares persistan por algún tiempo antes de que se detecte la necesidad de ayuda especializada.

Teniendo en cuenta la ya probada importancia del procesamiento fonológico, se ha implementado en varios países un entrenamiento temprano en la percepción, discriminación y manipulación de los sonidos del habla para todos los niños que asisten a infantil. Aun cuando a primera vista parece que este tipo de programas pueden ser fácilmente integrados en la educación preescolar, la importancia para realizar esto con la ayuda de personal suficientemente entrenado y calificado no debe ser subestimada. En estos programas, todos los niños de preescolar son incluidos pero se sugiere la búsqueda de un déficit en la conciencia fonológica de manera individual, en cada niño, lo cual no es una tarea fácil. Además, los padres deben tomar conciencia de que las dificultades en las habilidades fonológicas no son evidentes en la vida cotidiana ya que en la conversación normal, la discriminación entre palabras puede funcionar en un nivel básico de distinción silábica, y mucha de la comprensión en la comunicación viene a través de la detección del significado a través del contexto. A través de programas dirigidos

a los padres para informarlos sobre estas dificultades, puede facilitar que ellos mismos se den cuenta de que los déficits del lenguaje pueden pasar inadvertidos hasta que el niño es forzado a transcribir los sonidos individuales en un código alfabético o logográfico. Si el niño nunca ha realizado o aprendido a analizar tales sonidos individuales (fonemas) que constituyen las sílabas de nuestras palabras, va a tener dificultades para aprender a leer y a escribir. Por lo tanto, una parte importante del esfuerzo para manejar la Dislexia del Desarrollo, es estar seguros de que estén enterados los padres y todas las personas involucradas en la atención del niño.

La educación temprana en preescolar y en el hogar debe incluir juegos con interacciones divertidas que promuevan las habilidades auditivas y fonológicas. Otra cosa que los papás pueden hacer por sus hijos, sea que tengan predisposición a desarrollar dislexia del desarrollo o no, es leer para ellos. Leer para los niños no es tan sólo otra forma para enseñarles a escuchar, sino que también es una manera para inculcar un sentimiento de qué tanto la información como la emoción pueden reunirse en aquello que se encuentra en los libros y otros escritos. Durante el proceso de aprendizaje de la lectura y la escritura esta emoción y la curiosidad natural de los niños resultan ser una motivación poderosa que ayuda al niño con desarrollo normal a leer más y mejor y con ello alimentar de manera exponencial en dominio de su lectura. Para los niños con Dislexia del desarrollo es absolutamente necesario vencer las dificultades y decepciones resultantes de sus primeras experiencias de lectura negativas y apoyarlos para que no se sumerja en una espiral descendente de fracaso en la lectura y la subsecuente evitación de leer. Esta falta de exposición adicional puede impedir cualquier experiencia positiva en detrimento de cualquier intento de enseñar al niño a leer.

Abordajes terapéuticos para remediar los problemas en la conciencia fonológica

Cuando se analizan las intervenciones terapéuticas, se pueden distinguir dos escenarios. Uno relacionado con los niños pequeños de preescolar a primer año de primaria, que tienen poca experiencia con el alfabeto y con la lectura, los cuales, sin embargo, están en riesgo de desarrollar Dislexia del desarrollo. La otra situación se relaciona con niños más grandes, de segundo grado de primaria en adelante, quienes ya han tenido una experiencia difícil de fracaso en el intento de aprender a leer. En general, los esfuerzos para prevenir que la Dislexia del desarrollo afecte de manera drástica a los niños se ha demostrado que la intervención en los más pequeños es más exitosa que con los niños más grandes que ya han mostrado síntomas de Dislexia del desarrollo por algún tiempo.

Con relación a los factores, que tienen una influencia positiva en el resultado, existen muchos puntos comunes entre la prevención y la intervención. El más relevante es el tamaño del grupo de intervención; uno o máximo dos o tres niños por grupo; igualmente importante es la calidad de los terapeutas y de los profesores, y la intensidad del tratamiento (cuatro a cinco días a la semana por un periodo extenso). Para los niños más pequeños el método de entrenamiento juega un rol importante: Un entrenamiento en la conciencia fonológica con prácticas básicas en el alfabeto y ejercicios sobre una asociación explícita grafema–fonema es efectiva. Los métodos implícitos, por otra parte, no los son tanto. Aparentemente, los niños pequeños no disponen de las habilidades cognitivas para hacer uso de métodos implícitos. En las intervenciones con los niños mayores no se observaron diferencias, los métodos implícitos o explícitos mostraron resultados similares. Especialmente importantes son los resultados de los estudios longitudinales a largo plazo, que enfatizan el hecho de que para que una mejoría persista después de la intervención, un aumento hasta cierto punto crítico en la velocidad de lectura debe alcanzarse. Si esta velocidad no se alcanza, la ejecución lectora decae de nuevo (Torgesen et al., 2001). Esto puede ser visto como un índice de la importancia de experimentar cierto éxito para detonar avances posteriores. Algo comparable como un motor de diesel, el cual debe ser preparado antes de encenderse de lo contrario se presentarán muchas explosiones internas, i.e. al encender el motor y al mantenerlo prendido. Tal preparación y encendido requieren de una terapia individualizada e intensiva. Para alcanzar la plasticidad cerebral sabemos que el entrenamiento intensivo y adaptativo conlleva a mayores efectos, y que este éxito y la recompensa que resulta son las secreciones de los transmisores que contribuyen a la estabilidad de los cambios plásticos (Moucha y Kilgard, 2006).

Terapia centrada en percepción del habla a través de programas computacionales

Diversos enfoques han desarrollado programas computacionales de terapia. Uno de los que mayor difusión ha tenido es el desarrollado por Tallal et al. (1996) A través de ejercicios utilizando estímulos del habla modificados los cuales acentúan ciertos rasgos del habla que se suponen facilitan su discriminación a los niños con dislexia del desarrollo. Los resultados de los primeros ensayos utilizando estos programas computacionales para terapia de la dislexia del desarrollo empleando lenguaje modificado (Merzenich et al., 1996; Tallal et al., 1996) han recibido tanto elogios como crítica.

Hay un estudio clásico en la historia de la psicofísica que demostró cambios con la práctica en cada tarea de discriminación sensorial (Volkman, 1858). De igual forma, el desarrollo de video juegos específicos ha incorporado estos principios de práctica y aprendizaje. Sin embargo, las mejoras reportadas en la percepción auditiva en los niños tratados no han sido siempre sorprendentes. Por ejemplo, datos aportados por estudios de neuroimagen han mostrado cambios significativos en los patrones de activación debidos al entrenamiento a la vez que avances excepcionales en la lectura y en la comprensión gramatical han sido menos aceptados (Studdert-Kennedy y Mody, 1995). La metodología de estos estudios también ha sido cuestionada con la emisión de diagnósticos correctos del grupo de niños seleccionado en los estudios realizados en los laboratorios de Merzenich y Tallal; se ha criticado de manera específica la falta de información sobre el diagnóstico y de claridad en la distinción entre alteración de lenguaje y dislexia del desarrollo en sus publicaciones. De igual forma, ciertos materiales de las pruebas de diagnóstico fueron utilizados también como material de entrenamiento y posteriormente para estudiar los efectos de la terapia por lo que quedan en tela de juicio sus resultados (véase Pennington 2011). Junto con estudios posteriores que carecían de controles adecuados, aun colegas bien intencionados se vieron orillados a sospechar de que cualesquiera que fueran los efectos obtenidos, éstos eran sesgados por otros factores indirectos tales como posibles mejoras en la atención. Uno de los estudios del primer autor también apunta hacia esa dirección (Wannke, 2004). Al tratar de identificar si los niños con dislexia del desarrollo realmente eran ayudados en la comprensión del habla, que había sido modificada en los programas mencionados anteriormente, se compararon lectores típicos con niños con dislexia del desarrollo. Se encontró que cada método de habla modificada (incluyendo las modificaciones utilizadas en los laboratorios de Merzenich y Tallal no discriminaba entre los niños sin dislexia del desarrollo de aquellos con dislexia del desarrollo (Wannke, 2004). Podemos concluir a partir de los hallazgos de los estudios anteriormente citados que en efecto, estos programas computacionales de terapia con habla modificada requieren de mucha atención ya que los niños son sometidos por semanas a largas sesiones en las que escuchan el habla, que es difícil de comprender, de seguir las instrucciones y hacer las selecciones apropiadas. Ciertamente, parte de la controversia acerca de las intervenciones terapéuticas basadas en programas computacionales se origina del hecho de que su uso comercial se ha convertido en negocios multimillonarios, y también de los anuncios engañosos tales como que estos programas están basados en siglos de investigación sobre el funcionamiento cerebral. En la revisión de la literatura sobre la efectividad de los

programas de enseñanza de la lectura y el tratamiento de la dislexia del desarrollo, auspiciados por el Instituto Nacional de la Salud de Estados Unidos (*National Institutes of Health* [NIH]), los autores llegaron a la conclusión de que los programas computacionales tales como los descritos antes, se recomiendan sólo como una intervención complementaria (*National Reading Panel*, 2000). Los únicos programas, que fueron considerados que tenían una efectividad probada científicamente, fueron aquellos que mejoran la conciencia fonológica.

2. JUSTIFICACIÓN

Existen motivos suficientes para investigar aspectos relacionados con los trastornos lectores. Hoy en día muchos niños presentan alguna dificultad específica en el aprendizaje de la lectura sin manifestar ningún déficit intelectual o sensorial y estando sometidos a un régimen de escolarización normal. La mayoría de los fracasos escolares tienen su origen en los trastornos de la lectura haciendo del desarrollo académico una frustración permanente por los resultados negativos obtenidos en prácticamente todas las materias académicas.

Los siguientes experimentos representan un modesto paso para poder conocer en mayor detalle el desarrollo en los procesos subléxicos de la lectura en niños normo-lectores y adultos, así como comparar dichos procesos en niños con problemas de lectoescritura. Pensamos que los resultados de los experimentos pueden tener implicaciones prácticas, de manera que permitan favorecer los resultados escolares, en particular en aquellos niños con dislexia.

En relación con la lectura, el desarrollo de los procesos subléxicos conlleva una serie de niveles: 1) *Segmentador* que implica segmentar la secuencia de letras en grafemas; 2) *Conversor* que consiste en hacer corresponder a cada grafema un fonema aplicando una serie de reglas simples (v.g., cuando un grafema se corresponde solo con un fonema) y contextuales (v.g., cuando un grafema puede corresponderse con más de un fonema dependiendo de las letras que le precedan); y 3) *Mezclador* que implica retener en la memoria de trabajo los fonemas que van apareciendo del conversor y fusionarlos debidamente para formar sílabas y, en su caso palabras.

Teniendo en cuenta este proceso de lectura se plantean los siguientes estudios experimentales:

2.1 El procesamiento de letras en espejo

A diferencia de lo que ocurre con dos objetos presentados en espejo, que son generalizados y percibidos como el mismo objeto, los niños que aprenden a leer han de suprimir dicha generalización para poder distinguir las diferentes letras. En este trabajo, revisamos experimentos recientes con niños normo-lectores y con dislexia, y examinamos si la supresión de la generalización de las letras en espejo afecta a todas las letras o especialmente a las reversibles (b-d). De hecho, nuestro sistema visual tiene la capacidad de reconocer que dos objetos que son idénticos, incluso cuando uno es la imagen en espejo del otro (Baylis y Conductor, 2001).

¿Qué implicaciones tiene en los modelos del desarrollo de la lectura? En el sistema educativo español, los niños comienzan a desarrollar sus habilidades lectoras antes de entrar en primaria, entre los 3 y 6 años. Los niños con un aprendizaje de la lectura normal, pueden desaprender la generalización de letras en espejo razonablemente temprano. La sensibilidad específica de las letras reversibles o letras invertidas podría interpretarse como evidencia funcional del sistema de identificación de letras. Por lo tanto, no es necesariamente sorprendente que esta sensibilidad aparezca de forma temprana durante el desarrollo de la lectura porque el conocimiento de la letra es uno de los primeros predictores del propio desarrollo lector.

En este sentido, los datos de Lachmann y van Leeuwen (2007) son particularmente relevantes. Utilizaron una misma tarea con dos estímulos distintos, rotados secuencialmente, y encontraron tiempos de respuesta más rápidos en la lectura de letras simétricas, del tipo (A) frente a las letras asimétricas del tipo (R) en niños disléxicos, no ocurrió lo mismo en niños normolectores. Curiosamente, cuando emplearon estímulos no lingüísticos, tanto los niños disléxicos como los niños normolectores mostraron una ventaja en los patrones simétricos. Los hallazgos de Lachmann y van Leeuwen sugieren fuertemente que los niños disléxicos no pueden desaprender la generalización de la simetría de los estímulos lingüísticos. Creemos que utilizando un paradigma de *priming* enmascarado puede proporcionar pistas importantes sobre si existen diferencias entre las letras reversibles y no reversibles en los niños disléxicos. El sistema cognitivo suprime activamente las imágenes de letras reversibles en espejo (por ejemplo “b” y “d”, pero puede no ocurrir lo mismo en las letras irreversibles como “r” o “c”). La investigación adicional utilizando otras técnicas (por ejemplo Potenciados Relacionados con Eventos) es necesaria para revelar el tiempo de activación de las imágenes de letras en espejo reversibles/ no reversibles dentro de la propia palabra, así como el procesamiento de palabras en espejo. En este sentido, un reciente estudio de resonancia magnética funcional por imágenes (*functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI), de Dehaene et al. (2010), utilizando la señal BOLD (*Blood Oxygenation Level Dependent*) como variable dependiente se encontraron datos significativos en relación a los objetos en espejo pero no en palabras espejo. Sería interesante examinar en qué medida las palabras en espejo es modulada por la presencia o ausencia de las letras reversible.

En nuestro trabajo de investigación se efectuaron experimentos con tareas de “*priming*” enmascarado para determinar si existe efecto espejo en la lectura de palabras que contienen, por ejemplo, las letras “d” y “b”. Pero

antes de indicar las manipulaciones realizadas, vamos a indicar brevemente la lógica de la técnica de priming enmascarado (Forster y Davis, 1984; Forster, 1987). Consiste básicamente en presentar una máscara proactiva (#####) durante 500 ms., seguida por un estímulo-señal en minúsculas, transcurrido un tiempo, aproximadamente entre 33 y 66ms, es cambiado por el estímulo-test en mayúsculas sobre el que se ha de generar la respuesta, normalmente una decisión léxica, es decir decidir entre palabra o no palabra o la pronunciación estímulo-test. Se manipula la relación entre el estímulo-señal y el estímulo-test (v.g., casa CASA vs. puro-CASA, en el caso de querer examinar el “*priming*” de repetición). Es importante destacar que estos procesos que subyacen al “*priming*” enmascarado ocurren sin necesidad del control consciente del sujeto y actúan muy rápidamente (véase Forster, 1998).

Entre las manipulaciones que se realizaron se empleó el estímulo-señal que contienen palabras con “d” y “b” tanto en posición inicial como final. Pretendiendo estudiar a partir de los resultados obtenidos si existen diferencias significativas en la lectura de palabras y pseudopalabras entre niños de siete a nueve años normolectores y niños de las mismas edades con trastornos lectores. Las letras reversibles, por ejemplo “p” y “q”, disfrutaban de un papel particular en el proceso de reconocimiento visual de las palabras, ¿Cómo pueden los modelos computacionales de reconocimiento visual de palabras explicar los resultados actuales? El modelo computacional de mayor influencia en la investigación con *priming* enmascarado ha sido el modelo de activación interactiva (McClelland y Rumelhart, 1981, por ejemplo, véase Davis y Lupker, 2006, para simulaciones sobre este modelo) y sus sucesores (por ejemplo, modelo de lectura múltiple, Grainger y Jacobs, 1996; modelo de doble ruta en cascada, Coltheart et al., 2001). La implementación actual del modelo de activación interactiva solo incluye letras en mayúsculas, por lo tanto tendría que añadir un conjunto de letras en minúsculas y mayúsculas, un argumento similar se aplica al modelo de codificación espacial (Davis, 2010). Incluso, si fuera el caso, una pregunta restante sería ver cómo el modelo hace frente el procesamiento de imágenes de letras en espejo no reversibles o incluso letras giradas.

Los modelos actuales de reconocimiento visual de palabras ofrecen información relevante pero no son suficientes, elaborar un sistema de codificación de entrada altamente flexible en relación a las características de las letras pudiendo estar parcialmente activadas, independientemente del punto de vista particular de cada uno, aportaría un paso más para mejorar los modelos computacionales de reconocimiento visual de las palabras. Un

argumento similar se aplica a las características específicas de cada letra pero no hay pruebas recientes para mostrar variaciones sutiles en reconocimiento visual de palabras y en la lectura (por ejemplo, véase Slattery y Rayner, 2010, y Fiset et al., 2008; por la evidencia de la efectos perceptivos de bajo nivel sobre el reconocimiento de las letras).

2.2 El papel de la información visual en la lectura

Muchas investigaciones han encontrado que las características visuales más destacadas en las propias letras tales como la forma del contorno, proporcionan una señal visual eficaz para el reconocimiento de las palabras en los inicios del aprendizaje de la lectura (Ehri y Wilce, 1985; Johnston et al, 1991; Materson et al., 1992; Mayall, 2002). La gran mayoría de los modelos computacionales de reconocimiento visual de palabras asumen que se logra el acceso al léxico a través de la activación de las identidades de letras abstractas. A raíz de este aspecto, establecimos otro de los experimentos que conforman este trabajo de investigación, comparar pseudopalabras como “viotín”, con la misma forma que su palabra base: “violín” y por otro lado, pseudopalabras como “viocín”, con diferente forma a la palabra base. Lo estudiamos en lectores adultos y expertos, niños normo lectores y niños disléxicos.

Desde el punto de vista del desarrollo, Frith (1985) sugiere que las características visuales o señales, son importantes durante las primeras etapas del aprendizaje de la lectura. A medida que se aprenden más palabras, este método es poco a poco asumido por el procesamiento fonológico y el procesamiento visual-ortográfico ya no es el proceso principal en la lectura especializada (Ehri y Wilce, 1985; Frith, 1985). Las características visuales de las letras, su forma, contornos, tamaño..., etc.; podrían proporcionar señales eficaces para el reconocimiento de palabras. Mayall (2002), Webb et al. (2006) y Johnston et al. (1991) concluyeron que la dependencia en la información visual (en el sentido de la sensibilidad a las características visuales periféricas) disminuye habilidades tales como el procesamiento holístico y dan paso a otras estrategias en la lectura. El modelo de desarrollo implica que los normolectores adultos no deben verse afectados por la forma de la palabra, sin embargo juega un papel muy importante en el reconocimiento visual de la palabra.

Muchos investigadores siguen afirmando que las características tales como forma de la palabra juegan un papel fundamental en el reconocimiento visual de la palabra (por ejemplo, Allen, Wallace y Weber, 1995; Healy y Cunningham, 1992; Healy, Oliver y McNamara, 1987). Healy y Cunningham encontraron que el número de los errores se veía afectado por la forma palabra en palabras escritas en minúsculas, pero no en mayúsculas. Allen et al. (1995) sugirieron que las palabras se pueden formar bien a través de los códigos de nivel de letras o a través de los códigos de nivel de palabra. Este modelo predice que las palabras de alta frecuencia se pueden identificar por el canal a nivel de palabra, sensible a la frecuencia de uso y familiaridad de las palabras, mientras que en muchas ocasiones se identificarán las palabras de baja frecuencia por el canal de nivel de letras. Perea y Rosa (2002) encontraron un efecto de la forma de la palabra, usando letras mayúsculas y minúsculas, donde el efecto de forma fue mayor en las palabras de baja frecuencia que en las de alta frecuencia. Curiosamente estos resultados, contrastan con las predicciones de (Allen et al., 1995), respecto al papel de las señales visuales y ortográficas en los lectores adultos expertos.

Para resumir las disparidades en los resultados, Mayall (2002); véase también Webb et al. (2006), sostienen que la lectura visual se produce sólo en las etapas iniciales del desarrollo de la lectura; por lo tanto las señales de formato de texto, como todo esquema de palabra, no afectará a los adultos lectores. Por el contrario Perea y Rosa (2002) y Allen et al. (1995) examinaron los efectos en la forma de la palabra en los normolectores adulto, aunque con diferentes explicaciones teóricas. Debemos tener en cuenta que estos puntos de vista que contrastan tanto, no abordan la cuestión de los efectos de la forma de la palabra en el caso de la dislexia (en adultos). Suponiendo que las estrategias de lectura estándar se vean afectadas en la dislexia, y en particular en el procesamiento fonológico, puede darse el caso de que los adultos con dislexia tiendan a confiar más en las señales ortográficas al leer (véase Howard y Best, 1996), y por lo tanto le afectarían más las manipulaciones de la forma de la palabra.

Existen varias teorías para explicar el origen de la dislexia, una de ellas es la teoría del déficit fonológico (Ramus et al., 2003). Esta teoría postula que los problemas de lectura pueden atribuirse al hecho de que para leer con soltura y permitir una decodificación exitosa, una persona necesita aprender la forma de los grafemas y fonemas. Si la forma de la palabra puede facilitar la lectura en la dislexia, los niños normolectores se beneficiarían también usando estas señales a la hora de aprender a leer (Webb, Haya, Mayall y Andrews, 2006). Aunque hay consenso en decir que los lectores adultos tienen acceso rápido a las representaciones abstractas de las palabras, la

trayectoria de dicho desarrollo no se ha trazado todavía. Durante la lectura, el cerebro asigna rápidamente una entrada visualmente diferente (por ejemplo, borde y BORDE) sobre una representación léxica abstracta común. El reconocimiento de palabras impresas en el alfabeto ortográfico en los lectores adultos, supone el acceso a una forma visual de la palabra a través de la activación de unidades de letras abstractas en las zonas ventrales del cerebro (Dehaene, Cohen, Sigman, y Vinckier, 2005; Grainger, Rey, y Dufau, 2008; ver Coltheart de 1981, para las primeras pruebas de la existencia de unidades de letras abstractas). La evidencia empírica sugiere que la rápida activación en las representaciones abstractas durante el reconocimiento de la palabra impresa proviene de experimentos de *priming* enmascarados en adultos. Jacobs, Grainger y Ferrand (1995) compararon pares de palabras mal emparejadas contra bien emparejadas: (YEUX - ##### - YEUX vs. yeux - ##### - YEUX; [ojos]) y encontraron que los tiempos de identificación de palabras eran prácticamente los mismos en las dos condiciones. Además, de manera similar a Bowers, Vigliocco, y Haan (1998), Kinoshita y Kaplan (2008), encontraron un hallazgo paralelo con pares de palabras cruzadas, visualmente similares y palabras visualmente distintas en *priming* enmascarado).

¿Cómo un lector asocia una representación abstracta con estímulos visuales comunes o diferentes? Jackson y Coltheart (2001) plantearon la hipótesis de que la unidad de letras abstractas se adquiere cuando los niños son capaces de nombrar las letras en mayúsculas y minúsculas. La unidad de letras abstractas estaría disponible cuando los niños empiezan a establecer las representaciones ortográficas de las palabras. Thompson (2009) llegó a la conclusión de que "La adquisición de unidades de letras abstractas toma una ruta de desarrollo a largo aprendizaje" (p. 67).

A efectos de control, los elementos también se presentaron en mayúsculas. No hay indicaciones previas relacionadas con la forma y el contorno de las palabras en mayúsculas, por lo tanto no se esperan diferencias entre las respuestas de decisión léxica de VIOTÍN y VIOCÍN.

Es importante destacar que la manipulación en este caso también permite examinar las diferencias globales entre las palabras en mayúsculas y minúsculas en sistemas maduros e inmaduros en el reconocimiento visual de las palabras. Estudios previos con buenos lectores adultos han puesto de manifiesto que para las palabras de alta frecuencia los tiempos de decisión léxica son similares para las palabras en minúsculas y mayúsculas, (es decir, casa y CASA producen tiempos similares de respuesta y tasas de error) mientras que, para las palabras de baja

frecuencia en las tareas de decisión léxica, los tiempos de respuesta son más rápidos en las palabras presentadas en minúsculas. (Perea y Rosa, 2002).

2.3 Efecto de espaciado entre letras y la dislexia

El efecto de hacinamiento (*crowding*) se refiere al efecto negativo que ocurre cuando distractores visuales se añaden alrededor de un objetivo central que tiene que ser identificado. Los procesos en que se basa el efecto de hacinamiento aún se desconocen con exactitud, y el mismo efecto se ha caracterizado con muchos términos y características diferentes (Huckauf y Heller, 2004). Tradicionalmente se había creído que el hacinamiento había estado atribuido a un “enmascaramiento lateral” lo que sugiere que es causado por interacciones neuronales inhibitorias en un nivel inicial del procesamiento visual. Sin embargo, Pelli et al. (2004) definieron varias diferencias entre el hacinamiento y el enmascaramiento. Hacinamiento es definido como la distancia entre el objetivo y el punto de fijación en la visión periférica, independientemente de su tamaño, mientras que el enmascaramiento aumenta con el tamaño independientemente de la excentricidad.

En nuestros estudios seguimos con los experimentos de reconocimiento visual de palabras pero esta vez investigamos los efectos del espaciado entre las letras que forman una palabra o pseudopalabra, comparando la lectura de normolectores y disléxicos del desarrollo. Las tareas de estudio se dividieron en 4 experimentos: **Experimento 1** (con lectores adultos), tarea de decisión léxica, go / no-go para estudiar la longitud de la palabra junto con el espaciado entre letras, las palabras utilizadas eran de 4 letras, etiquetadas como “palabras cortas” o 6 letras, etiquetadas como “palabras largas”, 108 palabras en español de la base de datos de B-Pal (Davis y Perea, 2005). **Experimento 2** (niños normolectores), se llevó a cabo de igual manera que el experimento 1 pero con otro tipo de sujetos de estudio, niños de 2º y 4º de primaria. **Experimento 3** (niños con dislexia del desarrollo), se utilizaron las mismas tareas que en los Experimentos 1 y 2 con niños disléxicos. El fundamento de esta manipulación fue examinar si el efecto del espaciado entre letras podría interactuar con factores sublexicales relevantes. Con el **Experimento 4** (lectura de textos) quisimos ir más allá de un simple reconocimiento de palabras y lo ampliamos a la lectura de textos cuyas palabras tenían un espaciado entre letras. El objetivo era observar los efectos de velocidad y comprensión lectora, comparando niños normolectores y niños disléxicos.

A pesar de que el reconocimiento de palabras aisladas proporciona información útil (por ejemplo, leer señales de tráfico, nombres de productos, etc.), es importante examinar si el efecto del espaciado entre letras se puede generalizar a una lectura normalizada. De hecho, la generalización puede no ser completamente sencilla. Por un lado, un pequeño aumento del espaciado entre letras puede producir un beneficio foveal en la codificación de palabras individuales (Perea y Gómez, 2012). Por otro lado, puede haber una lectura más costosa cuando las palabras con el espaciado entre letras se presentan en una oración: las palabras vecinas con pequeños aumentos del espaciado entre letras hará más lejos la fijación y esto puede limitar la información alcanzada. Una pregunta para la investigación futura es examinar en detalle cómo el espaciado entre letras modula el patrón de los movimientos oculares durante la lectura, tanto en normolectores como en disléxicos. En este sentido, sería importante utilizar un enfoque paramétrico (es decir, el empleo de varios niveles de espaciado “óptimo” entre letras) y examinar cómo y por qué, puede variar entre los individuos.

3. BLOQUE EXPERIMENTAL

3.1 Suppression of mirror generalization for reversible letters: Evidence from masked priming

3.1.1 Introduction

When we process visual information, and are taken as corresponding to the same image. The difficulty of discriminating between mirror images of an object occurs not only in primates (Logothetis y Pauls, 1995) but also in more distant relatives (e.g., octopi, Sutherland, 1957; pigeons, Mello, 1965). One common explanation for mirror generalization, whose origin goes back to Orton (1925), is that interhemispheric fiber systems (in particular, the corpus callosum), may “symmetrize” memory traces, thus preserving structural symmetry (e.g., see Corballis & Beale, 1970).

One important question is to ask how this phenomenon affects reading. In alphabetic languages, words are composed of objects (namely, letters) which are not invariant on rotation. Furthermore, items composed of reversible letters (e.g., d and b) may produce different words: herd vs. herb (see Lachmann, 2002, for an exhaustive review of the literature on mirror generalization in reading). Given that the area which responds particularly to letters and printed words in the human brain “builds upon a pre-emption of object recognition skills” in which mirror generalization is a built-in property (see Pegado, Nakamura, Cohen, & Dehaene, 2011, p. 340), it is not surprising that normal-reading children who are learning to read/write sometimes employ mirror letters (or mirror words), and make reversal errors when reading (see Cubelli and Della Sala (2009), Schott (2008), for recent reviews).

Unlike ordinary objects, letters are not insensitive to mirror reversals (i.e., we do not process “b” and “d” as the same grapheme). As a result, children “may develop a special strategy for processing letters and words” (Lachmann & van Leeuwen, 2007, p. 63). More specifically, in the course of the functional tuning of the letter identification system, the cognitive system must unlearn some forms of mirror generalization when processing printed stimuli. This may involve “the active suppression of mirror images in mapping a phoneme to a grapheme” (Lachmann & van Leeuwen, 2007, p. 63; see also Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005). Lack of suppression of mirror generalization beyond a certain age has been claimed to be a predictor of some types of dyslexia (e.g., see Brendler & Lachmann, 2001; Lachmann & Geyer, 2003; Lachmann & van Leeuwen, 2007).

In the Roman script, there are four reversible letters (all of them in lowercase): b vs. d and p vs. q. As Pederson (2003) noted, reversible characters in other scripts are either rare or non-existent (e.g., Kana syllables in Japanese, Chinese ideograms, Hindi letters) and readers of Tamil – another script without reversible letters – with no knowledge of the Roman script tend to process reversible letters like b and d as the same stimulus. For readers of the Roman script, reversible letters such as d or b have two potential attractors during the process of letter processing (i.e., the letter nodes corresponding to d and b), whereas nonreversible letters such as r only have one potential attractor (the letter node corresponding to r). Thus, one relevant question to ask is to what degree the lack of mirror generalization in normal-reading individuals is a process that affects all letters in the Roman script, or whether it affects especially the reversible letters (i.e., b/d and p/q).

At present, none of the input coding schemes of the computational models of visual-word recognition (e.g., interactive activation model, McClelland & Rumelhart, 1981, multiple read-out model, Grainger & Jacobs, 1996, and dual-route cascaded model, Coltheart, Rastle, Perry, Ziegler, & Langdon, 2001; Spatial Coding model, Davis, 2010) can account for the effects of orientation specificity and/or mirror reversals. This is due to the fact that the featural analysis in all these models is based on the uppercase letter font defined by Rumelhart and Siple (1974) (e.g., the letters, etc., in a matrix). As McClelland and Rumelhart (1981) acknowledged, this font “obviously skirts several fundamental issues about the lower levels of processing” (p. 383). Nevertheless, if they were equipped with a more flexible input coding scheme at the feature/ letter level, the dynamics of letter recognition in the course of word processing would be expected to differ for reversible and non-reversible letters. The reason is that these computational models assume within-level inhibitory links. This implies that the node corresponding to b would inhibit the node corresponding to the letter d (and vice versa), while this inhibition would be absent in the case of non-reversible letters (e.g., in a ena).

The aim of the present study is to examine how the cognitive system processes mirror images of reversible and non-reversible letters (e.g., d or b vs. r or c, respectively) embedded in words during the course of visual-word recognition. To unveil the earliest stages of word processing, and to minimize the potential use of participants’ strategies, one strategy is to use the masked priming technique (Forster & Davis, 1984; see Grainger, 2008, for a review). In the usual setup, an uppercase target word is preceded by a briefly presented lowercase masked prime (e.g., related condition: #####-houre-HOUSE vs. control condition: #####-drall-HOUSE). The difference in

performance (e.g., in response times) between the control condition and the related condition is the so-called “priming” effect. For instance, response times for a target word like HOUSE are significantly shorter when it is preceded by a replaced-letter prime (e.g., heure) than when it is preceded by a control prime (e.g., drill) (form-priming effect; see Forster, Davis, Schoknecht, & Carter, 1987; Perea & Rosa, 2000). One common explanation for form-masked priming is that the brief presentation of an item like heure preactivates the lexical entry corresponding to HOUSE. Interestingly, masked priming effects for word stimuli can also be obtained with letter-like digits/symbols embedded within words. Perea, Duñabeitia, and Carreiras (2008; see also Perea, Duñabeitia, Pollatsek, & Carreiras, 2009) found that response times to a target word were only slightly faster when it was preceded by an identity prime (MATERIAL-MATERIAL) than when it was preceded by a prime with letter-like digits/symbols (e.g., M4T3R14L-MATERIAL), whereas targets preceded by an orthographic control (e.g., M9T8R98L MATERIAL) produced substantially longer identification times. This finding implies that the lexical system in the brain is able to regularize the shape of letter-like stimuli embedded in words without much cost. The issue under consideration here is what happens if instead of using letter-like digits (e.g., 4 instead of A), we employ mirrored images from reversible letters (e.g. d or b) vs. non-reversible letters (c or r). Our hypothesis is that non-reversible letters such as r can be written in mirror-image form (i.e.,) and still be recognized as having the same abstract letter representation, whereas reversible letters b and d (or p and q) produce quite different graphemes. In passing, we should note here that it is not uncommon to find brand names with mirror images of non-reversible letters, as in **Dezigual**.

As stated above, the process of mirror generalization must be somehow unlearned when processing written stimuli in the Roman script. The basic questions under scrutiny in the present study are: (i) whether the cognitive system is able to block mirror images of reversible letters embedded in words (e.g., b in ibea [idea]), and (ii) whether this process also applies to non-reversible letters (e.g., in a ena [arena]). To that end, we examined the magnitude of masked priming effects using primes in which there was a rotated reversible letter (e.g., b in ibea; Experiment 1) and for words in which there was a rotated non-reversible letter (e.g., in a ena; Experiment 2). More specifically, in Experiment 1, a target word (e.g., IDEA) was preceded by an identity prime (idea), by a pseudoword exactly the same as the identity prime except for an existing mirror letter (ibea), or by a control pseudoword in which the mirror letter was replaced by another letter (ilea). If the process of mirror generalization

is suppressed for reversible letters, the grapheme b in *ibea* would (presumably) inhibit the grapheme d in models in which there are inhibitory links at the letter level (e.g., interactive activation model, McClelland & Rumelhart, 1981, and its successors). In this case, there would be substantially faster response times for *idea*-IDEA than for *ibea*-IDEA – despite its apparent perceptual similarity. Furthermore, a pseudoword such as *ibea* could produce more interference on target processing than the orthographic control *ilea* – via the inhibitory links between b and d. The goal of Experiment 2 was to examine whether mirror generalization is also actively suppressed for nonreversible letters (e.g., c, r; as in *arena*-ARENA): A given target word (e.g., ARENA) was preceded by an identity prime (*arena*), by a pseudoword exactly the same as the identity prime except for a rotated non-reversible letter (*arena*), or by an orthographic control pseudoword in which the rotated letter was replaced by another nonreversible mirror letter (*azena*). Note that the letter does not directly active any grapheme, and therefore one would expect no inhibition to the node corresponding to the grapheme r at the letter level. If this is so, the repetition priming effect relative to the mirror-priming condition should be substantially smaller than in Experiment 1. Finally, Experiment 3 was designed to replicate the main findings of Experiments 1 and 2. To that end, we combined both the identity and mirror conditions from Experiments 1 and 2 in a single experiment (e.g. *idea*-IDEA vs. *ibea*-IDEA; *arena*-ARENA vs. *arena*-ARENA). The present series of experiments were conducted in Spanish; we should note here that prior work has shown that orthographic coding processes are remarkably similar in English and in Romance languages like French or Spanish (e.g., orthographic neighborhood effects: Davis, Perea, & Acha, 2009; consonant/ vowel status and letter transposition effects: Lupker, Perea, & Davis, 2008; Perea & Lupker, 2004). (We conducted parallel experiments with children with dyslexia; however, the response data were very unstable for a meaningful analysis and they won't be reported here.)

One additional issue under scrutiny in the present study is the role of reading development in the suppression of mirror generalization. Mirror writing/reading behavior is not too uncommon for beginning readers, but it (mostly) disappears by age 8 (e.g., see Cornell, 1985; Lachmann & Geyer, 2003). The question here is whether the suppression of mirror generalization for letters is modulated by reading skill. In the present experiments, participants were normal-reading children of Grade 4 (9 year olds) and skilled readers (college students). If fourth graders have already suppressed mirror generalization for letters (see above), the pattern of

masked priming effects should be quite similar for children and adults. Alternatively, if the cognitive system in fourth graders is sensitive – to some degree – to mirror generalization, we would expect a different pattern of masked priming effects for children and adults.

To examine the effects of mirror reading in the masked priming paradigm, we employed the most popular task in the literature on visual-word recognition: the lexical decision task (“is the item a word?”; see Ratcliff, Gomez, & McKoon, 2004, for a model of the task). This task is highly sensitive to a wide variety of orthographic/phonological/ lexical phenomena (see Balota et al., 2007). We employed a go/no-go lexical decision task, rather than the yes/no variant, because it produces less task demands and less errors than the standard yes/no lexical decision task (Perea, Rosa, & Gómez, 2002; see also Gómez, Ratcliff, & Perea, 2007, for a mathematical model of the go/no-go task). Given the limitations at selecting the words in a developmental study (i.e., use of frequent, familiar words), including an unrelated priming condition would have decreased the number of items per condition, thus affecting experimental power.

3.1.2 Experiment 1

In the Roman alphabet, there are four reversible letters in lowercase: d/b on the one hand, and q/p on the other. We focused on the d/b contrast because the letter q always forms part of the grapheme qu.

Method

Participants

Twenty-four fourth grade children (average age: 9.7 years) and 24 undergraduate students from the University of Valencia took part voluntarily in the experiment. In this and subsequent experiments, the children came from above-average socioeconomic backgrounds in a private school in Valencia. The test took place at the end of the academic year. All participants had normal or corrected-to-normal vision and were native speakers of

Castilian Spanish. Participants were excluded if they had sensory, neurological, or other problems traditionally used as exclusionary criteria for learning disabilities.

Materials

We selected a set of 144 Spanish words of 4–9 letters (mean: 5.4 letters, SD = 1.1) which contained either a d or a b. The mean word frequency per 1 million was 97 (range 1–1956, SD = 253) in the Spanish database (Davis & Perea, 2005). All these words were familiar to beginning readers, as they appeared in the Spanish word frequency count for first graders of Corral, Goikoetxea, and Ferrero (2009) – the mean frequency in this word count was 29 (range 1–272, SD = 39). The average number of orthographic neighbors (Colheart's N) was 3.0 (range: 0–19, SD = 3.6). These words were presented in uppercase and preceded by primes that were: (1) the same stimuli in lowercase (identity condition; e.g., idea-IDEA), (2) the same except for the substitution of a d/b with its reversible letter – always creating a pseudoword (mirror-letter condition; e.g., ibea-IDEA), (3) the same except for the substitution of a d/b with another ascending letter – always creating a pseudoword (control condition; e.g., ilea-IDEA). The complete list of prime–target pairs is available at <http://www.uv.es/mperea/irreversible.pdf>. An additional set of 144 legal pseudowords in Spanish was created for the purposes of the lexical decision task by replacing several letters from Spanish words (e.g. gadati, rardu, orsubo). All these pseudowords always contained a d/b letter. The target nonwords were matched to the target words in length, and the average number of orthographic neighbors was .6 (range: 0–8; SD = 1.4). The manipulation of the nonword trials was the same as that for the word trials (i.e., identity prime, mirror- letter prime, control prime). Three sets of materials were constructed so that each target appeared once in each set, but each time in a different priming condition. Different groups of participants were used for each set.

Procedure

Participants were tested in a quiet room in groups of three or four. Presentation of the stimuli and recording of response times were controlled by Windows computers running DMDX (Forster & Forster, 2003). On each trial, a forward mask consisting of a row of hash marks (#'s) was presented for 500 ms in the center of the

screen. Next, the prime was presented in lowercase and stayed on the computer screen for 50 ms (3 cycles at a refresh rate of 16.6 Hz). The prime was then followed by the presentation of the target stimulus in uppercase. Both prime and target were presented in the same screen location as the forward mask. The target stimulus remained on the screen until the participant's response – or until 2500 ms had elapsed. Participants were told that words and nonwords would be displayed on the monitor in front of them, and that they should press one button to indicate if the uppercase item was an existing Spanish word, and refrain from responding if the stimulus was not a word. They were instructed to respond as quickly as possible while trying not to make errors. Each participant received a different random order of stimuli. Each participant received a total of 20 practice trials prior to the experimental phase. The session lasted approximately 15 min.

Results and Discussion

Incorrect responses (1.7% of the word trials) and response times less than 250 or greater than 1800 ms (4.1% and .4% for children and adults, respectively) were excluded from the RT data.²

The mean latencies for correct responses and error rates are presented in Table 1. Given that the overall RTs were not considerably different across each Grade, we did not perform any transformations on the RTs. Nonetheless, we additionally conduct ANOVAs on the z-scores-transformed latencies for each participant (as proposed by Faust, Balota, Spieler, & Ferraro, 1999, when dealing with group differences; see also Acha & Perea, 2008), and the pattern of results was exactly the same as that reported here. Subjects and items analyses of variance (ANOVAs) based on the participant (F1) and item (F2) response latencies were conducted on the basis of a 3 (prime–target relationship: identity, mirror-letters, control) $\times$ 2 (grade: 4th grade, college students) $\times$ 3 (List: list 1, list 2, list 3) design. The factor List was included in the statistical analyses to separate out the variance due to the counterbalancing lists (Pollatsek & Well, 1995). Error rates in this and subsequent experiments were very low (see Tables 1–3) and were not further analyzed.

Table 1

**Mean lexical decision times (in ms) and percentage of errors (in parentheses)
for word and pseudoword targets in Experiment 1 (reversible letters).**

	<i>Type of prime</i>		
	<i>Identity</i>	<i>Mirror letter</i>	<i>Control</i>
Fourth graders			
Words	848 (2.7)	892 (3.0)	870 (2.7)
Nonwords	– (4.6)	– (3.7)	– (3.8)

Adult readers

Words	536 (.6)	565 (.9)	546 (.3)
Nonwords	– (2.9)	– (2.3)	– (2.2)

The ANOVA on the latency data showed that college students responded to faster to target words than fourth graders, $F(1, 42) = 90.91$, $MSE = 76637$, $\eta^2 = .70$, $p < .01$; $F(1, 141) = 2542.15$, $MSE = 8518.6$, $\eta^2 = .95$, $p < .01$. The effect of prime–target relationship was also significant, $F(2, 84) = 23.60$, $MSE = 1369$, $\eta^2 = .36$, $p < .01$; $F(2, 282) = 21.77$, $MSE = 5018$, $\eta^2 = .13$, $p < .01$. This indicates that, on average, target words were responded to 21 ms more rapidly when they were preceded by a control prime than when they were preceded by a mirror-letter prime $F(1, 42) = 90.91$, $MSE = 76637$, $\eta^2 = .70$, $p < .01$; $F(1, 141) = 2542.15$, $MSE = 8518.6$, $\eta^2 = .95$, $p < .01$. ; $F(1, 141) = 8.46$, $MSE = 6938$, $\eta^2 = .06$, $p < .01$); in addition, target words were responded to more rapidly when they were preceded by an identity prime than when they were preceded by a mirror-letter prime ($F(1, 42) =$

38.88, $MSE = 1608$, $\eta^2 = .48$, $p < .01$; $F(1, 141) = 51.61$, $MSE = 4232$, $\eta^2 = .27$, $p < .01$) or a control prime ($F(1, 42) = 9.28$, $MSE = 1187$, $\eta^2 = .18$, $p < .01$; $F(1, 141) = 13.04$, $MSE = 3885$, $\eta^2 = .09$, $p < .01$). The pattern of priming effects was similar for children and adults – the interaction between the two factors did not approach significance (both $ps > .25$).

The present experiments showed substantially faster response times in the identity condition than in the mirror- letter condition (37 ms; idea-IDEA vs. ibea-IDEA). More importantly pseudoword primes created by replacing a mirror letter (e.g., ibea-IDEA) produced longer response times on the target words than the control primes (ilea-IDEA): a 21-ms interference effect. This interference effect from mirror-letter primes strongly suggests that there is an active suppression of mirror generalization for letters embedded in words – as suggested by Lachmann and van Leeuwen (2007). Interestingly, this mirror suppression occurs to a similar degree for both college students and fourth graders.³

We now address whether or not the suppression of mirror generalization in a masked priming paradigm is restricted to reversible letters (e.g., d/b, q/p) or whether it also occurs for non-reversible letters. Note here that the reversal of non-reversible letter r produces the non-letter – which does not map to any extant grapheme. In Experiment 2, we examined the pattern of masked priming effects when the critical letter was not reversible (e.g., identity condition: arena-ARENA; mirror-letter condition: arena ARENA; control condition: azena -ARENA). For the non-reversible letters, we chose as critical letters c, r, s, and z. Note that these letters do not have a symmetric appearance (unlike t, v, x, w, n, or m) and they are frequent in Spanish (e.g., the letter k in Spanish only occurs with loanwords, and the letter f is quite infrequent). In addition, we avoided using vowels as critical letters (e.g., the letter a), the reason being that vowels may not be processed in the same way as consonants during visual-word processing (e.g., see Perea & Lupker, 2004).

3.1.3 Experiment 2

Method

Participants

The participants were 36 fourth grade children (average age: 9.6 years) and 24 undergraduate students from the University of Valencia. The children came from the same school as in Experiment 1. None of the participants had taken part in Experiment 1.

Materials

We selected a set of 144 Spanish words of 4–7 letters (mean: 5.1 letters) which contained a c, an r, an s, or a z. The mean word frequency per 1 million was 76 (range 1– 630; SD = 101) in the Spanish database (Davis & Perea, 2005). All these words were familiar to beginning readers, as they appeared in the Spanish word frequency count for first graders of Corral et al. (2009) – the mean frequency in this dictionary was 59 (range 4–472; SD = 47). The average number of orthographic neighbors was 5.2 (range: 0–23, SD = 5.8). These words were presented in uppercase and preceded by primes that were: (1) the same stimuli in lowercase (identity condition; e.g., arena-ARENA), (2) the same except for the substitution of an r/c/s/z with its mirror image (mirror-letter condition; e.g., arena -ARENA), (3) the same except for the substitution of an r/c/s/z letter with the mirror image of another letter – always a pseudoword (control condition; e.g., azena -ARENA). The complete list of prime–target pairs is available at <http://www.uv.es/mperea/irreversible.pdf>. An additional set of 144 legal pseudowords in Spanish was created for the purposes of the lexical decision task by replacing several letters from Spanish words (e.g. prurano, gurí, hauco). All these pseudowords always contained an r/c/s/z letter. The target nonwords were matched to the target words in length, and the average number of orthographic neighbors was .75 (range: 0–3, SD = 1.0). The manipulation of the nonword trials was the same as that for the word trials (i.e., identity prime, mirror- letter

prime, control prime). Three sets of materials were constructed so that each target appeared once in each set, but each time in a different priming condition. Different groups of participants were used for each set.

Table 2
Mean lexical decision times (in ms) and percentage of errors (in parentheses)
for word and pseudoword targets in Experiment 2 (non-reversible letters).

	<i>Type of prime</i>		
	<i>Identity</i>	<i>Mirror letter</i>	<i>Control</i>
Fourth graders			
Words	787 (.9)	791 (.8)	798 (1.0)
Nonwords	– (4.9)	– (4.7)	– (4.3)
Adult readers			
Words	463 (.2)	473 (.1)	480 (.2)
Nonwords	– (2.2)	– (2.3)	– (1.9)

Procedure

This was the same as in Experiment 1.

Results and Discussion

Incorrect responses (.5% of the data) and response times less than 250 or greater than 1800 ms (1.9% and .03% for children and adults, respectively) were excluded from the RT data. The mean latencies for correct responses and error rates are presented in Table 2. The design was the same as in Experiment 1.

The ANOVA on the latency data showed that college students responded to faster to target words than fourth graders, $F(1, 54) = 112.38$, $MSE = 80015$, $\eta^2 = .68$, $p < .01$; $F(1, 141) = 5067.4$, $MSE = 4066.7$, $\eta^2 = .97$, $p < .01$. The effect of prime–target relationship was also significant, $F(2, 108) = 6.36$, $MSE = 1620$, $\eta^2 = .11$, $p < .01$; $F(2, 282) = 7.98$, $MSE = 1849$, $\eta^2 = .05$, $p < .01$, which reflected that target words were responded to more rapidly when they were preceded by an identity prime than when they were preceded by a control prime ($F(1, 54) = 14.18$, $MSE = 1453$, $\eta^2 = .21$, $p < .01$; $F(1, 141) = 22.84$, $MSE = 1261$, $\eta^2 = .14$, $p < .01$); the mirror-letter condition was somehow in between these two conditions (see Table 2): target words were responded to 7 ms faster in the identity condition than in the mirror-letter condition ($F(1, 54) = 3.59$, $MSE = 1529$, $\eta^2 = .06$, $p = .06$; $F(1, 141) = 5.66$, $MSE = 2048$, $\eta^2 = .04$, $p < .02$) and, on average, target words were responded to 7 ms faster in the mirror-letter condition than in the control condition ($F(1, 54) = 2.57$, $MSE = 1878$, $\eta^2 = .05$, $p = .11$; $F(1, 141) = 1.72$, $MSE = 2236$, $\eta^2 = .01$, $p = .19$). Again, the pattern of priming effects was similar for children and adults – the interaction between the two factors did not approach significance (both F s < 1).

Not surprisingly, we obtained a repetition priming effect relative to the orthographic control condition. But the critical finding here is that the mirror-letter priming condition with a non-reversible letter (e.g., arena-ARENA) was only 7 ms slower than the identity condition (arena- ARENA) – this difference was around 36 ms when the primes contained a mirror image of a non-reversible letter (e.g., ibea-IDEA) in Experiment 1. That is, primes containing a mirror image of a non-reversible letter act nearly as identity primes. Note that a parallel “normalization” effect occurs when the masked primes are composed of letter-like digits/symbols (e.g., M4T3R14L-MATERIAL is processed as MATERIAL-MATERIAL; Perea et al., 2008).

The aim of Experiment 3 was to replicate Experiments 1 and 2 in a joint experiment. We expect to obtain a greater difference between the identity and mirror-letter priming conditions when the rotated letter has an reversible letter than when the rotated letter does not have a reversible letter. One question to address here is which control baseline would be the most appropriate, since control primes like ilea are composed of legal letters while primes like aɔena contain a non-letter (i.e., the mirror image of c). As in the recent experiment of Vergara-Martínez, Perea, Marín, and Carreiras (2011), we opted to use the character as a missing letter. The idea here is

that the character as a missing letter. The idea is that the character would presumably work similarly for both idea-type targets and arena-type targets.

3.1.4 Experiment 3

Method

Participants

The participants were 36 fourth grade children (average age: 9.7 years) and 24 undergraduate students from the University of Valencia. The children came from the same school as in Experiment 1–12 of them had taken part in Experiments 1 or 2 during the previous month.⁴

Materials

We selected two sets of word targets, the vast majority of which were taken from Experiments 1 and 2. For the first set we selected 75 Spanish words of 4–7 letters (mean: 5.3 letters; SD = .8) containing a d or a b in a middle letter position. The mean word frequency per 1 million was 98 (range 1–675; SD = 129) in the Spanish database (Davis & Perea, 2005). The mean frequency in the Spanish word frequency count for first grade children of Corral et al. (2009) was 49 (range 1–206, SD = 41). The average number of orthographic neighbors was 2.6 (range: 0–11; SD = 2.6). For the second set we selected 75 Spanish words of 4–7 letters (mean: 5.4 letters; SD = .8) containing a c or an r in a middle letter position. The mean word frequency per one million was 68 (range 1–689; SD = 103) in the Spanish database (Davis & Perea, 2005). The mean frequency in the Spanish word frequency count for first grade children of Corral et al. (2009) was 38 (range 10–142, SD = 23). The average number of orthographic neighbors was 2.5 (range: 0–11; SD = 2.7). These words were presented in uppercase and preceded by primes that were: (1) the same stimuli in lowercase (identity condition; e.g., idea-IDEA; arena-

ARENA), (2) the same except for the substitution of a d/b or c/r with its mirror letter (mirror-letter condition; e.g., ibea-IDEA; a ena-ARENA), (3) the same except for the substitution of a d/b/c/r letter with a character (control condition; e.g., i⌘ea-IDEA; a⌘ena-ARENA). We should indicate that, in the majority of cases, the target word was the only legal word that could be generated by filling in the missing letter; the average number of words in the i⌘ea set was 1.7 (SD = 1.2), and the average number of words in the a⌘ena set was 1.4 words (SD = 1.0). The complete list of prime–target pairs is available at [http:// www.uv.es/mperea/irreversible.pdf](http://www.uv.es/mperea/irreversible.pdf). An additional set of 150 legal pseudowords in Spanish was created for the purposes of the lexical decision task by replacing several letters from Spanish words. Half of these pseudowords contained a d/b letter and the other half contained a c/r letter in a middle position. The target nonwords were matched to the target words in length, and the average number of orthographic neighbors was .45 (range: 0–6). The manipulation of the nonword trials was the same as that for the word trials (i.e., identity prime, mirror-letter prime, control prime). Three sets of materials were constructed so that each target appeared once in each set, but each time with a different priming condition. Different groups of participants were used for each set.

Table 3

Mean lexical decision times (in ms) and percentage of errors (in parentheses) for word and pseudoword targets in Experiment 3.

	<i>Type of prime</i>		
	<i>Identity</i>	<i>Mirror letter</i>	<i>Control</i>
Fourth graders			
Words			
Reversible letter	749 (2.4)	772 (2.3)	766 (2.3)
Non- reversible letter	745 (1.7)	753 (2.1)	760 (1.8)

Nonwords			
Reversible letter	– (3.8)	– (3.4)	– (3.1)
Non- reversible letter	– (5.2)	– (4.0)	– (4.3)

Adult readers

Words			
Reversible letter	486 (.5)	514 (.3)	502 (.8)
Non- reversible letter	487 (.2)	495 (.3)	499 (.2)

Nonwords			
Reversible letter	– (1.8)	– (2.2)	– (3.0)
Non- reversible letter	– (.8)	– (3.5)	– (3.0)

Procedure

This was the same as in Experiments 1 and 2.

Results and Discussion

Incorrect responses (1.1% of the word trials) and response times less than 250 or greater than 1800 ms (2.8% and .2% for children and adults, respectively) were excluded from the RT data. The mean latencies for correct responses and error rates are presented in Table 3. ANOVAs based on the participant and item response latencies were conducted based on a 3 (prime–target relationship: identity, mirror-letters, control) x 2 (grade: 4th grade, college students) x 2 (type or target: existing mirror letter [d/b], non-existing mirror letter [c/r]) x 3 (List: list 1, list 2, list 3) design. The ANOVA on the latency data showed that college students responded to faster to target words than fourth graders, $F(1, 54) = 71.93$, $MSE = 86811$, $\eta^2 = .57$, $p < .01$; $F(1, 144) = 4008.0$, $MSE = 3705$, $\eta^2 = .97$, $p < .01$. On average, target words containing a c/r were responded to 8 ms faster than those targets

containing a d/b, $F(1, 54) = 4.12$, $MSE = 3456$, $\eta^2 = .07$, $p < .05$; $F(1, 144) = 2.65$, $MSE = 9981$, $\eta^2 = .02$, $p = .106$. The effect of prime–target relationship was also significant, $F(2, 108) = 7.96$, $MSE = 1463$, $\eta^2 = .13$, $p < .01$; $F(2, 288) = 13.79$, $MSE = 2104$, $\eta^2 = .09$, $p < .01$.

More importantly, the interaction between type of target and prime–target relationship was significant, $F(2, 108) = 3.23$, $MSE = 1360$, $\eta^2 = .06$, $p < .05$; $F(2, 288) = .84$, $MSE = 2104$, $\eta^2 = .03$, $p < .01$. This reflected that, relative to the mirror-letter condition, the repetition priming effect was substantially greater when the prime had a mirror image of a non-reversible letter than when it had a mirror image of a reversible letter (25 vs. 8 ms; two-way interaction effect: $F(1, 54) = 7.10$, $MSE = 1225$, $\eta^2 = .12$, $p < .01$; $F(1, 144) = 10.03$, $MSE = 2028$, $\eta^2 = .07$, $p < .01$). Likewise, relative to the control condition, there was a differential effect for the mirror-letter condition depending on whether the critical letter was reversible or non-reversible (two-way interaction effect: $F(1, 54) = 4.24$, $MSE = 586$, $\eta^2 = .07$, $p < .05$; $F(1, 144) = 2.51$, $MSE = 2263$, $\eta^2 = .02$, $p = .11$). Finally, the identity priming effect relative to the control condition was similar in size for the two types of target (17 vs. 13 ms, respectively; priming effect: $F(1, 54) = 11.99$, $MSE = 1413$, $\eta^2 = .18$, $p < .01$; $F(1, 144) = 18.60$, $MSE = 2023$, $\eta^2 = .11$, $p < .01$; interaction effect: both $F_s < 1$).

As in Experiments 1 and 2, the pattern of masked priming effects was quite similar for children and adults – the interaction of grade with prime–target relationships and/or type of target did not approach significance (all $F_s < 1$). As in Experiments 1 and 2, masked pseudoword stimuli which are created by rotating a letter (e.g., *ibea*, *aena*) have a quite different impact on target processing depending on whether the critical letter is reversible or not. Again, the effect was similar for young readers and for adult readers. It is important to note here that the greater repetition priming effect for non-reversible than reversible letters, relative to the mirror-letter condition, was not due to potential confounds. As indicated in the Method section, the number of words that could be generated by filling a letter in the space was very small and was similar for both types of target words (i.e., *i*ea-IDEA and *a*ena-ARENA). Furthermore, the repetition priming effect relative to the orthographic control condition was similar for the two types of target words (17 and 13 ms).

3.1.5 General Discussion

The present masked priming experiments were designed to shed some light on how the cognitive system processes mirror letters embedded in words. The main findings of the present experiments can be summed up as follows: (i) repetition priming effects relative to the mirror-letter condition are substantially greater when the critical letter is reversible (e.g., *idea*-IDEA vs. *ibea*-IDEA: around 23–44 ms) than when the critical letter is not reversible (e.g., *arena*-ARENA vs. *arena*-ARENA; around 4–10 ms), (ii) responses to target words were slower (around 21 ms) when they were preceded by prime containing a reversible mirror-letter (e.g., *ibea*-IDEA) than when preceded by a control primes (*ilea*-IDEA), (iii) this inhibitory effect from the mirror letter priming condition does not occur when the mirror image of the critical letter does not form a grapheme, and (iv) the basic pattern of data is remarkably similar for normal-reading children from Grade 4 and for adult skilled students. Taken together, these findings are consistent with the view that symmetry generalization is partially inhibited or ‘unlearned’ when learning to read (Lachmann & van Leeuwen, 2007; see also Dehaene et al., 2010, for a similar claim). Furthermore, our data strongly suggest that the suppression of mirror generalization works differently for reversible and non-reversible letters.

Before attempting to examine the implications of the present data, it is important to rule out alternative explanations. For instance, one could argue that the present findings merely reveal that illegal combinations/letters from masked primes are ‘normalized’ in the cognitive system (e.g., see Perea & Carreiras, for evidence with illegal bigrams) – and this may not necessarily reflect the suppression of mirror generalization. However, this reasoning cannot explain why the orthographic control priming condition *ilea*-IDEA produces substantially faster response times than the mirror-priming *ibea*-IDEA. Unless one assumes that there is some form of suppression of mirror generalization for the reversible letters d/b, response times should have been quite similar for *ilea*-IDEA and *ibea*-IDEA. In short, the most parsimonious explanation of the present data is that reversible letters enjoy a particular role during the process of visual-word recognition.

How can computational models of visual-word recognition explain the present findings? The most influential computational model in masked priming research has been the interactive activation (IA) model (McClelland & Rumelhart, 1981; e.g., see Davis and Lupker (2006), for extensive work on this model) and its successors (e.g., multiple read-out model, Grainger & Jacobs, 1996; dual-route cascaded model, Coltheart et al.,

2001). The present data demonstrate that an orthographic control pseudoword (e.g., *ilea*) facilitates target processing (IDEA) to a larger degree than a pseudoword with a reversible mirror letter (*ibea*). This pattern of data can be attained by modifying the parameters responsible for letter-to-letter inhibition of reversible letters at the letter level. Given that there are no letter units corresponding to the mirror images of non-reversible letters (i.e., no inhibitory links between *a* and *r*), this inhibitory effect would be restricted to reversible letters. This modified IA model would also readily capture the greater difference between mirror-letter primes and identity primes for reversible than non-reversible letters. Unfortunately, as stated in the Introduction, the current implementation of the IA model only includes uppercase letters (i.e., both prime and targets would be presented in uppercase). Thus, the IA model would need to a set of lowercase and uppercase letters – a similar argument applies to the spatial coding model (Davis, 2010). Even if that were the case, one remaining question would be to see how the model copes with the processing of mirror images of non-reversible letters (e.g., *in arena*) or even of rotated letters (e.g., *).* Clearly, one would need to establish a highly flexible input coding scheme in which the letter features may be partially activated regardless of one's viewpoint – this enterprise would be beyond the scope of the present paper. A similar argument applies to the specifications of the letter features in computational models of visual-word recognition: there is recent evidence to show that subtle variations in the font have an impact on visual-word recognition and reading (e.g., Moret-Tatay & Perea, 2011; Slattery & Rayner, 2010; see also Fiset et al., 2008, for evidence of critical low-level information in the recognition of letters). Clearly, more research should be devoted to examine the influence of perceptual factors during the recognition of written words.

What are the implications of the present data for the models of reading development? We obtained a similar pattern of findings for fourth graders and for adult readers. Therefore, the simplest explanation is that the mechanism of active suppression of mirror generalization for letters is already at play for fourth graders – after all these children have already been trained in the Roman alphabet for several years. (In the Spanish educational system, children start to develop their reading skills at the level of pre-elementary education, from ages 3–6, that is, before entering primary/ elementary school.) In other words, for normal-reading children, mirror generalization can be unlearned reasonably early in the development of reading. The specific sensitivity of reversible letters to reversed primes could be interpreted as evidence of functional tuning of the letter identification system. Thus, it is not necessarily surprising that this sensitivity appears early in reading development because letter knowledge is

one of the earliest predictors of reading development. A longitudinal study would be necessary to examine in depth when the process of suppression of mirror generalization with letters starts to take place – and how it varies across individuals.

In the present experiments, we focused on normal-reading readers – either children or adults. One important question for future research is whether or not dyslexic children – or rather a subgroup of dyslexic children – also show a suppression of mirror generalization for reversible/ non-reversible letters. In this respect, the data from Lachmann and van Leeuwen (2007) are particularly relevant. They used a same-different task with two sequentially presented rotated stimuli (e.g., “are A and the same?”) and found faster response times for symmetrical letters (A) than for asymmetrical letters (e.g., R) in children with dyslexia but not in a control group of normal-reading children. Interestingly, when a non-linguistic stimulus was employed (i.e., dot patterns, as in), both dyslexic and normal-reading children showed an advantage for symmetrical patterns. The data from Lachmann and van Leeuwen strongly suggest that children with dyslexia fail to unlearn symmetry generalization for linguistic stimuli. We believe that further research using a masked priming paradigm may provide important insights on whether there are any differences between reversible and non-reversible letters for dyslexic children.

One final methodological note: The go/no-go variety of the lexical decision task employed in the present experiments produced a low rate of errors (less than 3% of errors in fourth graders). In previous experiments using a yes/no lexical decision task, error rates for young readers were much higher than in the present experiment (around 35–45%; e.g., Acha & Perea, 2008; Goikoetxea, 2005). (Importantly, the pattern of effects is very similar in the two tasks; see Gómez et al., 2007; Perea, Rosa, & Gómez, 2003; Perea et al., 2002.) Although an experiment using a within-subject design is necessary to directly assess the potential differences between the yes/no and go/no-go procedures (e.g., error rates, rapidity of the responses, variability in the data), the present experiments suggest that the go/no-go lexical decision task may be preferable to the yes/no variant in experiments with young readers. Of course, we acknowledge that the effect sizes are relatively small, as in the typical masked priming experiments, but the present experiments have shown that it is possible to obtain reliable masked priming effects with subtle manipulations in the go/no-go lexical decision task.

In conclusion, the masked priming experiments reported here reveal that the cognitive system actively suppresses mirror images of reversible letters (e.g., b, d), but not of non-reversible letters (e.g., r, c). Further

research using other techniques (e.g., ERPs) is necessary to reveal the time course of activation of mirror images of reversible/non-reversible letters embedded in words – as well as the processing of mirror words. In this light, a recent fMRI priming study of Dehaene et al. (2010), using the BOLD signal as the dependent variable, found significant mirror priming effects with objects, but not with mirror words (e.g., prime: , target:) in a brain area close to the so-called “visual-word form” area. Finally, it will be of interest to examine to what degree mirror priming with whole words is also modulated by the presence/absence of reversible letters.

3.2 The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics

3.2.1 Introduction

E-book readers and tablets are becoming more and more popular in the classrooms as a result of the incoming information society. When reading an e-book (or a digital document), we usually take for granted the default typographical settings offered by the publishing companies. Indeed, e-book users are offered only a limited set of choices, such as background/text colour, letter size, and (in some cases) font type. In the present study, we focus on yet another perceptual factor which may affect the ease of reading: inter-letter spacing (e.g., compare casino vs. the default casino).

When examining the readability of textbooks for children, Woods, Davis, and Scharff (2005) indicated the following: “Publishing companies have guidelines, but these are often based on font types and sizes most frequently used by other publishing companies rather than on empirical data” (p. 86). Thus, one fair question to ask is whether or not the choice of the parameters for children books, and more specifically, the choice of the default inter-letter spacing, is optimal. Indeed, it would be rather surprising if the default settings (not based on empirical data) were optimal. The vast majority of experiments with developing readers has focused on the impact of sublexical/lexical factors in visual-word recognition and reading (e.g., length, neighbourhood size, orthographic consistency, regularity, word-frequency age-of-acquisition, etc; see Defior, Jimenez-Fernandez, & Serrano, 2009; Manolitsis, Georgiou, & Parrila, 2011; Manolitsis, Georgiou, Stephenson, & Parrila, 2009; Verhoeven, Schreuder, & Baayen, 2006; Wang, Castles, Nickels, & Nation, 2011), whereas as occurs with adult skilled readers much less attention has been paid to the influence of perceptual factors such as font, letter size, or inter-letter spacing (see Tinker, 1963, for early research on typographical factors during reading; see also Sanocki & Dyson, 2012, for a recent review). The present study represents a modest effort to shed some light on role of a potentially important parameter such as inter-letter spacing during visual-word recognition and reading with developing readers.

Clearly, a factor such as inter-letter spacing may play a relevant role in the process of visual-word recognition. In alphabetical languages, words are composed of an ordered succession of letters. It is well known that the perception of a given letter is impaired when there are other letters located nearby due to lateral masking

between these neighbouring letters: this is the effect of crowding (see Bouma, 1970). Importantly, a slight increase of interletter spacing relative to the default settings, as in *casino* (compare with the default *casino*), may reduce the detrimental effects of crowding without affecting the whole word's integrity (i.e., *cas ino* would still be perceived as a single unit).¹ Furthermore, a small increase of inter-letter spacing may not just reduce the effect of crowding, it may also aid in the process of letter position coding: if letter position coding were not attained, we could not distinguish between words like *casual* and *causal* (see Perea & Lupker, 2003, 2004). Recent theories of orthographic processing assume that there is some degree of "position uncertainty" on a letter's position within a word (see Chung & Legge, 2009; Davis, 2010; Gomez, Ratcliff, & Perea, 2008). Thus, increasing the space among letters within a word can reduce a letter's position uncertainty within a word and have a beneficial impact on lexical access.

Two recent studies with adult skilled readers in Spanish (Perea & Gómez, 2012; Perea, Moret-Tatay, & Gómez, 2011a), using a lexical decision task ("is the stimulus a word?") reported shorter response times for words presented with a slight increase of interletter spacing than for words presented with the default spacing (i.e., *casino* faster than *casino*; see Latham & Whitaker, 1996; Tai, Sheedy, & Hayes, 2009, for similar findings with other paradigms and languages). Importantly, the effect of inter-letter spacing occurred to a similar degree for high-frequency words and low-frequency words (Perea, Moret-Tatay, & Gómez, 2011a). This suggests that the effect of inter-letter spacing occurs very early in processing, before a lexical factor such as word-frequency starts playing a role. Furthermore, Perea and Gómez (2012) reported fits from Ratcliff's (1978) diffusion model to their empirical data and showed that the beneficial effect of inter-letter spacing in visual-word recognition occurs at an early (letter) encoding level. This finding is consistent with the "crowding" and the "perceptual uncertainty" accounts indicated above.

The central questions under scrutiny in the present paper are: i) whether or not the beneficial effect of increasing inter-letter spacing (relative to the default settings) generalises across different levels of reading development to young readers, and ii) whether or not these effects (which have been reported in visual-word identification tasks) can be generalised to a continuous reading task. The effects of inter-letter spacing were examined not only with young normal readers, but also with young readers with developmental dyslexia. If we use the definition from DSM-IV, readers with developmental dyslexia are characterised by difficulty in accuracy or

fluency of reading beyond the individual's chronological age which cannot be explained in terms of the individual's intellectual abilities or lack of educational opportunities (see Gabrieli, 2009, for a recent review). Although a comprehensive discussion of the literature on dyslexia would go beyond the scope of the present paper, the traditional view regarding dyslexia is related to a phonological deficit (e.g., see Liberman, Shankweiler, Fischer, & Carter, 1974). Nonetheless, more recent research has qualified this view by indicating that the deficit would occur when accessing these phonological representations (i.e., the phonological representations per se of individuals with developmental dyslexia may be intact; see Ramus & Szenkovits, 2008) and that developmental dyslexia may be characterised on the basis of abnormal, parallel letter coding as visual objects rather than as letters (e.g., see Whitney & Cornelissen, 2005).

According to the “crowding” and “perceptual uncertainty” mechanisms, there are several reasons why young readers (and particularly those with dyslexia) may benefit from small increases in inter-letter spacing, even more than adult skilled readers. On the one hand, crowding effects tend to be greater for young readers than for adults (see Jeon, Hamid, Maurer, & Lewi, 2010) and they tend to be greater for readers with dyslexia than for their controls (see Atkinson, 1991; Geiger & Lettvin, 1987; Hawelka & Wimmer, 2005; Martelli, Di Filippo, Spinelli, & Zoccolotti, 2009; Spinelli, de Luca, Judica, & Zoccolotti, 2002). Indeed, it has been suggested that “visual crowding may be a factor contributing to the genesis of developmental dyslexia” (Spinelli et al., 2002, p. 197). On the other hand, it has been claimed that orthographic development in young readers goes “from a fairly loosely tuned system for the coding of the position of letters within words towards a more precisely tuned system” (Castles, Davis, Cavalot, & Forster, 2007, p. 168). This is consistent with the presence of larger transposed-letter effects (i.e., *jugde* being processed as *judge*) with beginning readers than for intermediate readers or adult skilled readers (see Acha & Perea, 2008; Castles et al., 2007; Perea & Estévez, 2008). In this light, it has been suggested that, among young readers, perceptual uncertainty may be larger for readers with dyslexia than for normal readers (see O'Brien, Mansfield, & Legge, 2005). Indeed, failures in letter position coding may produce a specific form of developmental dyslexia (i.e., the so-called “letter position” dyslexia, see Friedman & Rahamim, 2007).

Empirical work concerning the effects of inter-letter spacing in visual-word recognition with young readers is very scarce, but it does suggest a beneficial effect of a slight increase in inter-letter spacing relative to the default settings. Spinelli et al. (2002) employed five-letter Italian words in a naming task with young normal

readers and with readers with developmental dyslexia (12 year-olds in both groups). For the dyslexic group, they found substantially shorter response times (around 40 ms; overall RTs around 900 ms) when there was a slightly wider inter-letter spacing (e.g., b o r d o) than with the default settings (e.g., bordo). For the control group, Spinelli et al. reported a nonsignificant 7-8 ms advantage for the words with the slightly wider inter-letter spacing e the overall RTs were around 550 ms. Not surprisingly, a substantial increase in inter-letter spacing (e.g., b o r d o) produced slower naming times in both groups e note that an increase in inter-letter spacing beyond certain limits destroys the word's integrity (see Chung, 2002). In addition, McLeish (2007), in a sample of young readers (10e15 years old) with low vision, found that increasing letter spacing increased reading speed in a continuous reading task in English. McLeish concluded that "increased letter spacing may be beneficial to most low-vision readers whatever their visual condition" (p. 141).

In sum, previous evidence suggests that inter-letter spacing has a beneficial effect in the process of visual-word recognition. The theoretical explanations, in terms of "crowding" and "perceptual uncertainty", would hypothesise an effect of similar (or probably larger) magnitude with developing readers, especially for those readers with developmental dyslexia. The present study also has obvious implications at a practical level: if a slightly wider interletter spacing produces faster word identification times (or reading times) than the default inter-letter spacing settings with young readers, then publishing companies, e-books, etc. should slightly modify (i.e., increase) the default inter-letter spacing values in children books. Or at the very least, the option of modifying inter-letter spacing should be offered in e-book applications e this is already an option in most word-processing software (e.g., MSWord, OpenOffice Writer, among others).

3.2.2 Overview of the experiments

We present four experiments that explored the effects of interletter spacing in visual-word recognition and reading. In all the experiments, words were presented with the default inter-letter settings (e.g., hotel) or with a slight increase in inter-letter spacing (1.2 in MS-Word: hotel, using a 14-pt Times New Roman font). These conditions were the same as in the Perea, Moret-Tatay, and Gómez (2011a) experiments.

In Experiments 1-3, we employed an online word identification task which is highly sensitive to small effects, namely, the lexical decision task (see Dufau et al., 2011, for a recent review). We should note here that the findings obtained with the lexical decision task have typically been generalised to normal silent reading (e.g., see Davis, Perea, & Acha, 2009; Johnson, Perea, & Rayner, 2007; Perea & Pollatsek, 1998). Indeed, in his influential review on eye movement research, Rayner's (1998) indicated that "researchers can have some confidence that results obtained with standard naming and lexical decision tasks generalize to word recognition processes while reading" (p. 392). We employed the go/no-go variant of the lexical decision task ("if it is a word, press 'yes'; if not, refrain from responding") rather than the yes/no procedure ("if it is a word, press 'yes'; if not, press 'no'") because it produces faster responses and fewer errors than the standard yes/no variant with developing readers, without altering the process of interest (Moret-Tatay & Perea, 2011; Perea, Moret-Tatay, & Panadero, 2011b; see also Gomez, Ratcliff, & Perea, 2007, for a mathematical model of the go/ no-go task).

Experiment 1 was designed to replicate Perea, Moret-Tatay, and Gómez's (2011a), Perea and Gómez (2012) findings with adult skilled readers (i.e., university students) using a different set of materials. The new materials were composed of (frequent) words which were familiar to first-grade children. The purpose of this replication (which was accomplished) was to show that the effects of inter-letter spacing could be generalised to the materials that were used with children in Experiments 2 and 3. Experiments 2 and 3 were parallel to Experiment 1, except that Grade 4 and Grade 2 children participated in Experiment 2, whereas young readers with developmental dyslexia participated in Experiment 3. Finally, to examine whether the effects obtained in Experiments 2 and 3 could be generalised beyond the recognition of isolated words, Experiment 4 employed a continuous reading task with young normal readers and with young readers with developmental dyslexia.

3.2.3 Experiment 1 (adult skilled readers)

Together with inter-letter spacing, in Experiments 1e3 we also manipulated word length (four vs. six-letter words). The rationale of this manipulation was to examine whether the effect of interletter spacing could interact with this relevant sublexical factor. Perea, Moret-Tatay, and Gómez (2011a) found a similar pattern of data for

five- and eight-letter words with adult skilled readers. However, the effect of word length is usually very small (and nonsignificant) with adult readers, whereas it is quite robust with young readers (e.g., see Acha & Perea, 2008). Thus, in the case of young readers, it may be the case that inter-letter spacing affects differently four- and six letter words (i.e., it could be argued that crowding effects would play a larger role with longer words rather than with shorter words).

Although the critical manipulation in the present study was inter-letter spacing, we also tested another spacing manipulation in Experiments 1e3: the word/nonword could have an extra spacing after each syllable (syllable-based spacing; as in *ca s i no*). This manipulation may be potentially relevant because it has been claimed that syllables may be fundamental units of processing, in particular for Romance languages with well-defined syllable boundaries (see Carreiras, Álvarez, & de Vega, 1993; Perea & Carreiras, 1998). The evidence with respect to syllable-based spacing in visual-word recognition is, however, very scarce. Splitting the word into syllables (e.g., *BUR DEN*) has been shown to produce longer response times than presenting the whole word with no extra spacing between syllables (*BURDEN*) in a lexical decision task in English with adult skilled readers (660 vs. 627 ms, respectively; see Lima & Pollatsek, 1983). Nonetheless, leaving aside that syllabic effects in English tend to be less reliable than in Romance languages (see Macizo & Van Petten, 2007), the extra spacing between syllables in the Lima and Pollatsek experiment was greater than that used here, and it might have hindered the whole word's integrity.

In sum, in this experiment with adult skilled readers, we predict that a small increase in inter-letter spacing will significantly reduce response times in the lexical decision task (Hypothesis 1), similarly to previous reports with other sets of items (e.g., Perea & Gómez, 2012; Perea, Moret-Tatay, & Gómez, 2011a).

Method

Participants

The participants were 24 undergraduate and graduate students from the University of Valencia (16 female; mean age: 23 years). All participants had normal or corrected-to-normal vision and were native speakers of Spanish. None of them had sensory, neurological, or other problems traditionally used as exclusionary criteria for learning disabilities.

Materials

We selected a set of 108 Spanish words from the B-Pal database (Davis & Perea, 2005). These words were divided into two groups as a function of their length: four-letter disyllabic words were labelled as short words, and six-letter trisyllabic words were labelled as long words. The mean word-frequency per million was 60 (range: 1-352) for short words and 57 (range: 1-210) for long words. All these words were familiar to young readers: they appeared in the Spanish word-frequency count for first-grade children of Corral, Goikoetxea, and Ferrero (2009; the frequencies in this corpus for short and long words were 56 and 55, respectively). The mean number of ‘orthographic neighbours’ (i.e., one-letter different words) was 11.4 for short words (range: 0-26) and 1.7 for long words (range: 0-6). Nonwords were created by changing several letters of Spanish words (vowel by vowel, and consonant by consonant), so that both length and orthographic structure was the same as in the target words (e.g., socade, bido). The list of words and nonwords is available in Appendix A. Word and nonword stimuli were counterbalanced across three experimental lists so that if a letter string was presented with the default inter-letter spacing in the first list, it would be presented with a slightly wider inter-letter spacing in the second list, and with a slightly wider syllabic spacing in the third list. Stimuli were presented in 14-pt Times New Roman. The condition with a slightly wider inter-letter spacing consisted in a 1.2 extra inter-letter spacing (e.g., compare the default animal with animal), and the condition with a syllabic spacing consisted in a parallel spacing as the previous condition but only between each syllable (e.g., compare the default hotel with ho tel).

Procedure

Participants were tested individually in a quiet room. Presentation of the stimuli and recording of response times were controlled by a Windows computer running DMDX (Forster & Forster, 2003). On each trial, a fixation point (“p”) was presented at the centre of the screen for 500 ms. Next, the target stimulus was presented in lowercase and remained on the screen until the participant’s response or until 2500 ms had elapsed (see Moret-Tatay & Perea, 2011, for a similar procedure). Participants were told that words and nonwords would be displayed on the monitor in front of them, and that they should press one button to indicate if the stimulus was a Spanish word, and refrain from responding if the stimulus was not a word. They were instructed to respond as rapidly as possible without making too many mistakes. Each participant received a different random order of stimuli. Each participant received a total of 24 practice trials prior to the experimental phase. The session lasted approximately 15 min.

Results and Discussion

Incorrect responses and reaction times less than 250 ms or greater than 1800 ms (.08%) were excluded from the latency analysis. The mean latencies for correct responses and error rates are presented in Table 1. Although the key comparison is the default inter-letter spacing condition vs. the slightly wider inter-letter spacing condition, the syllable-based spacing condition was also included in the ANOVAs. For word stimuli, RTs and percent errors were submitted to separate ANOVAs with a 2 (Length: 4 letters, 6 letters) x 3 (Spacing: default, wide, syllabic) x 3 (List: list 1, list 2, list 3) design. For nonword stimuli, participants’ error rates (there were no RTs for nonwords because this was a go/no-go task) were submitted to an ANOVA with a 2 (Length: 4 letters, 6 letters) x 3 (Spacing: normal, wide, syllabic) x 3 (List: list 1, list 2, list 3) design.

Table 1

Mean lexical decision times (in ms) and percentage of errors (in parentheses) for word and pseudoword in Experiment 1- 3.

	Spacing		
	Default	Slightly wider	Syllabic
Adult Readers (Exp.1)			
Words			
Short	592 (1.6)	567 (.7)	576 (1.6)
Long	596 (.5)	554 (.2)	591 (.2)

Nonwords			
Short	– (3.0)	– (2.3)	– (3.0)
Long	– (1.4)	– (3.9)	– (2.5)

4th Graders (Exp.2)

Words			
Short	806 (1.9)	795 (2.3)	811 (2.3)
Long	854 (1.6)	821 (1.6)	860 (2.5)

Nonwords			
Short	- (10.6)	- (9.5)	- (11.1)
Long	- (10.0)	- (7.9)	- (8.3)

2nd Graders (Exp.2)

Words			
-------	--	--	--

<i>Short</i>	931 (2.9)	937 (3.7)	941 (3.7)
Long	1021 (3.7)	989 (5.1)	1038 (4.1)

Nonwords			
<i>Short</i>	- (8.1)	- (9.3)	- (7.9)
Long	- (6.7)	- (6.0)	- (5.1)

Readers with dyslexia (Exp.3)

Words			
<i>Short</i>	917 (9.9)	906 (8.0)	981 (6.8)
Long	1180 (25.6)	1051 (11.1)	1242 (25.9)

Nonwords			
<i>Short</i>	- (8.1)	- (9.3)	- (7.9)
Long	- (6.7)	- (6.0)	- (5.1)

List was included in the ANOVAs to extract the error variance due to the counterbalancing lists (see Pollatsek & Well, 1995).

The main effect of spacing on the latency data was significant, $F1(2,42) = 3.98$, $MSE = 3480$, $\eta^2 = .16$, $p < .05$, $F2(2,204) = 13.96$, $MSE = 2104.2$, $\eta^2 = .12$, $p < .001$. Consistent with Hypothesis 1, this reflected faster response times for the words with a slightly wider inter-letter spacing than for the words with the default inter-letter settings (560 ms vs. 594 ms, respectively), $F1(1,21) = 4.75$, $MSE = 5564.3$, $\eta^2 = .18$, $p < .05$; $F2(1,102) = 29.59$, $MSE = 1895.5$, $\eta^2 = .23$, $p < .001$, while the pairwise comparison between the inter-syllable spacing and the

default condition was not significant (584 vs. 594 ms, respectively), $F(1,21) = .96$, $MSE = 2651.2$, $h^2 = .05$, $p > .30$; $F(1,102) = 2.85$, $MSE = 1906.7$, $\eta^2 = .03$, $p = .094$. Word length, however, did not yield significant effects on the latency data: The mean response time to six- and four-letter words was remarkably similar (578 vs. 580 ms, respectively; both F s < 1). Finally, the interaction between length and spacing was not significant, $F(2,42) = 1.45$, $MSE = 1203$, $\eta^2 = .10$, $p > .15$; $F(2,204) = 2.56$, $MSE = 2104.2$, $\eta^2 = .02$, $p = .080$.

The error rate data only revealed a significant effect of word length: Participants made more errors on four-letter words than on six-letter words (1.3 vs. 0.3%, respectively), $F(1,21) = 6.76$, $MSE = 5.36$, $\eta^2 = .24$, $p < .02$; $F(1,102) = 5.00$, $MSE = 16.31$, $\eta^2 = .05$, $p < .03$. The other effects (for both word and nonword stimuli) did not approach significance (all p s $> .2$).

The results of the present go/no-go lexical decision experiment replicated the main findings reported by Perea, Moret-Tatay, and Gómez (2011a) and Perea and Gómez (2012) with adult skilled readers using a yes/no lexical decision task: small increases of inter-letter spacing lead to faster word identification times than the default settings (Hypothesis 1). Likewise, as in the experiments of Perea and colleagues, neither the effect of length nor the interaction between inter-letter spacing and length was significant; Perea et al. employed words of five vs. eight letters. Finally, even though there were some hints that the syllabic-based spacing condition could lead to faster response times than the default spacing condition (a 10-ms difference), the difference did not approach significance; that is, increasing the inter-syllable spacing did not have a beneficial/deleterious effect on identification times to word stimuli relative to the default settings.

Once the benefit of a small increase of inter-letter spacing was established with this set of items, the question became whether this effect also generalises to young readers. In Experiment 2, we employed the same conditions/procedure as in Experiment 1, except that this time the sample was composed of young readers of second and fourth grade. Thus, in Experiment 2, we predict that, similarly to adult skilled readers, small increases in inter-letter spacing will reduce lexical decision times with young normal readers (Hypothesis 2).

3.2.4 Experiment 2 (young normal readers)

Method

Participants

The participants were 24 second grade children (12 female; mean age: 7.8 years; range: 7-8) and 24 fourth graders (12 female; mean age: 9.7 years; range: 9-10). All participants had normal or corrected to- normal vision and were native speakers of Spanish. These children came from above-average socioeconomic backgrounds in a private school in Valencia, Spain. As in Experiment 1, participants were excluded if they had sensory, neurological, or other problems traditionally used as exclusionary criteria for learning disabilities. The experiment took place at the end of the academic year.

Materials and procedure

The design, materials and procedure were the same as in Experiment 1.

Results and Discussion

Incorrect responses and reaction times less than 250 ms or greater than 1800 ms (0.8 and 1.7% for the fourth and second graders, respectively) were excluded from the latency analysis. The mean response times for correct responses and the error rates are presented in Table 1.

Word data

The ANOVA on the latency data showed that 4th graders responded to words more rapidly than 2nd graders (824 vs. 976 ms, respectively), $F(1,42) = 20.93$, $MSE = 79174.5$, $\eta^2 = .33$, $p < .001$; $F(1,102) = 448.9$, $MSE = 7891.5$, $\eta^2 = .82$, $p < .01$, and that six-letter words were responded to more slowly than four-letter words (930 vs. 870 ms, respectively), $F(1,42) = 26.79$, $MSE = 9788.4$, $\eta^2 = .39$, $p < .01$; $F(1,102) = 15.15$, $MSE = 35801.3$, $\eta^2 = .13$, $p < .01$. The effect of length was larger for 2nd graders than for 4th graders, as deduced from the interaction between length and grade in the item analysis (and marginally in the participant analysis), $F(1,42) = 2.74$, $MSE = 9788.4$, $\eta^2 = .10$, $p = .10$; $F(1,102) = 7.29$, $MSE = 7981.5$, $\eta^2 = .07$, $p < .01$. More important for the

present purposes, the main effect of spacing was significant, $F(2,84) = 5.69$, $MSE = 3159.3$, $\eta^2 = .12$, $p < .01$; $F(2,204) = 6.63$, $MSE = 6623.5$, $\eta^2 = .06$, $p < .01$, as was the interaction between Length and Spacing, $F(2,84) = 4.00$, $MSE = 15868$, $\eta^2 = .10$, $p < .05$; $F(2,204) = 3.30$, $MSE = 6623.5$, $\eta^2 = .03$, $p < .01$. This interaction reflected a significant effect of spacing for the six-letter words, $F(2,85) = 8.55$, $MSE = 2914.6$, $\eta^2 = .17$, $p < .03$; $F(2,102) = 8.69$, $MSE = 7181.3$, $\eta^2 = .15$, $p < .01$, with faster response times for the words with a slightly wider inter-letter spacing than for the words presented with the default settings (905 vs. 937ms, respectively; i.e., consistent with Hypothesis 2), $F(1,42) = 7.96$, $MSE = 3213.3$, $\eta^2 = .10$, $p < .01$; $F(1,51) = 6.13$, $MSE = 9446.1$, $\eta^2 = .11$, $p < .02$, while there were no differences between the inter-syllable spacing and the default conditions (949 vs. 937 ms, respectively), both $ps > .30$. In contrast, there were no signs of an effect of inter-letter spacing for the four-letter words (slightly wider inter-letter spacing: 866 ms; default spacing: 868 ms), both $Fs < 1$.

The ANOVAs on the error data revealed (restricted only to the item analyses) that 2nd graders made more omission errors than 4th graders (word stimuli; 3.9 vs. 2.0% of omission errors; $F(1,42) = 2.91$, $MSE = 84.72$, $\eta^2 = .07$, $p = .095$; $F(1,102) = 16.40$, $MSE = 33.87$, $\eta^2 = .14$, $p < .01$). The other effects did not approach significance, all $Fs < 1$.

Nonword data

The ANOVA on the accuracy data to nonwords revealed that participants committed more false alarms for four-letter nonwords than for the six-letter nonwords (9.4 vs. 7.3%, respectively), $F(1,42) = 12.22$, $MSE = 25.57$, $\eta^2 = .23$, $p < .002$; $F(1,102) = 4.47$, $MSE = 157.3$, $\eta^2 = .04$, $p < .04$. The other effects did not approach significance, all $Fs < 1$.

As occurred with adult skilled readers in Experiment 1, there is a benefit from small increases in inter-letter spacing (relative to the default settings) in the visual recognition of words for both second and fourth graders (Hypothesis 2). Not surprisingly, word identification latencies were overall longer for Grade 2 children than for Grade 4 children and, as expected, we found a length effect with young readers. This effect of length was greater for beginning readers (Grade 2) than for intermediate readers (Grade 4) (see also Acha & Perea, 2008). Finally, one difference with respect to Experiment 1 with adult skilled readers is that the effect of interletter spacing with

young readers was restricted to six-letter word. We found a similar trend in Experiment 1 with adult skilled readers but that interaction was not significant. (We defer an interpretation of this interaction until the General Discussion.)

As in Experiment 1, the syllable-based spacing behaved similarly to the default spacing condition (i.e., it did not produce a significant benefit on lexical access, but it did not have a deleterious effect either). Finally, it is important to note that the error rates were quite low, not only for fourth graders, but also for second graders. This reinforces the use of the go/no-go procedure as the most appropriate variant of the lexical decision task when conducting experiments with children (see Moret-Tatay & Perea, 2011; Perea, Moret-Tatay, & Panadero, 2011b).

In sum, the present experiment has revealed that there is a beneficial effect of small increases of inter-letter spacing (relative to the default settings) with young normal readers (Hypothesis 2). Experiment 3 was designed to examine the effects of inter-letter spacing with young readers with developmental dyslexia, using the same materials and procedure as in the previous experiments. As indicated in the Introduction, Spinelli et al. (2002) found substantially faster naming latencies for words presented with a slightly wider inter-letter spacing (e.g., *bordo*) than with the default settings (e.g., *bordo*) in a sample of young readers with developmental dyslexia. In their experiment, the effect of inter-letter spacing on naming latencies for normal readers was small and nonsignificant. If the effects of crowding (or perceptual uncertainty) are larger in dyslexics than in normal young readers (as suggested by O'Brien et al., 2005 and Spinelli et al., 2002, among others), we would expect a larger effect of inter-letter spacing for individuals with developmental dyslexia than that obtained with young normal readers. The present experiments were conducted in Spanish and the Spinelli et al. experiments were conducted in Italian, another shallow orthography. Nonetheless, as we discuss in the General discussion an explanation in terms of “crowding” or letter position coding (i.e., “perceptual uncertainty”) should be independent of a language’s orthographic depth (see Davis et al., 2009; Serrano & Defior, 2008).

We originally intended to recruit the group with developmental dyslexia from Grades 4 and 2 e to keep the age level similar to Experiment 2. However, the initial testing revealed that even the go/no-go variant of the lexical decision task was very difficult for the vast majority of these children: both error rates and latencies were too high to allow a reasonable comparison with the normal readers. For that reason, we recruited children diagnosed with developmental dyslexia from the final year of primary school (i.e., Grade 6) and from the two initial years of

compulsory secondary education in Spain (i.e., Grades 7 and 8 in the US system). We must keep in mind that the goal of the present study is to examine whether slight increases in inter-letter spacing benefit lexical access in developing readers -normal readers and readers with developmental dyslexia - rather than a direct comparison of a group of readers with dyslexia vs. a control group.

3.2.5 Experiment 3 (young readers with developmental dyslexia)

Based on previous research on crowding effects and based on the findings of Experiments 1 and 2, small increases in inter-letter spacing will considerably reduce response times with young readers with developmental dyslexia (Hypothesis 3).

Method

Participants

The participants were 18 children (7 female) from the province of Valencia, Spain (mean age: 12.1 years; range: 11-13) which had been diagnosed with dyslexia. All of the participants were native speakers of Spanish and met the following criteria: normal or above normal intelligence, standard educational opportunities, normal or corrected-to-normal vision, no gross sensory deficits or behavioural problems, and no history of neurological disease. To further verify that the children had reading problems, we administered to all of the participants the PROLEC-SE standardised battery of reading tests in Spanish (Ramos & Cuetos, 1999) and the diagnosis of developmental dyslexia was confirmed. At the time of the experiment, all the participants were receiving individual remediation training (two 45-min sessions per week) in private centres or at their own schools - this included training in phonological awareness tasks, attention/memory tasks, reading tasks (speed, accuracy, comprehension), writing tasks (dictation, spontaneous writing, copying), and breathing exercises.

Materials and procedure

The design, materials and procedure were the same as in Experiments 1 and 2.

Results and Discussion

Incorrect responses and reaction times less than 250 ms or greater than 1800 ms (5.5%) were excluded from the latency analysis. The mean latencies for correct responses and error rates are presented in Table 1.

Word data

The ANOVA on the latency data showed that six-letter words were responded to more slowly than the four-letter words (1158 vs. 935 ms, respectively), $F(1,15) = 73.39$, $MSE = 18325$, $\eta^2 = .83$, $p < .01$; $F(1,102) = 96.43$, $MSE = 34171.9$, $\eta^2 = .49$, $p < .01$. The main effect of spacing was also significant, $F(2,30) = 12.11$, $MSE = 13247$, $\eta^2 = .45$, $p < .01$; $F(2,204) = 13.56$, $MSE = 26263.3$, $\eta^2 = .12$, $p < .01$. As in Experiment 2 (young normal readers), the interaction between Length and Spacing was significant, $F(2,42) = 4.10$, $MSE = 9979$, $\eta^2 = .22$, $p < .01$; $F(2,204) = 2.87$, $MSE = 26263.3$, $\eta^2 = .03$, $p = .059$. This reflected that there was a significant effect of spacing for the six-letter words, $F(2,30) = 9.28$, $MSE = 18489$, $\eta^2 = .38$, $p < .01$; $F(2,102) = 9.69$, $MSE = 37330.8$, $\eta^2 = .16$, $p < .01$, with faster response times for the wider inter-letter spacing condition than for the default spacing condition (1051 vs. 1180 ms, respectively; i.e., consistent with Hypothesis 3), $F(1,21) = 13.76$, $MSE = 10845$, $\eta^2 = .48$, $p < .01$; $F(1,102) = 9.81$, $MSE = 38081.3$, $\eta^2 = .03$, $p < .01$, whereas there were no differences between the syllable-based spacing and the default conditions (1240 vs. 1180 ms, respectively), both $ps > .20$; in contrast, there were no signs of an effect of inter-letter spacing for the four-letter words (default spacing: 917 ms; wider inter-letter spacing: 906 ms), both $Fs < 1$.

The ANOVA on the error data showed that participants committed more errors to six-letter words than to four-letter words (20.9 vs. 8.2%, respectively), $F(1,15) = 22.22$, $MSE = 194.6$, $\eta^2 = .60$, $p < .01$; $F(1,102) = 34.61$, $MSE = 374.9$, $\eta^2 = .25$, $p < .01$. The main effect of spacing was also significant, $F(2,30) = 6.82$, $MSE = 101.1$, $\eta^2 = .31$, $p < .01$; $F(2,204) = 12.90$, $MSE = 160.3$, $\eta^2 = .11$, $p < .01$, as well as the interaction between

Length and Spacing, $F(2,42) = 11.14$, $MSE = 57.8$, $\eta^2 = .43$, $p < .01$; $F(2,204) = 12.05$, $MSE = 160.3$, $\eta^2 = .11$, $p < .01$. This interaction reflected that there was a significant effect of spacing for the six-letter words, $F(2,30) = 12.25$, $MSE = 105.3$, $\eta^2 = .45$, $p < .01$; $F(2,102) = 17.17$, $MSE = 225.4$, $p < .01$, with substantially more errors to the default inter-letter spacing condition than in the slightly wider inter-letter spacing condition (25.6 vs. 11.1%, respectively), $F(1,15) = 16.22$, $MSE = 116.8$, $\eta^2 = .52$, $p < .01$; $F(1,102) = 20.24$, $MSE = 178.5$, $\eta^2 = .17$, $p < .01$. In contrast, there was no significant effect of inter-letter spacing for four-letter words (default spacing: 9.9%; wider inter-letter spacing: 8.0%), both $F_s < 1$.

Nonword data

The ANOVA on the accuracy data to nonwords revealed that participants committed more false alarms for the four-letter nonwords than for the six-letter words in the analysis by participants (5.7 vs. 2.6%, respectively), $F(1,15) = 7.84$, $MSE = 32.81$, $\eta^2 = .34$, $p < .02$; $F(1,102) = 2.59$, $MSE = 298.4$, $\eta^2 = .03$, $p = .11$. The other effects/interactions were not significant (all $p_s > .30$).

The main findings of the present experiment are straightforward. Leaving aside the vast effect of length e which occurred in both response times (223 ms) and error data (12.7%) to word stimuli e there was a substantial reading benefit from small increases of inter-letter spacing relative to the default settings (Hypothesis 3). This benefit occurred both in the word identification data and in the error data. Indeed, the vast majority of participants showed a beneficial effect from inter-letter spacing: seventeen out of the eighteen participants. Furthermore, as occurred in the group of normal young readers, the effect was restricted to six-letter words. This finding argues against the idea that increasing the length of the stimulus (via increasing interletter spacing) may be beyond the visual span of the participants in a visual-word recognition task, at least for six-letter words.

One relevant question now is whether or not the effects of interletter spacing obtained with a laboratory word identification task (i.e., lexical decision) can be generalised to normal reading. Experiments 1 and 3 offer clear evidence in favour of a foveal advantage of inter-letter spacing during the recognition of visually presented words. However, in a normal reading situation, neighbouring words would be farther away when using a slightly wider inter-letter spacing and this may lead to less parafoveal preview benefits. This potential trade-off may cancel

the advantage in foveal processing from small increases in inter-letter spacing. We believe that is important to examine whether young readers also show a benefit of small increases in inter-letter spacing when reading a text. To that end, we conducted Experiment 4 with both a group of young normal readers (Grade 4 students) and a group of young readers with developmental dyslexia. Participants were presented with two texts composed each of several paragraphs. In one text, inter-letter spacing was slightly increased (p1.2, as in Experiments 1e3) and, in the other text, we employed the default spacing. The critical dependent variable was the overall reading time, but we also collected data from comprehension questions on the text. We acknowledge that monitoring the participants' eye movements would provide much finer measures than measuring the total reading time, but we believe that the present experiment can be used as an initial approach to assessing normal reading. If the benefits from small increases in inter-letter spacing extend to normal reading, this should be particularly robust for the readers with dyslexia since this is the group that presented the largest effect of inter-letter spacing in the visual-word identification task (i.e., lexical decision).

3.2.6 Experiment 4 (text reading)

If the findings observed in Experiments 2 and 3 with isolated words can be generalised to a normal reading situation, reading times will be shorter when the text is presented with a slight increase in inter-letter spacing relative to the default settings, both with young normal readers (Hypothesis 4) and young readers with developmental dyslexia (Hypothesis 5).

Method

Participants

The group of normal readers was composed of 20 fourth graders (7 female; mean age: 9.3 years) from the same school as in Experiment 2; the test took place during the initial quarter of the academic year and none of them had participated in the previous experiment. None of them had sensory, neurological, or other problems traditionally used as exclusionary criteria for learning disabilities. The group with developmental dyslexia was

composed of the 18 individuals from Experiment 3 as well as two additional participants from the same population. The test took place several months after Experiment 3.

Materials

We selected two stories (“The snowman” and “The wind”; see Appendix B) from a Spanish web site which includes text readings for children. We made very minor changes in the wording of these texts because the original texts used a few dialectal words from the Canary Islands. The two texts were originally intended for Grade 4 children.

We prepared two versions for each story: one with the default interletter spacing and another with a small increase in inter-letter spacing. Half of the children were initially presented with the story “The snowman” and then “The wind”, while the order was reversed for the other half. In addition, the spacing condition (default spacing vs. slightly wider spacing) was also counterbalanced across participants.

Half of the children were presented initially with one text presenting the default spacing, and then with the text with slightly wider spacing. The order was reversed for the other half. To obtain a comprehension score for each story, we created five open questions for each text (included in Appendix B). All the questions were surface comprehension questions (e.g., “What are they playing?”; the story indicated “John and Anne are at home, playing pirates”).

Procedure

Participants were tested individually in a quiet room. Prior to the experiment, they were instructed to read the short story aloud. They were also told that they would be presented with a few questions after reading each text. Presentation of the stimuli and recording of response times were controlled by a Windows computer running DMDX (Forster & Forster, 2003). At the beginning of each trial, the participants were presented with a screen with the instructions. After they pressed the “SPACE” button, the text appeared on the screen and the participants

read the text aloud. Participants had to press a button to end the trial. Then, they were asked five (open) comprehension questions e the list of questions.

Results and Discussion

The overall reading times (in words per minute) and the reading comprehension scores for young normal readers and readers with developmental dyslexia are displayed in Table 2. We conducted paired t-tests on the participants' reading times and on the mean percentage of correct responses in the open comprehension questions based on the following comparison: default inter-letter spacing vs. slightly wider inter-letter spacing.

Young normal readers

Overall reading times (in words per minute) were only marginally faster when the text was presented with a slightly wider inter-letter spacing (122.2 words per minute) than when it was presented with the default inter-letter spacing (120.2 words per minute); this difference was not significant, $t(19) = -.92$, $h^2 = .05$, $p > .20$, hence this finding does not confirm Hypothesis 4. (13 out of 20 participants [i.e., 65% of the sample] showed faster reading times in the slightly wider inter-letter spacing condition than with the default settings.) The comprehension score was virtually the same in the two spacing conditions (84% of correct responses in the two spacing conditions).

Table 2

Overall reading times (in words/minute) and comprehension score (percent correct) in Experiment 4.

<i>Interletter Spacing</i>			
<i>Default</i>		<i>Slightly wider</i>	
<i>Reading time</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Reading time</i>	<i>Accuracy</i>

Normal children	120.2	84.0	122.2	84.0
Readers with dyslexia	74.1	46.3	81.9	56.3

Readers with developmental dyslexia

Overall reading times (in words per minute) were substantially faster when the text was presented with a slightly wider interletter spacing (81.9 words per minute) than when it was presented with the default inter-letter spacing (74.1 words per minute), $t(19) = -3.49$, $\eta^2 = .39$, $p < .01$, thus confirming Hypothesis 5. The reading comprehension scores were higher in the condition when the text was presented with a slightly wider inter-letter spacing (56.3%) than when it was presented with the default inter-letter spacing (46.3%), $t(19) = -2.33$, $\eta^2 = .22$, $p < .05$.

The findings from the present experiment are clear-cut. The beneficial effect of small increases in inter-letter spacing (relative to the default settings) also occurs in a continuous reading task in the case of readers with dyslexia (Hypothesis 5). Furthermore, this beneficial effect occurred not only in terms of reading speed, but also in terms of comprehension scores. In contrast, the effect of inter-letter spacing was much weaker with young normal readers (i.e., not confirming Hypothesis 4): we found a nonsignificant difference of 2 words per minute in the reading rate (it was nearly 8 words per minute for the readers with developmental dyslexia), and virtually no effect in the comprehension scores.

3.2.7 General Discussion

The main findings of the present series of experiments can be summarised as follows. Firstly, a small increase in inter-letter spacing relative to the default spacing (i.e., hotel vs. hotel) produces faster word identification times not only with adult skilled readers (Experiment 1; Hypothesis 1), but also with young normal readers (Experiment 2; Hypothesis 2) and even to an even larger degree with young readers with developmental dyslexia (Experiments 3 and 4; Hypotheses 3 and 5). Secondly, the effect of inter-letter spacing was modulated by word length with young readers (both normal readers and readers with dyslexia): the effect occurred for six- rather

than for four-letter words. Thirdly, there was a robust effect of word length for young normal readers (41 ms for 4th Graders, 80 ms for 2nd Graders) and for young readers with developmental dyslexia (223 ms) but not for adult skilled readers (2 ms). Fourthly, increasing the spacing between the syllables did not produce any beneficial or detrimental effects relative to the default inter-letter settings. Fifthly, the facilitative effect of small increases of inter-letter spacing also occurred in a continuous reading task with young readers with developmental dyslexia (Experiment 4; Hypothesis 5) both in the reading times and in the comprehension scores. The effect in the reading time for young normal readers was in the same direction but it was not significant (i.e., Hypothesis 4 was not confirmed by the data). In the following paragraphs we examine the implications of the present data, both at a theoretical level and at an applied level.

At a theoretical level, how can we explain the presence of a facilitative effect of inter-letter spacing in visual-word recognition relative to the default settings with young readers? As indicated in the Introduction, Perea and Gómez (2012) recently demonstrated that small increases of inter-letter spacing facilitate the encoding of letters in words rather than late word-identification processes using fits of Ratcliff's (1978) diffusion model. The absence of a difference between the default condition and the syllable-based spacing condition in Experiments 1e3 is consistent with the idea that these effects operate at an early letter-encoding level rather than at a (higher) sublexical level (e.g., the syllable). As indicated in the Introduction, there are two nonmutually-exclusive reasons for the advantage of a slight increase in inter-letter spacing in the encoding of words. On the one hand, lateral masking (i.e., crowding effects) may be reduced for words with a slightly wider inter-letter spacing. Importantly, this mechanism may affect to a less degree very short words (e.g., four-letter words) and this may explain why the effect of inter-letter spacing was larger for six-letter than for four-letter words in particular for young readers. On the other hand, letter position encoding can be more accurate with an increased inter-letter spacing (i.e., there would be less perceptual uncertainty on a letter's position within a word) and this may affect differently four-letter words and six-letter words (see Davis & Andrews, 2001, for evidence of greater transposed-letter effects for longer than for shorter stimuli). These effects may have affected to a larger degree the immature system of letter/word recognition of developing readers than the letter/word recognition system of adult skilled readers. Note that even with adult skilled readers (Experiment 1) we found a numerically larger effect of inter-letter spacing for six-letter words as well.³ Dissociating between the two mechanisms underlying the effect of inter-letter

spacing (i.e., crowding vs. perceptual uncertainty) would be considerably beyond the scope of the present data set, and we would rather not enter in a purely speculative debate.

In Experiments 1e3, we focused on the recognition of individually presented words. We acknowledge that even though the recognition of isolated words provides useful information (e.g., when reading traffic signs, product names, etc.), it is important to examine whether or not the effect of inter-letter spacing can be generalised to a normal reading situation. Indeed, the generalization may not be completely straightforward. On the one hand, a small increase in inter-letter spacing may produce a benefit during the encoding of individual words in the fovea (as Experiments 1e3 demonstrated; see also Perea & Gómez, 2012). On the other hand, there may be a reading cost when these words with an increased inter-letter spacing are presented in a sentence: neighbouring words with small increases in inter-letter spacing will be farther away from the fixation than in the default settings (e.g., compare a rows is a rose vs. a r o w s i s a r o s e) and this may limit the information attained while the words are in the parafovea because of less acuity. Experiment 4 was an initial step to examine the effects of inter-letter spacing during normal reading. Specifically, inter-letter spacing was manipulated during a continuous reading task in which we measured the overall reading time and a comprehension score. Results revealed that, for young readers with dyslexia, there were faster reading times when the text had a small increase in inter-letter spacing relative to the default settings; furthermore, this was also accompanied by higher comprehension scores. That is, the benefits from small increases of inter-letter spacing from encoding words at the fovea level surpassed the potential cost of having the nearby words more separated. Although we failed to find a parallel effect for normal young readers, this null effect with young readers must be taken with some caution, since the task employed in Experiment 4 only offers global measures and cannot be used to explore the time course of the effect of inter-letter spacing (e.g., fixation durations might have been shorter but participants might have also made more fixations, and these two opposing effects could have produced a global null effect). Clearly, one question for future research is to examine in detail how inter-letter spacing modulates the pattern of eye movements during reading in developing readers both with young normal readers and with young readers with developmental dyslexia. In this light, it would be important to use a parametric approach (i.e., employing several levels of inter-letter spacing; see Perea & Gómez, 2012) to shed some light on which one is the “optimal” letter spacing for young readers and how (and why) it may

vary across individuals. And last but not least, it is important to examine how this effect is modulated by other potentially relevant factors such as print size (e.g., see O'Brien et al., 2005).

The large effect of inter-letter spacing found in the group of young readers with developmental dyslexia both in lexical decision (Experiment 3) and in continuous reading (Experiment 4) is remarkable. This extends the findings reported from Spinelli et al. (2002) in a naming task, who indicated that “one-third of the dyslexics showed a clear-cut advantage with spacing. In these subjects, improvement with increased letter distance was substantial (on the average 130 ms)” (p. 196). Crucially, the present data has shown that small increases in inter-letter spacing in the group of developmental dyslexics lead not only to beneficial effects in the identification of isolated words (Experiment 3), but also produce faster reading time in a brief story and higher comprehension levels (Experiment 4). It is important to note here that the questions in Experiment 4 were surface comprehension questions. Future research should focus not only on surface comprehension questions but also on deep comprehension questions as they may provide relevant information about the nature and relevance of the questions and what they reveal about local and global text comprehension (see Graesser & McNamara, 2011, for a recent review). Thus, the practical implications of the present study for the written materials for children (in particular, for young readers with dyslexia) are clear: the present data suggest that words in e-books or digital documents should be presented with a slightly wider inter-letter spacing than the current default settings.

In the present experiments, the effect of inter-letter spacing had substantially larger effects on the reading speed of participants with dyslexia than on normal readers e both 2nd and 4th graders. Given that, on average, the data from dyslexic participants were slower and/or less accurate than Grade 2 children, one could hypothesize that effect of inter-letter spacing might be associated with reading age.⁴ To further examine this issue, it would be important to examine the impact of inter-letter spacing during visual-word recognition and reading at the very initial stages of learning to read.

The present experiments were conducted in a shallow orthography (Spanish). Can the obtained findings be generalised to other languages? Given that the effects of inter-letter spacing should occur in an early encoding stage, they should be independent of a language's orthographic depth. We must bear in mind that there is evidence of a beneficial effects of slight increases of inter-letter spacing not only in other shallow orthographies (e.g., Italian; Spinelli et al., 2002) but also in deep orthographies (e.g., English; see Latham & Whitaker, 1996).

Furthermore, prior experiments on letter position coding and/or on crowding effects have yielded similar results when conducted in an opaque orthography or a shallow orthography (e.g., see Davis et al., 2009; Spinelli et al., 2002).

In sum, the present set of experiments with young readers provide a modest, initial step to study typographic factors during visual-word recognition and reading in a systematic way, by revealing that small increases of inter-letter spacing have a beneficial effect on the visual identification of words for young readers (Hypotheses 1e3) and, importantly, also in text comprehension at least for children with developmental dyslexia (Hypothesis 5). We believe that future implementations of e-book apps should offer the user the option to modify not just the background/ink colour or font size/type, but also the inter-letter spacing as currently occurs with word processors. Further research is necessary to study how inter-letter spacing may be used in the classroom context to (potentially) improve the ease of reading.

3.3 Does Viotin Activate Violin More Than Viocin?

On the Use of Visual Cues During Visual-Word Recognition

The process of learning to read in alphabetic languages is commonly regarded as evolving from an initial stage in which peripheral visual features alone produce semantic activation to a more efficient letter-based reading stage in which visual-word recognition is mediated by abstract letter representations (e.g., see Ehri, 1995; Frith, 1985; Webb, Beech, Mayall, & Andrews, 2006). Current neural, biologically plausible, proposals of how letters and words are processed involve the activation of the word's abstract letter representations, regardless of their visual characteristics (i.e., “a” and “A” would activate the letter detectors corresponding to the abstract letter unit “a”; see Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005; Grainger, Rey, & Dufau, 2008). Likewise, the most influential computational models of visual-word recognition and reading assume that the process of visual-word identification is based on the activation of the abstract letter representations rather than on peripheral visual cues such as a word's outline shape (e.g., spatial coding model, Davis, 2010).

A conclusive demonstration that the cognitive system rapidly converts the visual characteristics of the words to abstract representations comes from masked priming experiments – note that this technique taps into the early stages of word processing (Forster & Davis, 1984; see Grainger, 2008, for review; see also Paap, Newsome, & Noel, 1984; Rayner, McConkie, & Zola, 1980, for early empirical evidence using other procedures). In an influential study, Bowers, Vigliocco, and Haan (1998) found that the magnitude of the masked identity priming effect in lexical decision and semantic categorization for adult skilled readers, relative to an unrelated priming condition, was equivalent for pairs that were nominally and physically the same (e.g., kiss-KISS) and for pairs that were nominally the same but physically different (edge-EDGE) (see also Dehaene et al., 2003, for a parallel finding using fMRI) (see also Perea, Abu Mallouh, & Carreiras, 2013, for parallel evidence in Arabic). Importantly, Perea et al. (2013) found this pattern of data not only with adult skilled readers but also with developing readers (3rd and 6th Graders). This finding suggests that normally-developing readers (at least from Grade 3 onwards) have a fast access to the abstract representation of a word's constituent letters and that visual peripheral cues such as outline envelope play (if any) a minor role during the recognition of visually presented words. Clearly, a comprehensive model of visual-word recognition system but also how it develops in time and how it is affected by reading impairments (e.g., see Share, 2004; Thompson, 2009; Wang, Castles, Nickels, & Nation, 2011, for evidence of orthographic learning in young readers). In this respect, two recent studies have shown that adult readers with dyslexia (i.e., a learning disability that harms a person's ability to read with fluency; see Gabrieli, 2009, for review) may be overly sensitive to a word's visual peripheral information. Lavidor (2011) found similar response times in a lexical decision task for words composed of neutral/ascending/descending letters ("non-flat" words like bishop) and for words created exclusively with neutral letters ("flat" words like camera) with adult skilled readers – note that this is entirely consistent with all current models of visual-word recognition that assume that there is fast access to abstract letter representations. But the remarkable finding in the Lavidor experiment is that, using the same materials, she found faster response times for bishop-like words than camera-like words in a group of adult individuals with developmental dyslexia (mean age = 22 years). In addition, Friedmann and Haddad-Hanna (2012) reported that college-aged participants with "letter position" dyslexia made a large number of transposed-letter errors in a word naming task when the physical appearance of the target word and its potential competitor was similar—note that Friedmann and Haddad-Hanna study did not include a control

group of skilled adult readers. Therefore, the mentioned studies suggest that the process of visual-word recognition in adult individuals with dyslexia may be affected by nonrelevant visual cues in the stimuli (see Lachmann & van Leeuwen, 2004, 2007, 2008, for extensive discussion on feature integration of letters and non-letters in skilled adult readers, normally reading children, and children with dyslexia). One limitation of the Lavidor (2011) and Friedmann and Haddad-Hanna (2012) experiments, however, is that the participants were adult readers so that the obtained effects could have been a consequence rather than a cause of dyslexia.

The main aim of the present lexical decision experiment was to examine the role of visual cues during visual-word recognition, using exactly the same materials/procedure, in three separate groups of participants: (i) a group of individuals with a well-developed visual-word recognition system (college-aged students; Experiment 1a); (ii) a group of individuals with a well-developed but (somewhat) immature visual-word recognition system (Grade 4 children; around 9–10 years; Experiment 1b); and (iii) a group of individuals with an immature/impaired visual-word recognition system (young readers with developmental dyslexia; Experiment 1c).¹ The key visual factor manipulated in the experiment was straightforward: we replaced a consonant letter from a familiar high-frequency word (e.g., “violín” [violin, in English]) with a consonant letter which kept the same outline shape (consistent-shape pseudoword; e.g., viotín; i.e., the ascending letter “l” was replaced with another ascending letter, “t”) or with a consonant letter which altered the outline shape of the base-word (inconsistent-shape pseudoword; e.g., viocín; “c” is a neutral letter). If visual cues (e.g., outline shape) play a role during visual-word recognition, responses to the consistent-shape pseudoword “viotín” should be more error-prone (and/or slower) in a word/nonword discrimination task (i.e., lexical decision) than the responses to the inconsistent-shape pseudoword “viocín” – note that current neural and computational models of visual-word recognition predict no difference. For control purposes, the items were also presented in uppercase. There are no obvious visual cues of outline shape available in uppercase items, and hence no differences are expected between the lexical decision responses to VIOTIN and VIOCIN.

Importantly, the manipulation of case also allows the examination of the overall differences between lowercase and uppercase words in mature/immature visual-word recognition systems. Prior studies with adult skilled readers have revealed that, for high-frequency words, lexical decision times are similar for lowercase and uppercase words (i.e., house and HOUSE produce similar response times and error rates) whereas, for low-

frequency words, lexical decision times are faster for lowercase than for uppercase words (i.e., diurnal faster than DIURNAL; English: Mayall & Humphreys, 1996; Spanish: Perea & Rosa, 2002; Portuguese: Perea, Comesaña, & Soares, 2012). The lack of an effect of case for high-frequency words in adult skilled readers is entirely consistent with models of visual- word recognition that assume an early activation of abstract letter representations, but the lowercase advantage in low-frequency words requires an explanation. To explain the Case · Frequency interaction, Perea and Rosa (2002) employed an adaptive resonance framework (Stone & Van Orden, 1993; Van Orden & Goldinger, 1994), in which stable percepts are more easily attained in a familiar format than in an unfamiliar format – note that lowercase letters/ words appear in more frequently in print than uppercase letter/ words. The lack of an effect of case with highly familiar words would be due to the fact that, unlike infrequent words, they form stable percepts very quickly (i.e., they would not be dramatically affected by the format of bottom- up information). This explanation is compatible with the neural accounts of visual-word recognition. Indeed, Dehaene et al. indicated that “feedback and lateral connections are numerous in the visual system, and probably contribute to shaping the neurons” (p. 338) (i.e., the Dehaene et al. account is not purely feedforward). The present set of word stimuli was of high frequency ($M = 55$ per million), so that a reduced/null effect of case is expected in the group of adult skilled individuals – consistent with prior experiments. With respect to the young readers with/without dyslexia, since attaining a stable percept will take significantly more cycles than in a fully developed system (i.e., the quality of lexical information is smaller than in skilled readers), an advantage of the more common format (i.e., lowercase) over the less common format (i.e., uppercase) is expected – as happens with low-frequency words in adult skilled readers.

Method

Participants

The participants were 16 undergraduate students from the Universitat de València in Experiment 1a (12 female; mean age = 20.3 years; range: 19–22), 36 fourth grade children from a private school in Valencia in Experiment 1b (19 female; mean age = 9.7 years; range: 9–10), and 20 children with developmental dyslexia who were

recruited from different schools in Valencia in Experiment 1c (seven female, mean age = 11.6 years; range: 11–13). None of the participants in Experiment 1a or 1b had any problems traditionally used as exclusionary criteria for learning disabilities. At the time of the experiment, all the participants in Experiment 1c were receiving individual remediation training for developmental dyslexia either at their own schools or in private centers. To further verify their diagnosis of developmental dyslexia, we administered the PROLEC- SE battery of reading tests (Ramos & Cuetos, 1999) – this is a widely used standardized test for children older than 10 years. All participants were below 2 standard deviations from the mean of their age in a combined measure of the word and nonword reading tasks (both accuracy and speed) of the PROLEC-SE test (i.e., the diagnosis of dyslexia was confirmed in all cases) – note that the participants' IQ was within the normal range, as measured by the Spanish adaptation of the intelligence test WISC-R (Wechsler, 2001). All the participants were native speakers of Castilian Spanish and had normal (or corrected-to-normal) vision.

Materials

A set of 100 words (mean length = 6.6 letters, range: 6–7) was selected to be the base words for the pseudowords in the experiment. The mean frequency of these words was 61 per million (range: 1–474) in the Spanish B-Pal database (Davis & Perea, 2005) – it was 44 (range: 18–206) in the Spanish children database (LEXIN: Corral, Ferrero, & Goikoetxea, 2009). The mean number of one-letter substitution neighbors for these words was 0.7 (range: 0–6). The pseudowords were created by changing an interior consonant of the base words: the modified letter (in lowercase) could have the same shape (in terms of ascending/descending/ neutral form) as the original letter or not (e.g., *viotín* vs. *viocín*; the base word was *violín*) – syllable structure was kept in all cases. The critical letter was an ascending/ descending letter in 53 words (*violín*: *viotín*, *viocún*), while it was a neutral letter in the remaining 43 words (e.g. *música*: *músira*, *músifa*). To increase the “saliency” of the base word, there were no other word neighbors in that letter position (i.e., *vio#in* matched only one base word: *violin*). The mean log bigram frequency in the two sets of pseudowords was virtually the same (2.21 in each set, $p > .50$). In addition, 100 Spanish words were selected from the B-Pal database for the purposes of the lexical decision task (mean frequency: 55 per million, range: 1–743; mean length = 6.6 letters, range: 6–7). The list of words is available at [http:// www.uv.es/mperea/outlineshape.pdf](http://www.uv.es/mperea/outlineshape.pdf). The words/pseudowords were presented in lowercase or uppercase.

Four lists of counterbalanced items were created for the pseudowords in a Latin square manner (e.g., viotín would be presented in list 1, viocín in List 2, VIOTIN in List 3, and VIOCIN in List 4) – two lists were created for the words (e.g., general would be presented in Lists 1 and 2, while GENERAL would be presented in Lists 3 and 4).

Procedure

Participants were tested individually in a quiet room. DMDX software (Forster & Forster, 2003) was employed to present the stimuli and record the participants' responses in a Windows computer. On each trial, a fixation point (+) was presented for 500 ms in the center of the screen. Then, the word (or pseudoword) was presented in 14-pt Times New Roman until the participant's response – or until 2,500 ms had elapsed. Participants were instructed that words and pseudowords would be displayed on the monitor in front of them, and that they should press the “s_” [yes] button if the stimulus was a Spanish word and the “no” button if the stimulus was not a word. Participants were instructed to respond as fast as possible while trying to avoid making too many mistakes. The order of the stimuli was randomized for each participant. Twenty practice trials preceded the 200 experimental trials. The session lasted approximately 10–12 min.

Results

Incorrect responses and response times shorter than 250 ms or longer than 2,400 ms were excluded from the latency data (less than 0.1, 0.7, and 0.6% in the sub experiments 1a, 1b, and 1c, respectively). The mean lexical decision times for correct responses and error rates are presented in Table 1. For the word stimuli, RTs and percent errors were submitted to separate ANOVAs with a 3 (Group: adult readers, normally reading children, children with dyslexia) · 2 (Case: lowercase, uppercase) · 2 (List: list 1, list 2) design. For the nonword stimuli, RTs and percent errors were submitted to separate ANOVAs with a 3 (Group: adult readers, normally reading children, children with dyslexia) · 2 (Pseudoword type: similar, dissimilar) · 2 (Case: lowercase, uppercase) · 4 (List: list 1, list 2, list 3, list 4) design. List was included in all the ANOVAs as a dummy factor just to extract the error variance due to the counterbalancing lists (see Pollatsek & Well, 1995, for further details).

Table 1.

Mean lexical decision times (in ms) and percentage of errors for words and pseudowords in the experiment.

The standard errors are presented between parentheses

	Lowercase		Uppercase	
	<i>RT</i>	<i>%E</i>	<i>RT</i>	<i>%E</i>
Adults Readers				
Words	662 (20.1)	4.0 (0.8)	668 (21.4)	4.0 (1.0)
Pseudowords				
Consistent shape	749 (29.1)	2.8 (0.9)	773 (24.9)	2.5 (0.7)
Inconsistent shape	751 (25.4)	3.0 (1.0)	779 (29.1)	2.5 (0.9)

Normally reading children

Words	1056 (29.0)	7.8 (1.0)	1119 (35.4)	10.7 (1.2)
Pseudowords				
Consistent shape	1314 (40.6)	13.8 (1.7)	1378 (41.6)	13.9 (2.1)
Inconsistent shape	1319 (40.8)	14.1 (1.8)	1377 (43.9)	16.3 (2.4)

Children with dyslexia

Words	1388 (83.1)	15.4 (2.2)	1242 (63.8)	9.7 (1.5)
Pseudowords				
Consistent shape	1363 (70.5)	30.2 (4.4)	1397 (76.1)	24.2 (3.8)
Inconsistent shape	1360 (71.3)	16.6 (2.5)	1401 (77.8)	20.2 (2.5)

Word Data

As expected, there was a robust effect of Group, $F(2, 66) = 44.21$, $MSE = 85,892$, $\eta^2 = .57$, $p < .001$; $F(2, 194) = 1,233.9$, $MSE = 14,893$, $\eta^2 = .93$, $p < .001$, which reflected faster RTs for adult skilled readers than for normally reading children (665 vs. 1,087 ms, respectively) and faster RTs for normally reading children than for young readers with dyslexia (1,087 vs. 1,315 ms, respectively) (all $ps < .001$). The main effect of Case approached significance in the analysis by subjects, $F(1, 66) = 3.71$, $MSE = 5,217$, $\eta^2 = .05$, $p = .059$; $F(1, 97) = 6.60$, $MSE = 8,438$, $\eta^2 = .06$, $p = .012$. More important, the interaction between Group and Case was significant, $F(2, 66) = 27.30$, $MSE = 5,217$, $\eta^2 = .45$, $p < .001$; $F(2, 194) = 54.02$, $MSE = 8,259$, $\eta^2 = .36$, $p < .001$. This interaction reflected that, for adult skilled readers, there was a nonsignificant 6-ms advantage of lowercase over uppercase words, both $Fs < 1$, thus replicating the Perea and Rosa (2002; Perea, Comesaña, et al., 2012) findings with high-frequency words. But remarkably the finding here is that while for normally-developing readers, words presented in lowercase were responded to 63 ms faster than the words presented in uppercase, $F(1, 34) = 27.17$, $MSE = 2,621$, $\eta^2 = .44$, $p < .001$; $F(1, 98) = 24.10$, $MSE = 5,571$, $\eta^2 = .20$, $p < .001$, whereas for the young readers with dyslexia, lowercase words were responded to 146 ms more slowly than lowercase words, $F(1, 18) = 15.99$, $MSE = 13,418$, $\eta^2 = .47$, $p = .001$; $F(1, 97) = 52.55$, $h2 = 15,115$, $MSE = .35$, $p < .001$.

The ANOVA on the error data also revealed a main effect of Group, $F(2, 66) = 9.91$, $MSE = 66.0$, $\eta^2 = .23$, $p < .001$; $F(2, 196) = 22.71$, $MSE = 163.6$, $g2 = .19$, $p < .001$: adult readers committed fewer errors than normally reading children (4.0 vs. 9.3%, respectively) and, in turn, normally reading children committed fewer errors than the young readers with dyslexia (9.3 vs. 12.6%, respectively) (all $ps < .001$). The main effect of Case was not significant, both $ps > .15$. More important, as occurred in the latency data, there was a significant interaction between Group and Case, $F(2, 66) = 14.03$, $MSE = 16.9$, $\eta^2 = .30$, $p < .001$; $F(2, 196) = 17.39$, $MSE = 54.9$, $\eta^2 = .15$, $p < .001$. This interaction reflected the same pattern of effects as the latency data: (i) college-aged adults did not show an effect of case (4.0% of errors in lowercase and uppercase words); (ii) normally reading children committed 2.9% more errors on uppercase than on lowercase words, $F(1, 34) = 9.22$, $MSE = 16.3$, $\eta^2 = .21$, $p = .005$; $F(1, 98) = 10.15$, $MSE = 41.1$, $\eta^2 = .09$, $p = .002$; and (iii) young readers with dyslexia committed, on average, 5.7% of more errors on lowercase words than on uppercase words, $F(1, 18) = 12.49$, $MSE = 26.0$, $\eta^2 = .41$, $p = .002$; $F(1, 98) = 16.07$, $MSE = 101.1$, $\eta^2 = .14$, $p < .001$.

Pseudoword Data

The ANOVA on the latency data revealed an effect of Group, $F(2, 60) = 35.34$, $MSE = 251,060$, $\eta^2 = .54$, $p < .001$; $F(2, 180) = 1129.39$, $MSE = 30,643$, $\eta^2 = .93$, $p < .001$. This reflected faster RTs for adult readers than for both normally reading children (763 vs. 1,347 ms, respectively) and young readers with dyslexia (763 vs. 1,380 ms, respectively) (all $ps < .001$). In addition, responses to the pseudowords in lowercase were faster than the responses to the pseudowords in uppercase, $F(1, 60) = 23.72$, $\eta^2 = .46$, $MSE = .28$, $p < .001$, $F(1, 90) = 19.36$, $MSE = 19,868$, $\eta^2 = .18$, $p < .001$.

None of the other effects/interactions was significant (all $ps > .19$) – it may be important to note here that there were no signs of a *viotín-viocín* difference in any of the groups (adult skilled readers: 549 vs. 551 ms, respectively; normally reading children: 1,314 vs. 1,319 ms, respectively; young readers with dyslexia: 1,360 vs. 1,363 ms, respectively; $F < 1$ for all contrasts).

The ANOVA on the error data also revealed an effect of Group, $F(2, 60) = 18.22$, $MSE = 393.1$, $\eta^2 = .38$, $p < .001$; $F(2, 192) = 117.31$, $MSE = 346.2$, $\eta^2 = .55$, $p < .001$. This reflected that adult readers committed fewer errors than the normally reading children (2.7 vs. 14.5%, respectively) and, in turn, the normally reading children committed fewer errors than the young readers with dyslexia

(14.5 vs. 22.8%, respectively) (all $ps < .001$). More important, the three-way interaction between Group, Case, and Pseudoword type was significant, $F(2, 60) = 3.93$, $MSE = 33.9$, $\eta^2 = .12$, $p = .025$; $F(2, 192) = 3.93$, $MSE = 174.7$, $\eta^2 = .04$, $p = .021$. Thus, we examined how the interaction between Case and Pseudoword type varied across Group). For college-aged students and the normally reading children, there were no main/interaction effects of Case or Pseudoword type (all $ps > .25$). Importantly, for the young readers with dyslexia, the interaction between Case and Pseudoword type was significant, $F(1, 16) = 8.50$, $\eta^2 = .35$, $p = .01$; $F(1, 96) = 7.05$, $MSE = 326.7$, $\eta^2 = .07$, $p = .009$: when presented in lowercase, children with dyslexia committed more errors on *viotín* type pseudowords than on *-type* pseudowords, $F(1, 16) = 16.00$, $MSE = 115.6$, $\eta^2 = .50$, $p = .001$; $F(1, 90) = 18.59$, $MSE = 497.5$, $\eta^2 = .16$, $p < .001$, whereas this difference was absent (or at least severely diminished)

when the pseudowords were presented in uppercase, $F(1, 16) = 2.54$, $MSE = 63.0$, $\eta^2 = .13$, $p = .13$; $F(1, 90) = 1.45$, $MSE = 548.5$, $\eta^2 = .02$, $p = .23$.

Discussion

The three main findings of the present experiment can be summarized as follows. First, for adult skilled readers (college- aged individuals; Experiment 1a) and normally reading children (Grade 4 children: 9–10-year-olds; Experiment 1b), the response times (and error rates) to word-like pseudowords that kept the same outline shape as their base words (e.g., viotín) were remarkably similar to those of the word-like pseudowords that altered the base-word's outline shape (e.g., viocín). This is consistent with the view that a normally-developing visual-word recognition system (at least from Grade 4 and onwards) relies mainly on abstract letter representations. Second, unlike normally-developing readers, young readers with developmental dyslexia revealed a sensitivity to the word's visual elements: pseudowords that kept the same outline shape as their base words (e.g., viotín) were more word-like, as deduced from the error data, than the pseudowords which altered the outline shape of their base words (e.g., viocín) – note that this difference did not occur when the information on outline shape was lacking (i.e., when the pseudowords were presented in uppercase). And third, lexical decision times were faster on lowercase than in uppercase words with normally reading children; in contrast, young readers with dyslexia showed the opposite pattern (i.e., faster response time on uppercase words) – as in earlier research with high-frequency words, adult skilled readers did not show an effect of case on word stimuli (e.g., Perea & Rosa, 2002).

The lack of a difference between the responses to pseudowords like viotín and viocín in normally reading children and in college-aged skilled readers adds further empirical evidence to the view that a normally developing system of visual-word recognition relies mainly on the activation of a word's abstract letter representations (see also Perea et al., 2013, for similar evidence with a masked priming paradigm). But the critical finding of the present experiment is that young readers with dyslexia committed more “word” responses to consistent-shape pseudowords (e.g., viotín) than to inconsistent-shape pseudowords (e.g., viocín). This does suggest that these individuals may be using a route to visual-word recognition that takes into account some peripheral visual cues, despite its obvious inefficiency/ inaccuracy (as deduced from the large error rates and long latencies).² Thus, these

data generalize the findings reported by Lavidor (2011) and Friedmann and Haddad- Hanna (2012) with college-aged students to a population of young readers with dyslexia.

The second remarkable finding of the present study is that the overall effect of case for word stimuli differed in the three subexperiments. First, for adult skilled readers, there was only a nonsignificant 6-ms advantage of lowercase words over uppercase words, thus replicating the pattern of data reported in previous studies with high-frequency words in adult skilled readers (e.g., Mayall & Humphreys, 1996; Perea, Comesaña, et al., 2012; Perea & Rosa, 2002). Given that lowercase words are more frequent in the print environment than uppercase words, the lack of an effect of case for high-frequency words strongly suggests that there is a fast access to abstract letter/word representations in adult skilled readers. Second, for normally reading children, there was an advantage of lowercase over uppercase words in the latency data (on average, 63 ms) and in the error data (2.9%). This can be readily explained in an adaptive resonance framework (see Perea & Rosa, 2002): a stable percept in an immature (normally-developing) system requires more processing cycles than in a fully developed system, and this would magnify the advantage of the more familiar format (lowercase) over the less familiar format (uppercase) – that is, the findings with high-frequency words in normally reading children would be parallel to the findings with low-frequency words in adult skilled readers. And third, we found the opposite pattern of data in the young readers with developmental dyslexia: lexical decision times were, on average 146 ms faster for uppercase than for lowercase words – similarly, error rates were 5.7% lower for uppercase than for lowercase words. One interpretation for this unexpected finding is that dyslexic children are less confident with lowercase than uppercase words, and conceivably they may have less robust representations of what lowercase letters look like (e.g., common errors of these individuals in the remediation sessions are naming *eloro* instead of *cloro* [chlorine], or *bospe* instead of *bosque* [wood]). This is consistent with the fact that normally reading children who are learning to read find it easier to name/write uppercase letters rather than lowercase letters (e.g., see Worden & Boettcher, 1990). This uppercase advantage has been attributed to “greater visual simplicity and distinctiveness of uppercase letters” (Worden & Boettcher, 1990, p. 288; see also Thompson, 2009, for discussion). Furthermore, lowercase letters tend to have more variability across contexts than uppercase letters (e.g., note that when filling in an application forms, “capital letters” are typically required to avoid letter confusion), and this variability may make it more difficult to initially build strong representations for lowercase words – in particular in those children with a

reading impairment. To further examine this issue, it may be important to test word naming times and word naming errors in young readers with/without dyslexia in both lowercase vs. uppercase formats – note that lexical decisions could be made more on the basis of global lexical activity rather than on unique word identification.

The present experiments can be taken to suggest that visual-word recognition may be attained using different pathways, not just via purely abstract letter representations. Specifically, young readers with dyslexia seem to have poor representations of lowercase letters, and this would make them more likely to use visual peripheral cues when reading (e.g., consistent-shape pseudowords like *viotín* would be perceived as *violín*). This adds up to the previous evidence of the use of visual cues during visual-word recognition in adults with developmental dyslexia (e.g., Friedmann & Haddad-Hanna, 2012; Lavidor, 2011) and adults with acquired dyslexia (e.g., Howard, 1987). As Davis (1999) noted, it is important to distinguish between the processes we usually employ during visual-word recognition – mostly based in abstract letter presentations in skilled readers – and the processes we are capable of using – as happens with the use of a word’s visual cues in dyslexics. Thus, future neural/ computational models of visual-word recognition should go beyond the existence of a single route to the mental lexicon – it may be worth noting here that Davis (1999) included a non-implemented “logographic” route in the SOLAR model of visual-word recognition.

In sum, the present experiment has revealed that, unlike normally reading children or adult skilled readers, young readers with developmental dyslexia are overly sensitive to a word’s visual cues, probably because of poor lowercase letter representations (see also Perea, Panadero, Moret-Tatay, & Gómez, 2012, for a demonstration that dyslexics are also more sensitive than normally reading children to a perceptual factor such as letter spacing). Future research should examine in greater detail how abstract letter representations are built in the process of learning to read in children with/without dyslexia.

4. DISCUSIÓN

Nuestra línea de investigación ha intentado conocer en mayor detalle el desarrollo en los procesos subléxicos de la lectura entre niños normo-lectores y adultos, así como comparar dichos procesos en niños con problemas de lectoescritura. Realizamos una primera serie de experimentos relacionados con las letras en espejo, cuyo procesamiento ha sido considerado hasta cierto punto habitual en lectores disléxicos, otra segunda serie de experimentos donde examinamos las dificultades de hacinamiento (*crowding*) entre letras durante la lectura y las posibilidades de solventar este problema con la utilización del espaciado entre letras dentro de la propia palabra. Y una tercera serie de experimentos relacionados con el uso de señales visuales durante reconocimiento visual de las palabras.

4.1 El *priming* enmascarado en las letras espejo

A diferencia de lo que ocurre con dos objetos presentados en espejo, que son generalizados y percibidos como el mismo objeto, los niños que aprenden a leer han de suprimir dicha generalización para poder distinguir las diferentes letras. El cerebro suprime las imágenes en espejo de las letras reversibles, pero no las de las letras no reversible. Duñabeitia, Dimitropoulou, Estévez y Carreiras (2013) registraron los movimientos oculares de niños de 1º de Primaria y de estudiantes universitarios durante la lectura de palabras que contenían letras en espejo o estaban escritas correctamente. Los participantes debían indicar cuál de los dos estímulos visuales era igual que el auditivo. Si bien tanto los niños como los adultos miraron durante más tiempo el distractor en la condición en espejo que en las condiciones control, dicho coste en procesamiento fue mayor para los niños que para los adultos. Ello es consistente con la idea de que los niños que están aprendiendo a leer son menos capaces de diferenciar las letras en espejo que los adultos, y confirman que la experiencia lectora modula la sensibilidad a este tipo de letras. El aprendizaje de la lectura (en el alfabeto latino) mejora la discriminación de las letras reversibles, mientras que las letras no reversibles, al igual que el resto de objetos, se mantienen en buena medida invariables para nuestro sistema cognitivo.

En la primera serie de nuestros experimentos utilizamos la tarea de decisión léxica con *priming* enmascarado para examinar cómo el sistema cognitivo procesa las letras en espejos durante el reconocimiento visual de palabras. Las principales conclusiones de esta primera serie de experimentos se pueden resumir de la siguiente manera: (i) los efectos de *priming* respecto a la condición de letras espejo fueron sustancialmente mayores cuando la letra era reversible (por ejemplo, la idea-IDEA vs. ibea-IDEA: alrededor de 23 - 44 ms) que cuando la letra no era reversible (por ejemplo, arena-ARENA frente a un aena-ARENA; alrededor de 10.4 ms), (ii) las respuestas ante las palabras-test fueron más lentas (alrededor de 21 ms) cuando estaban precedidas por un estímulo-señal con una letra en espejo reversible (por ejemplo, ibea-IDEA) que cuando era precedido por un estímulo-señal de control (ilea-IDEA), (iii) este efecto inhibitorio de la letra espejo no se produce cuando la imagen espejo de la letra no forma un grafema (es decir, un aàena-ARENA fue, si cabe, más rápido que el control aàena - ARENA), y (iv) el patrón de datos fue muy similar para los niños normolectores de 4º de primaria y para los

adultos expertos lectores. En conjunto, estos resultados son consistentes con la idea de que existe una supresión de la generalización de las letras en espejo, y que la simetría de las letras es parcialmente inhibida o “ignorada” al aprender a leer (Lachmann & van Leeuwen, 2007; véase también Dehaene et al., 2010, para un argumento similar). Además, nuestros datos sugieren que la supresión de la generalización de las letras en espejo funciona de forma diferente para las letras reversibles y no reversibles.

Antes de tratar de examinar las implicaciones de estos experimentos, es importante descartar explicaciones alternativas. Por ejemplo, se podría argumentar que los resultados actuales simplemente revelan que combinaciones ilegales de letras (como *aena ARENA*) son “normalizadas” en el sistema cognitivo (por ejemplo, ver Perea y Carreiras, 2010, para pruebas con bigramas ilegales) - y esto puede no reflejar necesariamente la supresión de la generalización de las letras en espejo. Sin embargo, este razonamiento no puede explicar cómo *ilea*-IDEA produce tiempos de respuesta considerablemente más rápidos que la *ibea*-IDEA. A menos que se suponga que haya algún tipo de supresión en la generalización de las letras en espejo reversibles *d / b*, los tiempos de respuesta debería haber sido bastante similares en *ilea*-IDEA y *ibea*-IDEA. En resumen, la explicación más parsimoniosa de los datos actuales es que las letras reversibles disfrutaban de un papel particular en el proceso de reconocimiento visual de palabras.

¿Cómo pueden los modelos computacionales de reconocimiento visual de palabras explicar los resultados actuales? El modelo computacional de mayor influencia en la investigación con *priming* enmascarado ha sido el modelo de activación interactiva (McClelland y Rumelhart, 1981; por ejemplo, véase Davis y Lupker (2006), para simulaciones con este modelo) y sus sucesores (por ejemplo, modelo de lectura múltiple, Grainger y Jacobs, 1996; modelo de doble ruta en cascada, Coltheart et al., 2001). Estos datos se pueden lograr mediante la modificación de los parámetros responsables de letra a letra, inhibiendo las letras reversibles. Dado que no hay unidades de letras correspondientes a las imágenes espejo de las letras no reversibles (es decir, no hay vínculos entre *a* y *r*), este efecto inhibitorio se limitaría a las letras reversibles.

El modelo de activación interactiva sería capaz de diferenciar más fácilmente las letras en espejo reversibles que las letras no reversibles. Sin embargo, este modelo en la actualidad sólo incluye letras mayúsculas, es decir, tendría que añadir un conjunto de letras minúsculas y mayúsculas - un argumento similar aplicado en el modelo de codificación espacial (Davis, 2010). Incluso si ese fuera el caso, cabría preguntarnos cómo el modelo

hace frente al procesamiento de imágenes de letras en espejo no reversibles (por ejemplo à, en arena) o incluso en las letras giradas (por ejemplo, ã).

Claramente, sería necesario establecer un sistema de codificación de entrada altamente flexible en el que las características de letras puedan estar parcialmente activadas independientemente del punto de vista particular. Un argumento similar se aplica a las características específicas de la letra en los modelos computacionales de reconocimiento visual de palabras: no hay pruebas recientes para mostrar que estas variaciones tienen repercusiones en el reconocimiento visual de las palabras y en la propia lectura (por ejemplo, Slattery y Rayner, 2010; véase también Fiset et al, 2008). Es evidente que la investigación debe estar encaminada a examinar la influencia de factores perceptivos durante el reconocimiento de palabras escritas.

4.2 La información visual en el reconocimiento de letras

Durante el desarrollo del aprendizaje de la lectura, el lector llegará a ser competente cuando logre dominar tres estrategias fundamentales: la logográfica, la alfabética y la ortográfica. La estrategia logográfica (“aprendizaje memorístico” de Marsh) debe tener por condición que el número de palabras sea reducido y que las palabras sean muy diferentes entre sí; cuando estas condiciones no se dan, el niño debe poner en juego otra estrategia más eficaz como lo es la estrategia alfabética aplicando las RCGF (“descodificación secuencial y jerárquica de Marsh”). La estrategia ortográfica (“analógica”) se define como la que permite el reconocimiento global e instantáneo de palabras, sin usar las RCGF, usando los morfemas como unidades que sirven para crear palabras a partir de un ilimitado número de combinaciones.

El reconocimiento global de palabras en las fases logográfica y ortográfica se diferencia en que el primero es un análisis visual y el segundo es un análisis sistemático de las mismas. Así mismo, la estrategia alfabética y la ortográfica se diferencia por el mecanismo (RCGF en el primer caso y analogía en el segundo) y por las unidades que utiliza (letras y fonemas vs. morfemas) (véase Frith, 1985, 1989). Frith afirma que “el cambio de una etapa a otra sólo podemos entenderlo si dividimos el proceso de alfabetización en dos grandes momentos. Por un lado, el aprendizaje de la lectura y, por otro, el aprendizaje de la escritura”. En el análisis visual, Frith afirma igualmente que las estrategias logográfica y ortográfica son dominantes en la lectura, mientras que la estrategia alfabética es

característica de la escritura”. Interesa también resaltar que Frith (1980), considera que la escritura es el medio por el cual el niño llega a comprender la relación entre las letras y los sonidos del lenguaje.

La forma de una palabra repercute notablemente en su reconocimiento visual, en primer lugar, en nuestros experimentos, los niños normolectores de 4º de Primaria obtuvieron similares tiempos de respuesta y tasas de error tanto en la lectura de palabras y pseudopalabras con una forma similar a la palabras base (por ejemplo, viotín). En la lectura de pseudopalabras con una forma menos similar a la palabra base (por ejemplo, viocín), los resultados fueron peores. Esto es consistente con la idea de que un sistema de reconocimiento visual de palabras se basa principalmente en las representaciones de letras abstractas. En segundo lugar, los jóvenes lectores con dislexia del desarrollo revelaron una sensibilidad a los elementos visuales de la palabra: en las pseudopalabras donde se mantuvo la misma forma a la de su palabra base (por ejemplo, viotín), Hay que tener en cuenta que esta diferencia no se produjo cuando se prescindió de la información sobre la forma de la palabra base (es decir, cuando las pseudopalabras se presentaron en mayúsculas). Y tercero, los tiempos de decisión léxica fueron más rápidos en palabras presentadas en minúsculas que en las palabras en mayúsculas con niños normolectores; en contraste, los jóvenes lectores con dislexia mostraron el patrón opuesto (es decir, el tiempo de respuesta más rápido se dio en la lectura de palabras en mayúsculas) - al igual que en investigaciones anteriores con las palabras de alta frecuencia, adultos normolectores no mostraron un efecto de caso sobre palabra estímulos (por ejemplo, Perea y Rosa, 2002).

La falta de una diferencia entre las respuestas de pseudopalabras como viotín y viocín entre niños normolectores y lectores expertos de edad universitaria, añade más evidencia empírica a la opinión de que un sistema de reconocimiento visual de palabras se basa principalmente en la activación de representaciones abstractas de las letras en una palabra (véase también Perea et al., 2013, para pruebas similares con un paradigma de *priming* enmascarado). Pero el hallazgo crítico del presente experimento es que los lectores jóvenes con dislexia consiguieron mejores respuestas en pseudopalabras con forma consistente (por ejemplo, viotín) que a pseudopalabras inconsistentes con respecto a la forma (por ejemplo, viocín). Esto sugiere que estas personas pueden estar usando una ruta hacia el reconocimiento visual de palabras que tiene en cuenta algunas indicaciones visuales periféricas, a pesar de su inexactitud (como se deduce de los grandes índices de error y latencias largas)

0.2 Por lo tanto, estos datos generalizan los hallazgos de Lavidor (2011) y Friedmann y Haddad- Hanna (2012).

Otro aspecto a tener presente, es que el efecto general de la forma de la palabra difiere entre los tres subexperimentos llevados a cabo. En primer lugar, para los lectores adultos expertos, sólo había una significativa ventaja de 6 ms más en las palabras minúsculas que en las palabras en mayúsculas, replicando así el patrón de estudios anteriores con palabras de uso frecuente en lectores adultos expertos (por ejemplo, Mayall y Humphreys, 1996; Perea, Comesaña et al., 2012; Perea y Rosa, 2002). Teniendo en cuenta que las palabras en minúsculas son más frecuentes en el entorno de impresión que las palabras en mayúsculas, la falta de un efecto en las palabras de alta frecuencia sugiere que hay un acceso rápido a las letras abstractas en lectores adultos expertos. En segundo lugar, para la lectura de los niños, no había una ventaja en la lectura de palabras en minúsculas sobre las palabras en mayúsculas en los datos de latencia (en promedio, 63 ms) y en los datos de error (2,9%) (véase Perea y Rosa, 2002): el sistema requiere más ciclos de procesamiento en el reconocimiento de la palabra cuando no está completamente desarrollado, los resultados con palabras de uso frecuente en los niños normolectores sería paralelo a los resultados con las palabras de baja frecuencia en lectores adultos expertos. Y en tercer lugar, encontramos el patrón opuesto de los datos en los jóvenes lectores con dislexia del desarrollo: los tiempos de decisión léxica tuvieron un promedio de 146 ms, más rápidos en las palabras en mayúsculas que en las minúsculas. Las tasas de error fueron del 5,7% más bajo para las mayúsculas que para las palabras minúsculas. Una interpretación de este hallazgo inesperado es que los niños disléxicos son menos seguros con las palabras en minúsculas que con las palabras en mayúsculas. Esto es consistente con el hecho de que a los niños normolectores que están aprendiendo a leer les resulta más fácil, por ejemplo escribir su nombre con letras mayúsculas en lugar de minúsculas (ver Worden y Boettcher, 1990). Esta ventaja con las letras en mayúscula se ha atribuido a "una mayor distinción y simplicidad visual de las letras mayúsculas" (Worden y Boettcher, 1990, p 288; véase Thompson, 2009, para discusión de este tema). Por otra parte, las letras minúsculas tienden a tener más variabilidad a través de contextos que las letras mayúsculas (por ejemplo, podemos tener en cuenta que al rellenar un formulario de solicitud, te suelen pedir la letra "mayúsculas" normalmente para evitar la confusión en las letras), y esta variabilidad puede hacer que sea más difícil construir inicialmente representaciones de las palabras en minúsculas - en particular en aquellos niños con problemas de lectura. Los experimentos actuales se pueden tomar para sugerir que el reconocimiento visual de palabras puede lograrse mediante diferentes vías, no sólo a través de las representaciones de letras puramente abstractas. En concreto, los jóvenes lectores con dislexia parecen tener representaciones

pobres de las letras minúsculas, y esto los haría más propensos a usar señales visuales periféricas al leer (por ejemplo, pseudopalabras con una forma consistente como viotín serían percibidas como violín). Esto se suma a la evidencia previa de la utilización de señales visuales durante el reconocimiento visual de palabras en adultos con dislexia del desarrollo (por ejemplo, Friedmann y Haddad-Hanna, 2012; Lavidor, 2011) y adultos con dislexia adquirida (por ejemplo, Howard, 1987). Como señaló Davis (1999), es importante distinguir entre los procesos que normalmente empleamos durante el reconocimiento visual de palabras –en su mayoría basados en presentaciones de letras abstractas en lectores expertos- y los procesos que son capaces de usar como sucede con el uso de señales visuales de la palabra en los disléxicos. De este modo, los futuros modelos computacionales/neuronales de reconocimiento visual de palabras deben ir más allá de la existencia de una única ruta hacia el léxico mental. Davis (1999) señaló, la importancia de distinguir entre los procesos que normalmente empleamos durante el reconocimiento visual de palabras, en su mayoría basados en la presentación de letras en lectores expertos y los procesos que somos capaces de utilizar como sucede con el uso de algunas palabras visuales en los disléxicos.

En resumen, esta segunda serie de experimentos ha puesto de manifiesto que, a diferencia que los niños normolectores o lectores adultos cualificados, los jóvenes lectores con dislexia del desarrollo son demasiado sensibles a las señales visuales de una palabra, probablemente a causa de malas representaciones de las letras minúsculas. Las investigaciones futuras deberían examinar con mayor detalle cómo las representaciones abstractas de letras se construyen en el proceso de aprendizaje de la lectura en los niños con / sin dislexia. Las investigaciones futuras deberían examinar con mayor detalle, cómo las representaciones de letras abstractas se construyen en el proceso de aprendizaje de la lectura en los niños con o sin dislexia.

4.3 Espaciado y lectura

Muchos de los fracasos escolares que existen en la actualidad residen en todo lo relacionado con el desarrollo lector, la palabra “dislexia” se está haciendo muy común en el ámbito estudiantil, debemos tener en cuenta que este trastorno ocurre sin que existan problemas intelectuales, sensoriales, físicos, motores o deficiencias educativas que justifiquen el déficit lector (Gabrieli, 2009). A raíz de los estudios anteriores y

analizando más detenidamente la palabra en sí, nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Y si una manera de atenuar los problemas lectores: pudiera conseguirse con un ligero cambio en nuestra forma de escribir las palabras?

Muchas de la personas que sufren problemas lectores tienen la sensación de que se “les amontonan las apalabras”, ese efecto de “amontonamiento” (“crowding”) ocurre cuando una letra se presenta en cercanía a otras letras. Dado que trabajos anteriores han señalado que los efectos de amontonamiento son mayores en niños con dislexia que en los niños normo-lectores (para una revisión, véase Jeon, Hamid, Maurer y Lewis, 2009), una pregunta ¿Es posible que un ligero aumento del espaciado entre letras mejore la velocidad y la comprensión lectora en niños disléxicos? Este ligero aumento en el espaciado de las letras facilitaría la codificación de la identidad/posición de las letras en las palabras, lo que a su vez redundaría en un beneficio a la hora de codificar/procesar las palabras.

En la tercera serie de experimentos comprobamos que un pequeño aumento del espaciado entre las letras que conforman una palabra (es decir, *hotel* vs. *hotel*) produce tiempos de identificación de palabras más rápidos, no sólo en los adultos normolectores sino también con los niños normolectores, y aún en mayor grado se produjo con los lectores jóvenes con dislexia del desarrollo. El efecto del espaciado entre letras se modula por la longitud de las palabras, tanto en los jóvenes normolectores como en los jóvenes lectores con dislexia, el efecto se produjo en las palabras compuestas por 6 letras, en lugar de las palabras de 4 letras. Por otro lado, hubo un efecto robusto de longitud de palabra en los normolectores jóvenes (41 ms en los niños de 4º de primaria, 80 ms en los niños de 2º de primaria) y en los lectores jóvenes con dislexia del desarrollo (223 ms), pero no hubo efecto en los lectores adultos cualificados (2 ms). Además, el aumento del espaciado entre sílabas no produjo ningún efecto en relación con la configuración del espacio entre letras predeterminado.

El efecto de facilitación de pequeños aumentos de espacio entre letras también se produjo en una tarea de lectura continua con lectores jóvenes con dislexia del desarrollo (Experimento 4; Hipótesis 4), en los tiempos de lectura y en las puntuaciones de comprensión lectora, el efecto del tiempo de lectura para jóvenes normolectores fue en la misma dirección, pero no fue significativo (es decir, la Hipótesis 4 no fue confirmada por los datos). En los párrafos siguientes examinaremos las implicaciones de los datos actuales, tanto a nivel teórico como a nivel aplicado.

A nivel teórico, ¿cómo podemos explicar la presencia de un efecto de facilitación del espaciado entre letras en el reconocimiento visual de palabras? Perea y Gómez (2012) demostraron recientemente que los

pequeños aumentos de espaciado entre letras facilitan la codificación de las letras en las palabras. Hay dos razones que explican estas ventajas. Por un lado, el enmascaramiento lateral (es decir, los efectos de exclusión) puede reducirse en las palabras con una separación entre letras ligeramente más ancho. Es importante destacar que este mecanismo puede afectar en menor grado a las palabras muy cortas (por ejemplo, palabras de 4 letras) y esto puede explicar por qué el efecto del espaciado entre letras era más grande en las palabras de 6 letras que en las palabras de 4 letras, en particular para los jóvenes lectores. Por otro lado, la codificación de la propia letra puede ser más precisa con un mayor espacio entre letras (es decir, no habría incertidumbre sobre la posición de una letra dentro de una palabra), (ver Davis y Andrews, 2001, por la evidencia de mayores efectos en las letras transpuestas. A pesar de que el reconocimiento de palabras aisladas proporciona información útil (por ejemplo, al leer las señales de tráfico, nombres de producto, etc.), es importante examinar si el efecto del espaciado entre letras se puede generalizar a una situación de lectura normal. De hecho, la generalización puede no ser completamente sencilla. Un pequeño aumento del espaciado entre letras puede producir un beneficio durante la codificación de palabras individuales en la fovea (Perea y Gómez, 2012). Pero también puede provocar mayores dificultades en la lectura de aquellas palabras con un mayor espacio entre letras si se presentan en una oración, las fijaciones en las palabras con espaciado entre letras serán más lejanas y esto puede limitar la información. Uno de nuestros experimentos fue un primer paso para examinar los efectos del espaciado entre letras durante la lectura normal. Los resultados revelaron que, para los lectores jóvenes con dislexia, hubo momentos de lectura más rápidas cuando el texto tenía un pequeño aumento de espaciado entre letras. No hemos podido encontrar un efecto paralelo para jóvenes normolectores nuestro estudio sólo ofrece medidas globales y no puede ser utilizado para explorar la evolución en el tiempo del efecto de espaciado entre letras. Claramente, una pregunta para la investigación futura es examinar en detalle cómo el espaciado entre letras modula el patrón de los movimientos oculares durante la lectura tanto en jóvenes normolectores normales como en los lectores jóvenes con dislexia del desarrollo. En este sentido, sería importante utilizar un enfoque paramétrico (es decir, emplear varios niveles de -espaciado entre letras; ver Perea y Gómez, 2012) para arrojar algo de luz sobre cuál es el espacio “óptimo” entre las letras y cómo (y por qué) puede variar entre los individuos. Y por último, sería importante examinar cómo este efecto es modulado por otros factores potencialmente relevantes, como el tamaño de impresión (por ejemplo, ver O'Brien et al., 2005).

En suma, nuestros experimentos proporcionan un modesto primer paso para estudiar los factores tipográficos durante el reconocimiento visual de palabras y la lectura de una manera sistemática, al revelar que los pequeños aumentos de espaciado entre letras tienen un efecto beneficioso para la identificación visual de las palabras, también en la comprensión de textos en los niños con dislexia del desarrollo. Creemos que se necesita más investigación para estudiar cómo el espaciado entre letras se puede incluir en el contexto del aula para mejorar la facilidad lectora.

5. CONCLUSIÓN

Creemos que los hallazgos obtenidos en este trabajo suponen un pequeño avance para mejorar en la evaluación y tratamiento relacionado con los trastornos de la lectura.

En primer lugar, y teniendo en cuenta todos los experimentos que hemos realizado, creemos que la utilización de la tarea de *priming* enmascarado, como reflejo de procesos tempranos en el reconocimiento visual de palabras, proporciona pistas importantes sobre si existen diferencias en la lectura de letras reversibles del tipo (b/d) y letras no reversibles en la lectura en niños. Nuestros datos sugieren que la supresión de la generalización de letras en espejo funciona de forma diferente entre letras reversibles y no reversibles, además arrojan luz sobre cómo el sistema cognitivo procesa las letras en espejo cuando forman parte de palabras. El aprendizaje de la lectura (en el alfabeto latino) mejora la discriminación de letras reversibles, mientras que las no reversibles, al igual que los objetos, se mantienen prácticamente invariables para nuestro sistema cognitivo. Todos estos datos pueden ayudarnos a detectar trastornos de lectura de manera temprana y conseguir un mejor tratamiento. Los experimentos con lectores jóvenes proporcionan un modesto primer paso

para estudiar los factores tipográficos durante el reconocimiento visual de palabras y la lectura de una manera sistemática, al revelar que los pequeños aumentos de espaciado entre letras tienen un efecto beneficioso en la identificación visual de palabras para los jóvenes normolectores y, sobre todo, también en la comprensión de textos para los niños con dislexia. A diferencia de los niños o adultos que leen normalmente, los disléxicos son demasiado sensibles a las señales visuales de una palabra, probablemente a causa de malas representaciones de las letras minúsculas. Manifiestan un factor de percepción distinto, como decíamos del espaciado entre letras. Las investigaciones futuras deberían examinar con mayor detalle cómo las representaciones abstractas de letras se construyen en el proceso de aprendizaje de la lectura en los niños con o sin dislexia.

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos a lo largo de nuestras investigaciones, llegamos a la conclusión de que para poder predecir y tratar trastornos de la lectura es importante la identificación temprana de determinados aspectos como el reconocimiento visual de palabras ya sean letras reversibles o no reversibles, ver si los factores tipográficos varían en la lectura de los sujetos, más concretamente si el espaciado entre letras afecta de manera positiva en la lectura de personas que manifiesten algún trastorno lector o si se observan malas representaciones de letras minúsculas. Desde que el hacinamiento entre las letras de una palabra parece afectar a la lectura, ¿es razonable pensar que los niños con trastornos de lectura padecen mucho más ese efecto?, ¿Por qué los niños disléxicos son más susceptibles a la influencia de hacinamiento entre letras? El estudio de Zorzi et al. (2012) sugiere que los déficits de atención espacial en los niños disléxicos pueden deteriorar su capacidad de concentrarse con el tipo de letra estándar que se suele utilizar para escribir las palabras. Debido a la influencia de las características de las letras vecinas si se aumenta el espaciado entre las letras queda reducido el hacinamiento entre ellas, lo que permite a los niños disléxicos llegar a tener una mayor atención espacial a la hora de leer. El efecto del espaciado permite reconocer mejor las letras dentro de la palabra, este aspecto proporcionará explicaciones paralelas basadas en el déficit de atención en la conciencia fonológica dentro de la dislexia. Curiosamente, esta ventaja también se ha dado en jóvenes con desarrollo lector normal lo que sugiere que los beneficios de optimización del espaciado entre letras pueden extenderse más allá de los niños diagnosticados con dislexia.

Consideramos importante para la investigación futura, examinar en detalle cómo el espaciado entre letras modula el patrón de los movimientos oculares durante la lectura tanto en jóvenes normolectores como en lectores jóvenes disléxicos. En este sentido, sería importante utilizar un enfoque paramétrico, es decir, el empleo de varios

niveles de espaciado entre letras (véase Perea y Gómez, 2012) para averiguar cuál es el espacio “óptimo” entre esas letras y cómo y por qué puede variar entre los individuos. Se necesita más investigación para integrar el espaciado entre letras a nivel escolar, dentro del contexto del aula para mejorar la facilidad de lectura. Además, un objetivo de trabajo para la investigación futura sería examinar si el espaciado entre letras juega un papel más importante en la lectura de textos en los individuos de poblaciones especiales, tales como las personas con dislexia. El espaciado entre letras dentro de la lectura en voz alta de un texto, sugiere para los lectores disléxicos una activación de los códigos fonológicos, y no registran movimientos oculares en la lectura (ver Perea et al., 2012.; Zorzi et al., 2012). También es importante examinar cómo este efecto es modulado por otros factores potencialmente relevantes, como el tamaño de impresión (por ejemplo, ver O'Brien et al., 2005). Conviene comprender mejor la dislexia y conseguir que los resultados obtenidos tengan implicaciones educativas, seguir una línea de estudio tanto en la intervención como en la prevención de los problemas lectores que causan grandes dificultades de aprendizaje si no se detecta y se trata tempranamente.

REFERENCIAS

- Acha, J. y Perea, M. (2008). The effects of length and transposed-letter similarity in lexical decision: Evidence with beginning, intermediate, and adult readers. *British Journal of Psychology*, 99, 245–264.
- Atkinson, J. (1991). Review of human visual development: crowding and dyslexia. En J. Stein (Comp.), *Vision and visual dyslexia* (pp. 44-57). Boca Raton: CRC Press.
- Balota, D. A., Yap, M. J., Cortese, M. J., Hutchison, K. A., Kessler, B., Loftis, B., et al. (2007). The English lexicon project. *Behavior Research Methods*, 39, 445–459.
- Becker, M.W., Pashler, H. y Lubin, J. (2007). Object- intrinsic oddities draw early saccades. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 33 (1), 20-30.
- Bornstein, M. H., Gross, C. G. y Wolf, J. Z. (1978). Perceptual similarity of mirror images in infancy. *Cognition*, 6, 89-116.
- Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*, 226, 177-178.

- Bowers, J. S., Vigliocco, G. y Haan, R. (1998). Orthographic, phonological, and articulatory contributions to masked letter and word priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1705–1719.
- Brendler, K., y Lachmann, T. (2001). Letter reversals in the context of the Functional Coordination Deficit Model of dyslexia. In E. Sommerfeld, R. Kompass, y T. Lachmann (Eds.), *Proceedings of the International Society for Psychophysics* (pp. 308–313). Lengerich, Berlin: Pabst.
- Carpenter y Just (2001). The Neural Bases of Sentence Comprehension: a fMRI Examination of Syntactic and Lexical Processing. *Oxford Journals*, 3, 223-237.
- Carreiras, M., Álvarez, C. J. y de Vega, M. (1993). Syllable frequency and visual word recognition in Spanish. *Journal of Memory and Language*, 32, 766-780.
- Carreiras, M., Armstrong, C., Perea, M. y Frost R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trend in Cognitive Sciences*, 18, 90-98.
- Castles, A., Davis, C., Cavalot, P. y Forster, K. I. (2007). Tracking the acquisition of orthographic skills in developing readers: masked priming effects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 97, 165-182.
- Chung, S. T. L. (2002). The effect of letter spacing on reading speed in central and peripheral vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43, 1270-1276.
- Chung, S. T. L. y Legge, G. E. (2009). Precision of position signals for letters. *Vision Research*, 49, 1948-1960.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Ziegler, J. y Langdon, R. (2001). DRC: A dual-route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204–256.
- Coltheart, V., Laxon, V. J., Keating, G. C. y Pool, M. M. (1986). Direct access and phonological encoding processes in children's reading: effects of word characteristics. *British Journal of Educational Psychology*, 56(3), 255-270.
- Corballis, M. C. y Beale, I. L. (1970). Bilateral symmetry and behavior. *Psychological Review*, 77, 451–464.
- Cornell, J. M. (1985). Spontaneous mirror-writing in children. *Canadian Journal of Psychology*, 39, 174–179.
- Corral, S., Goikoetxea, E. y Ferrero, M. (2009). LEXIN: A lexical database from Spanish kindergarten and first-grade readers. *Behavior Research Methods*, 41, 1009–1017.

- Cubelli, R. y Della Sala, S. (2009). Mirror writing in pre-school children: A pilot study. *Cognitive Processing*, 10, 101–104.
- Cuetos, F. (2008). *Psicología de la lectura*. Madrid: Klowert.
- Cuetos, F. (2012). *Neurociencia del Lenguaje*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Davis, C. J. (1999). The Self-Organising Lexical Acquisition and Recognition (SOLAR) model of visual word recognition, (*Unpublished doctoral dissertation*).
- Davis, C. J. (2010). The spatial coding model of visual word identification. *Psychological Review*, 117, 713-758.
- Davis, C. J. y Lupker, S. J. (2006). Masked inhibitory priming in English: Evidence for lexical inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 668–687.
- Davis, C. J. y Perea, M. (2005). BuscaPalabras: A program for deriving orthographic and phonological neighborhood statistics and other psycholinguistic indices in Spanish. *Behavior Research Methods*, 37, 665–671.
- Davis, C. J., Perea, M. y Acha, J. (2009). Re(de)fining the orthographic neighbourhood: The role of addition and deletion neighbours in lexical decision and reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 1550–1570.
- Davis, C. J., y Andrews, S. (2001). Inhibitory effects of transposed-letter similarity for words and non-words of different lengths. *Australian Journal of Psychology*, 53, 50.
- Davis, C., Castles, A. y Iakovidis, E. (1998). Masked homophone and pseudohomophone priming in children and adults. *Language & Cognitive Processes*, 13, 625–651.
- Defior, S., Jimenez-Fernandez, G. y Serrano, F. (2009). Complexity and lexical effects on the acquisition of Spanish spelling. *Learning and Instruction*, 19, 55- 65.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., y Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: A proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 335–341.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., y Cohen, L. (2003). Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science*, 15, 307– 313.

- Dehaene, S., Nakamura, K., Jobert, A., Kuroki, Ch., Ogawa, S. y Cohen, L. (2010). Why do children make mirror errors in reading? Neural correlates of mirror invariance in the visual word form area. *Neuroimage*, 49, 1837–1848.
- Dilnot, J., Hamilton, L., Maughan, B., y Snowling, M.J. (2017). Child and environmental risk factors predicting readiness for learning in children at high risk of dyslexia. *Development and Psychopathology*, 29(1), 235–244.
- Dufau, S., Duñabeitia, J. A., Moret-Tatay, C., McGonigal, A., Peeters, D., Alario, F. -X., et al. (2011). Smart phone, smart science: how the use of smartphones can revolutionize research in cognitive science. *PLoS ONE*, 6(9), -24974.
- Duffy, S.A., Morris, R.K. y Rayner, K., (1988). Lexical ambiguity and fixation times in reading. *Journal of Memory and Language*, 27, 429–446.
- Dunn, K. P. y Pirozzolo, F. J. (1984). Eye movements in developmental dyslexia. In *Dyslexia: A global issue* (pp. 175–182). Springer Netherlands.
- Duñabeitia, J. A., Molinaro, N. y Carreiras, M. (2011). Through the looking-glass: Mirror reading. *Neuroimage*, 54, 3004–3009.
- Duñabeitia, J.A., Dimitropoulou, M., Estévez, A. y Carreiras, M. (2013). The influence of reading expertise in mirror-letter perception: Evidence from beginning and expert readers. *Mind, Brain, and Education*, 7, 124–135.
- Ehri, L. C. (1995). Phases of development in learning to read by sight. *Journal of Research in Reading*, 18, 116–125.
- Faust, M. E., Balota, D. A., Spieler, D. H. y Ferraro, F. R. (1999). Individual differences in information processing rate and amount: Implications for group differences in response latency. *Psychological Bulletin*, 125, 777–799.
- Fiset, D., Blais, C., Ethier-Majcher, C., Arguin, M., Bub, D. y Gosselin, F. (2008). Features for identification of uppercase and lowercase letters. *Psychological Science*, 19, 1161–1168.
- Forster, K. I. y Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology*, 10, 680–698.

- Forster, K. I. y Forster, J. C. (2003). DMDX: A windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 35, 116–124.
- Forster, K. I., Davis, C., Schoknecht, C. y Carter, R. (1987). Masked priming with graphemically related forms: Repetition or partial activation? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 211–251.
- Friedman, N. y Rahamim, E. (2007). Developmental letter position dyslexia. *Journal of Neuropsychology*, 1, 201–236.
- Friedmann, N. y Haddad-Hanna, M. (2012). Letter position dyslexia in Arabic: From form to position. *Behavioural Neurology*, 25, 193–203.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. Patterson, J. Marshall, y M. Coltheart (Eds.), *Surface dyslexia* (pp. 287–295). Baltimore, MD: University Park Press
- Gabrieli (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325(5938):280–3.
- Geiger, G. y Lettvin, J. Y. (1987). Peripheral vision in persons with dyslexia. *New England Journal of Medicine*, 316, 1238–1243.
- Goikoetxea, E. (2005). Levels of phonological awareness in preliterate and literate Spanish-speaking children. *Reading and Writing*, 18, 51–79.
- Gómez, P., Ratcliff, R. y Perea, M. (2007). A model of the go/no-go task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 389–413.
- Gomez, P., Ratcliff, R. y Perea, M. (2008). The overlap model: a model of letter position coding. *Psychological Review*, 115, 577–601.
- Graesser, A. C. y McNamara, D. S. (2011). Computational analyses of multilevel discourse comprehension. *Topics in Cognitive Science*, 3, 371–398.
- Grainger, J. (2008). Cracking the orthographic code: An introduction to the special issue on orthographic processes in reading. *Language and Cognitive Processes*, 23, 1–35.
- Grainger, J. y Jacobs, A. M. (1996). Orthographic processing in visual word recognition: A multiple read-out model. *Psychological Review*, 103, 518–565.

- Grainger, J., Rey, A. y Dufau, S. (2008). Letter perception: From pixels to pandemonium. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 381–387.
- Hawelka, S. y Wimmer, H. (2005). Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research*, 45, 855-863.
- Henderson, M.J. y Hollingworth, A., (1999) High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50 (1), 243-271.
- Holmes, V. M., y O'Regan, J. K. (1981). Eye fixation patterns during the reading of relative-clause sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(4), 417-430.
- Howard, D. (1987). Reading without letters? In M. Coltheart, G. Sartori, y R. Job (Eds.), *The cognitive neuropsychology of language* (pp. 27–58). London, UK: Erlbaum.
- Jeon, S. T., Hamid, J., Maurer, D. y Lewis, T. L. (2010). Developmental changes during childhood in single-letter acuity and its crowding by surrounding contours. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107, 423-437.
- Johnson, R. L., Perea, M. y Rayner, K. (2007). Transposed-letter effects in reading: evidence from eye movements and parafoveal preview. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 209-229.
- Lachmann, T. (2002). Reading disability as a deficit in functional coordination and information integration. In E. Witruk, A. D. Friederici, y T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading and reading disability* (pp. 165–198). Boston: Kluwer Springer.
- Lachmann, T. y Van Leeuwen, C. (2004). Negative congruence effects in letter and pseudo-letter recognition: The role of similarity and response conflict. *Cognitive Processing*, 5, 239–248.
- Lachmann, T. y Geyer, T. (2003). Letter reversals in developmental dyslexia: Is the case really closed? A critical review and conclusions. *Psychology Science*, 45, 53–75.
- Lachmann, T. y van Leeuwen, C. (2007). Paradoxical enhancement of letter recognition in developmental dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 31, 61–77.
- Lachmann, T. y van Leeuwen, C. (2008). Different letterprocessing strategies in diagnostic subgroups of developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 25, 730–744.

- Latham, K. y Whitaker, D. (1996). A comparison of word recognition and reading performance in foveal and peripheral vision. *Vision Research*, 36, 2665-2674.
- Lavidor, M. (2011). Whole-word shape effect in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 34, 443-454.
- Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W. y Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 201-212.
- Lima, S. D. y Pollatsek, A. (1983). Lexical access via an orthographic code? The basic orthographic syllabic structure (BOSS) reconsidered. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 310-322.
- Liu, L., Wang, J., Shao, S., Luo, X., Kong, R., Zhang, X., y Song, R. (2016). Descriptive epidemiology of prenatal and perinatal risk factors in a Chinese population with reading disorder. *Scientific Reports*, 6, 36697
- Logothetis, N. K. y Pauls, J. (1995). Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representations in the primate. *Cerebral Cortex*, 5, 270-288.
- Lupker, S. J., Perea, M. y Davis, C. J. (2008). Transposed letter priming effects: Consonants, vowels and letter frequency. *Language and Cognitive Processes*, 23, 93-116.
- Macizo, P. y Van Petten, C. (2007). Syllable frequency in lexical decision and naming of English words. *Reading and Writing*, 20, 295-331.
- Manolitsis, G., Georgiou, G. K., Stephenson, K. y Parrila, R. (2009). Beginning to read across languages varying in orthographic consistency: comparing the effects of non-cognitive and cognitive predictors. *Learning and Instruction*, 19, 466-480.
- Manolitsis, G., Georgiou, G. y Parrila, R. (2011). Revisiting the home literacy model of reading development in an orthographically consistent language. *Learning and Instruction*, 21, 496-505.
- Martelli, M., Di Filippo, G., Spinelli, D. y Zoccolotti, P. (2009). Crowding, reading, and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 9, 1-18.
- Mayall, K. y Humphreys, G. W. (1996). Case mixing and the task-sensitive disruption of lexical processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 278-294.
- McCandliss, B. (2012). Helping dyslexic children attend to letters within visual word forms. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109, 11064-11065.

- McClelland, J. L. y Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375–407.
- McLeish, E. (2007). A study of the effect of letter spacing on the reading speed of young readers with low vision. *British Journal of Visual Impairment*, 25, 133-143.
- Mello, N. K. (1965). Mirror image reversal in pigeons. *Science*, 149, 1519–1520.
- Miles, T.R. y Ellis N.C., (1981) A lexical encoding deficiency II: *Clinical observations*. In G. Pavlidis y T.R. Miles (eds). *Dyslexia Research and its applications to education*. New York: Wiley.
- Miller, J. (1991). Reaction time analysis with outlier exclusion: Bias varies with sample size. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43A, 907–912.
- Moret-Tatay, C. y Perea, M. (2011). Do serifs provide an advantage in the recognition of written words? *Journal of Cognitive Psychology*, 23(5), 619-624.
- Moret-Tatay, C. y Perea, M. (2011). Is the go/no-go lexical decision task preferable to the yes/no task with developing readers? *Journal of Experimental Child Psychology*, 110, 125-132.
- Tschentscher, N., . (2019) Reduced Structural Connectivity Between Left Auditory Thalamus and the Motion Sensitive Planum Temporale in Developmental Dyslexia. *The journal of neuroscience* 39 (9) 1720-1732.
- O'Brien, B. A., Mansfield, J. S. y Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28, 332-349.
- O'Regan, J. K. y Jacobs, A. M. (1992). Optimal viewing position effect in word recognition: a challenge to current theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 185-197.
- Orton, S. T. (1925). "Word-blindness" in school children. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 14, 581–615.
- Ozernov-Palchik, O., Norton, E.S., Sideridis, G., Beach, S.D., Wolf, M., Gabrieli, J.D., y Gaab, N. (2017). Longitudinal stability of pre-reading skill profiles of kindergarten children: Implications for early screening theories of reading. *Development Science*, 20(5).
- Paap, K. R., Newsome, S. L. y Noel, R. W. (1984). Word shape's in poor shape for the race to the lexicon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 10, 413–428.

- Patterson, K.E. (1981). Neuropsychological approaches to the study of reading. *British Journal of Psychology*, 72(2), 151-174.
- Pavlidis, G.T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19, 57-64.
- Pederson, E. (2003). Mirror-image discrimination among nonliterate, monoliterate, and biliterate Tamil subjects. *Written Language & Literacy*, 6, 71-91.
- Pegado, F., Nakamura, K., Braga, L.W., Ventura, P., Pallier, C., Jobert, A. y Dehaene, S. (2014). Literacy breaks mirror invariance for visual stimuli: A behavioral study with adult illiterates. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 887.
- Pegado, F., Nakamura, K., Cohen, L. y Dehaene, S. (2011). Breaking the symmetry: Mirror discrimination for single letters but not for pictures in the Visual Word Form Area. *Neuroimage*, 55, 742-749.
- Perea, M. y Estévez, A. (2008). Transposed-letter similarity effects in naming pseudowords: evidence from children and adults. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20, 33-46.
- Perea, M. y Gomez, P. (2010). Does LGHT prime DARK? Masked associative priming with addition neighbors. *Memory & Cognition*, 38, 513-518.
- Perea, M. y Gómez, P. (2012). Increasing interletter spacing facilitates encoding of words. *Psychonomic Bulletin and Review*, 19, 332-338.
- Perea, M. y Lupker, S. J. (2003). Does jugde activate COURT? Transposedletter confusability effects in masked associative priming. *Memory & Cognition*, 31, 829-841.
- Perea, M., Abu Mallouh, R. y Carreiras, M. (2013). Early access to abstract representations in developing readers: Evidence from masked priming. *Developmental Science*, 16, 564-573.
- Perea, M., Comesaña, M. y Soares, A. P. (2012). Does the advantage of the upper part of words occur at the lexical level? *Memory and Cognition*, 8, 1257-1265.
- Perea, M., Duñabeitia, J. A. y Carreiras, M. (2008). R34D1NG W0RD5 W1TH NUMB3R5. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 237-241.
- Perea, M., Duñabeitia, J. A., Pollatsek, A. y Carreiras, M. (2009). Does the brain regularize digits and letters to the same extent? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1881-1888.

- Perea, M., Moret-Tatay, C. y Gómez, P. (2011a). The effects of interletter spacing in visual-word recognition. *Acta Psychologica*, 137, 345-351.
- Perea, M., Moret-Tatay, C. y Carreiras, M. (2011). Facilitation vs. inhibition in the masked priming same-different matching task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(10), 2065-2079.
- Perea, M., Moret-Tatay, C. y Panadero, V. (2011b). Suppression of mirror generalization for reversible letters: evidence from masked priming. *Journal of Memory and Language*, 65, 237-246.
- Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C. y Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22(6), 420-430.
- Perea, M., Rosa, E. y Gómez, C. (2002). Is the go/no-go lexical decision task an alternative to the yes/no lexical decision task? *Memory & Cognition*, 30, 34-45.
- Perea, M., Rosa, E. y Gómez, C. (2003). Influence of neighborhood size and exposure duration on visual-word recognition: Evidence with the yes/ no and the go/no-go lexical decision task. *Perception and Psychophysics*, 65, 273-286.
- Perea, M.. y Rosa, E. (2002). Does “whole word shape” play a role in visual word recognition? *Perception and Psychophysics*, 64, 785-794.
- Perea, M.. y Carreiras, M. (1998). Effects of syllable frequency and syllable neighborhood frequency in visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 134-144.
- Perea, M.. y Carreiras, M. (2008). Do orthotactics and phonology constrain the transposed-letter effect? *Language and Cognitive Processes*, 23, 69-92.
- Perea, M.. y Lupker, S. J. (2004). Can CANISO activate CASINO? Transposed-letter similarity effects with nonadjacent letter positions. *Journal of Memory and Language*, 51, 231-246.
- Perea, M.. y Pollatsek, A. (1998). The effects of neighborhood frequency in reading and lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 767-777.
- Perea, M.. y Rosa, E. (2000). Repetition and form priming interact with neighborhood density at a short stimulus-onset asynchrony. *Psychonomic Bulletin and Review*, 7, 668-677.

- Pollatsek, A. y Well, A. D. (1995). On the use of counterbalanced designs in cognitive research: A suggestion for a better and more powerful M. Perea et al. / *Journal of Memory and Language* 65 (2011) 237–246 245
- Author's personal copy analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 785–794.
- Ramos, J. L. y Cuertos, F. (1999). Evaluación de los procesos de lectura en alumnos del tercer ciclo de educación primaria y educación secundaria obligatoria (PROLEC-SE). Madrid: TEA.
- Ramus, F. y Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 129-141.
- Rastle, K. y Brysbaert, M. (2006). Masked phonological priming effects in English: Are they real? Do they matter? *Cognitive Psychology*, 53, 1–49.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85, 59-109.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114, 510–532.
- Ratcliff, R., Gomez, P. y McKoon, G. (2004). A diffusion model account of the lexical decision task. *Psychological Review*, 111, 159–182.
- Ratcliff, R., Gomez, P. y McKoon, G. (2004). A diffusion model account of the lexical decision task. *Psychological Review*, 111, 159–182.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372-422.
- Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader's eye movements?. *Vision research*, 16(8), 829-837.
- Rayner, K., Castelhana, M. y Yang, J (2009). Eye movements when looking at unusual/weird scenes: Are there cultural differences? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35 (1), 254-259.
- Rayner, K., McConkie, G. W. y Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, 12, 206–226.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J. y Clifton, Ch. (2012). Psychology of reading. *Psychology Press*.
- Rumelhart, D. E. y Siple, P. (1974). The process of recognizing tachistoscopically presented words. *Psychological Review*, 87, 99–118.

- Sanocki, T. y Dyson, M. C. (2012). Letter processing and font information during reading: beyond distinctiveness, where vision meets design. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74, 132-145.
- Schott, G. (2008). Mirror writing: neurological reflections on an unusual phenomenon. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 78, 5-13.
- Serrano, F. y Defior, S. (2008). Speed problems in dyslexia in a transparent orthography. *Annals of Dyslexia*, 58, 81-95.
- Share, D. (2004). Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 267-298.
- Slattery, T. J. y Rayner, K. (2010). The influence of text legibility on eye movements during reading. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 1129-1148.
- Spinelli, D., de Luca, M., Judica, A. y Zoccolotti, P. (2002). Crowding effects on word identification in developmental dyslexia. *Cortex*, 8, 179-200.
- Stone, G. O. y Van Orden, G. C. (1993). Strategic control of processing in word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 19, 744-774.
- Sutherland, N. S. (1957). Visual discrimination of orientation by octopus. *British Journal of Psychology*, 48, 55-71.
- Tai, Y. C., Sheedy, J. y Hayes, J. (2009, June). The effect of interletter spacing on reading. *Paper presented at the Computer Displays & Vision conference, Forest Grove, OR.*
- Tamayo Lorenzo, Susana (2017). Dyslexia and difficulties in acquisition of reading and writing skills. *Revista Curriculum y formación del profesorado*. Vol. 2, nº1.
- Temple, C.M. (1984). Developmental Analogues to Acquired Phonological Dyslexia. *Dyslexia: A Global*, 18, 143-158.
- Thompson, G. B. (2009). The long learning route to abstract letter units. *Cognitive Neuropsychology*, 26, 50-69.
- Tinker, M. A. (1963). Legibility of print. Iowa: Iowa State University Press.
- Van Orden, G. C. y Goldinger, S. D. (1994). Interdependence of form and function in cognitive systems explains perception of printed words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20, 1269-1291.

- Vergara-Martínez, M., Perea, M., Marín, A. y Carreiras, M. (in press). The processing of consonants and vowels during letter identity and letter position assignment in visual-word recognition: An ERP study. *Brain and Language*, 118 (3), 105-17.
- Verhoeven, L., Schreuder, R. y Baayen, R. H. (2006). Learnability of graphotactic rules in visual word identification. *Learning and Instruction*, 16, 538-548.
- Wang, H. C., Castles, A., Nickels, L. y Nation, K. (2011). Context effects on orthographic learning of regular and irregular words. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109, 39-57.
- Webb, T. M., Beech, J. R., Mayall, K. M. y Andrews, A. S. (2006). It's what's on the outside that matters: An advantage for external features in children's word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 94, 163–181.
- Wechsler Intelligence Scale for Children – Revised (Spanish adaptation). Madrid, Spain: TEA Ediciones.
- Whitney, C., Cornelissen, P. (2005). Letter-position encoding and dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28, 274-301.
- Woods, R. J., Davis, K. y Scharff, L. F. V. (2005). Effects of typeface and font size on legibility for children. *American Journal of Psychological Research*, 1, 86-102.
- Worden, P. E. y Boettcher, W. (1990). Young children's acquisition of alphabet knowledge. *Journal of Reading Behavior*, 22, 277–295.
- Ziegler, J.C., Pech -Georgel, C., Dafau S. y Grainger J. (2010). Rapid processing of letters, digits and symbols: what purely visual-attentional deficit in developmental dyslexia? *Developmental Science*, 13, F8-F14.
- Zorzi, M. y col. (2012) Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 11455–11459.

ANEXOS

7.1 Leyendo a través del espejo

Resumen

A diferencia de lo que ocurre con dos objetos presentados en espejo, que son generalizados y percibidos como el mismo objeto, los niños que aprenden a leer han de suprimir dicha generalización para poder distinguir las diferentes letras. En este trabajo, revisamos experimentos recientes con niños normo-lectores y con dislexia, y examinamos si la supresión de la generalización de las letras en espejo afecta a todas las letras o especialmente a las reversibles (v.g., b-d). Nuestros datos indican que el cerebro suprime las imágenes en espejo de las letras reversibles, pero no las de las letras no reversibles.

Cuando percibimos información visual, el cerebro humano –como el de otros animales– procesa dos objetos que se distinguen sólo por ser imágenes en espejo como si fuesen el mismo objeto. Posiblemente esto se debe a que los dos hemisferios trabajan conjuntamente en la percepción del estímulo y las conexiones interhemisféricas preservan la simetría estructural (Corballis y Beale, 1970). Este mecanismo de invariancia en la percepción de los objetos en espejo ocurre incluso en lactantes (Bornstein, Gross y Wolf, 1978), por lo que no es de extrañar que los niños que están aprendiendo a leer confundan la orientación izquierda-derecha de las letras. En la Grecia preclásica se utilizaba un tipo de escritura (denominada Bustrofedon) que consistía en escribir alternativamente una línea de izquierda a derecha y la siguiente de derecha a izquierda, de manera que cada letra se escribía en líneas sucesivas en espejo, sin que esto significara ningún problema para el lector. Sin embargo, en el alfabeto latino, donde letras como “b” y “d” (o “p” y “q”) son grafemas diferentes, los niños al aprender a leer han de desarrollar una estrategia especial para el procesamiento de letras y palabras, diferente a la que utilizan para procesar objetos, suprimiendo activamente la tolerancia natural a las inversiones en espejo (Lachmann y van Leeuwen, 2007).

Para comprobar si la inhibición de la tolerancia a las letras en espejo en normo-lectores es genérica a todas las letras u ocurre en mayor grado en las letras reversibles (aquéllas que se convierten en otra letra cuando se presentan en espejo), examinamos el procesamiento de palabras con letras reversibles (“d”-”b” y “p”-”q”; v.g., “idea”) y con letras no reversibles (como “c”, “r”, “s”, “z”; v.g., “arena”) (Perea, Moret-Tatay y Panadero, 2011). La idea era, en primer lugar, que si la letra reversible “b” no solamente activa la letra “b” en el sistema cognitivo, sino que inhibe el procesamiento de la letra “d”, el reconocimiento de la palabra “IDEA” debería verse

perjudicado por una presentación previa de “íbea” respecto a una condición de control como “ílea”. En segundo lugar, queríamos ver si este proceso afecta también a las palabras con letras no reversibles en espejo.

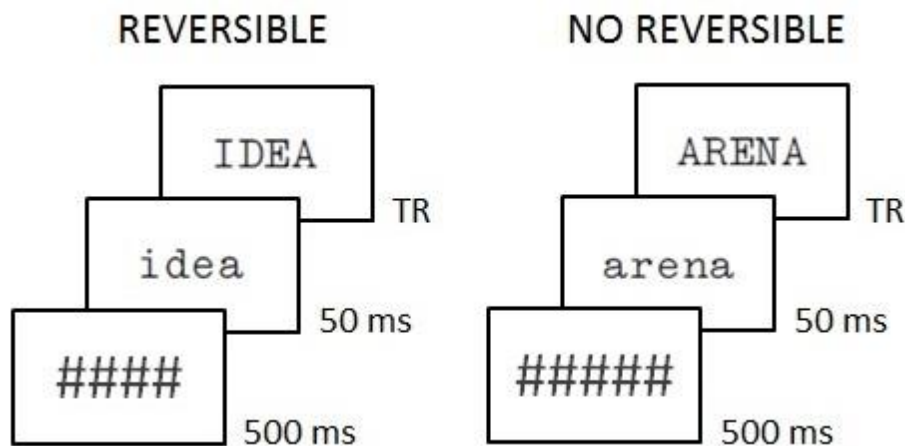


Figura 1.-

Procedimiento de estímulo-señal enmascarado en los experimentos de Perea, Moret-Tatay y Panadero (2011). En cada ensayo se presentaba una máscara (####) en el centro de la pantalla durante 500 ms. A continuación, se presentaba el estímulo-señal (“prime” en inglés) en minúsculas durante 50 ms, seguido de la presentación del estímulo-test (“target”) en mayúsculas, que permanecía en la pantalla hasta la respuesta. Los participantes debían contestar pulsando una tecla si el estímulo-test era una palabra, o no contestar si no lo era (tarea de decisión léxica go–no/go).

Para ello se diseñaron dos experimentos de estímulo-señal (“priming” en inglés) enmascarado con una tarea de decisión léxica que incluían las condiciones de identidad, espejo y control, empleando palabras con letras reversibles y letras no reversibles (véanse las Figuras 1 y 2). En el primer experimento se examinaron las palabras con letras reversibles. En estudiantes universitarios, la condición de letras en espejo produjo no solamente mayores tiempos de reacción que la condición idéntica, sino que también fueron mayores que la condición control (véase el panel izquierdo de la Figura 3). Dado que no es infrecuente que los lectores principiantes escriban o lean en espejo

(este comportamiento desaparece hacia los 8 años: Lachmann y Geyer, 2003), realizamos el mismo experimento con niños de 4º de Primaria. El patrón de resultados fue muy similar al del grupo de adultos, lo que implica que los niños de 4º han suprimido la generalización de las letras en espejo (v.g., “d” no activa automáticamente “b”, sino que la suprime) y utilizan un mecanismo similar al de los lectores expertos.

PRIMES:

IDENTIDAD	ESPEJO	CONTROL	
idea	ibea	ilea	REVERSIBLE
arena	arena	aɹena	NO REVERSIBLE

Figura 2.-

Condiciones de los experimentos de Perea, Moret-Tatay y Panadero (2011). Todas las tríadas van seguidas del mismo estímulo-test (“IDEA” en el ejemplo con letra reversible, y “ARENA” en el ejemplo no reversible). Obsérvese que el control no reversible fue creado con una letra en espejo no reversible diferente a la original.

En un segundo experimento se examinaron estos efectos, pero con palabras con letras no reversibles. Los resultados, tanto con universitarios como con estudiantes de 4º de primaria mostraron que, a diferencia del experimento anterior, los tiempos de reacción fueron muy similares en las condiciones en espejo e idéntica, lo que sugiere que estas letras se procesan (casi) como la letra original (véase el panel derecho de la Figura 3). Por tanto, la inhibición a la tolerancia a las letras en espejo ocurre esencialmente en las letras reversibles.

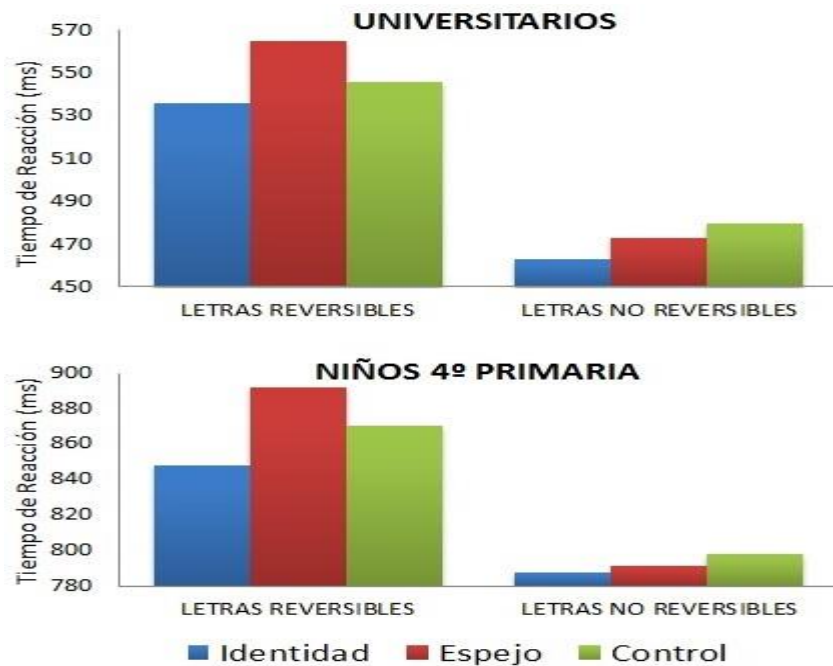


Figura 3.-

Tiempos de reacción (en ms) de estudiantes universitarios y niños de 4º de primaria. Se observa que 1) las palabras con letras reversibles se leen más lentamente que las que no tienen letras reversibles, demostrando que este tipo de letras dificulta la lectura; 2) con respecto a su control, la presentación de la misma palabra en minúsculas como estímulo-señal (condición de identidad) facilita la lectura del estímulo-test; y finalmente, y de mayor importancia, 3) que mientras que la presentación de la imagen en espejo (condición espejo) de una letra no reversible facilita la lectura del estímulo-test, esta misma condición dificulta la lectura del estímulo-test cuando la letra es reversible.

Siguiendo con esta línea de investigación, Duñabeitia, Dimitropoulou, Estévez y Carreiras (2013) registraron los movimientos oculares de niños de 1º de Primaria y de estudiantes universitarios durante la lectura de palabras que contenían letras en espejo o estaban escritas correctamente. En cada ensayo presentaron, a la vez, una palabra y un distractor (véase la Figura 4) y registraron el tiempo que los participantes miraban cada estímulo mientras oían una palabra que se correspondía con uno de ellos. Los participantes debían indicar cuál de los dos estímulos visuales era igual que el auditivo. Si bien tanto los niños como los adultos miraron durante más tiempo

el distractor en la condición en espejo que en las condiciones control, dicho coste en procesamiento fue mayor para los niños que para los adultos. Ello es consistente con la idea de que los niños que están aprendiendo a leer son menos capaces de diferenciar las letras en espejo que los adultos, y confirman que la experiencia lectora modula la sensibilidad a este tipo de letras.

Todos estos experimentos arrojan luz sobre cómo el sistema cognitivo procesa las letras en espejo cuando forman parte de palabras, con dos hallazgos fundamentales. Primero, al aprender a leer se suprime activamente la tolerancia natural a las inversiones en espejo. Segundo, este mecanismo de supresión trabaja de forma específica sobre las letras reversibles. En otras palabras, el aprendizaje de la lectura (en el alfabeto latino) mejora la discriminación de las letras reversibles, mientras que las letras no reversibles, al igual que el resto de objetos, se mantienen en buena medida invariables para nuestro sistema cognitivo. Esto sucede porque, en el alfabeto latino, la discriminación en espejo de las letras reversibles es relevante para la lectura. En un alfabeto como el tamil, donde no hay letras reversibles, los lectores mantienen su invariancia de espejo (Pederson, 2003). Ello abre el camino al estudio de cuáles son los elementos que dan lugar a la supresión de la simetría en las letras en espejo, y cómo esta supresión afecta al procesamiento de otros objetos, por ejemplo en el caso de individuos analfabetos o que han aprendido tardíamente el alfabeto latino (Pegado y col., en prensa).

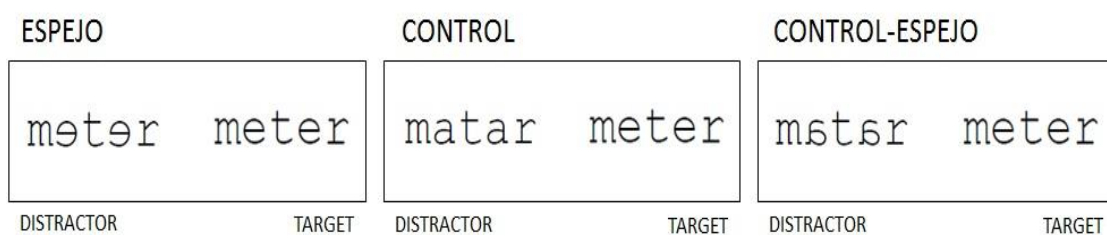


Figura 4.-

Condiciones del experimento de Duñabeitia y col. (2013). En cada ensayo, se presentó un punto de fijación en el centro de la pantalla. Tras la fijación del participante, se presentó el estímulo-test, que contenía dos conjuntos de letras (la palabra y el distractor). A la vez, auditivamente, se presentó una señal durante 100 ms, seguida de 200 ms de silencio y de una palabra. Después de 3000 ms, en los

que se registraron los movimientos oculares del participante, se presentó una señal de respuesta (“¿?”) en la pantalla durante 500 ms y el participante debía indicar cuál de los dos estímulos (palabra o distractor) se correspondía con la información auditiva.

Extraído de:

Panadero, V., Jiménez, M. y Perea, M. (2014). Leyendo a través del espejo. *Ciencia Cognitiva*, 8:2, 32-35.

7.2 Un pequeño aumento en el espaciado entre letras favorece la lectura en niños Disléxicos

Resumen

Varias investigaciones recientes han mostrado que un ligero aumento del espaciado entre las letras (respecto al espaciado estándar) produce tiempos de lectura más rápidos en los niños con dislexia, así como mejoras en la comprensión de los textos. Si bien el aumento en el espaciado de las letras no “cura” la dislexia, sí permite una mejora en el proceso de lectura. Es importante remarcar que la posibilidad de modificar el espaciado entre letras se encuentra disponible en los programas de procesamiento de texto. Creemos que dicha opción debería estar disponible próximamente en los libros electrónicos.

En la actualidad, muchos fracasos escolares tienen su origen en los trastornos específicos de la lectura, conocidos habitualmente con el nombre de dislexias. Se caracterizan por un deterioro de la capacidad para reconocer palabras escritas, una lectura lenta e insegura, así como una escasa comprensión lectora. Obsérvese que ello ocurre sin que existan problemas intelectuales, sensoriales, físicos, motores o deficiencias educativas que justifiquen el déficit lector (véase Gabrieli, 2009, para una revisión desde la neurociencia cognitiva).

¿Y si una manera de atenuar este problema pudiera conseguirse con un ligero cambio en nuestra forma de escribir las palabras? En varios trabajos recientes, empleando tareas de reconocimiento de palabras aisladas, habíamos comprobado que un ligero aumento del espaciado entre las letras (véase la Figura 1) producía tiempos de identificación de palabras ligeramente más rápidos que empleando espaciado estándar.

(-0,5) Si dices la verdad, no tendrás que acordarte de nada.

(0,0) Si dices la verdad, no tendrás que acordarte de nada.

(+0,5) Si dices la verdad, no tendrás que acordarte de nada.

(+1,0) Si dices la verdad, no tendrás que acordarte de nada.

(+1,5) Si dices la verdad, no tendrás que acordarte de nada.

Figura 1.- Ejemplos de frases con diferente espaciado.

Ello ocurría tanto con participantes universitarios (Perea, Moret Tatay y Gómez, 2011; Perea y Gómez, 2012) como con niños normo-lectores (Perea, Panadero, Moret-Tatay y Gómez, 2012). En nuestros experimentos partimos de la idea de que un ligero aumento del espaciado entre las letras reduciría los efectos negativos del “amontonamiento” (“crowding”) que ocurren cuando una letra se presenta en cercanía a otras letras. Este ligero aumento en el espaciado de las letras facilitaría la codificación de la identidad/posición de las letras en las palabras, lo que a su vez redundaría en un beneficio a la hora de codificar/procesar las palabras. Las simulaciones con el modelo de difusión corroboraron dicha hipótesis (Perea y Gómez, 2012).

Dado que trabajos anteriores han señalado que los efectos de amontonamiento son mayores en niños con dislexia que en los niños normo-lectores (para una revisión, véase Jeon, Hamid, Maurer y Lewis, 2009), una pregunta relevante era si los efectos del espaciado entre letras serían mayores en niños con dislexia que en niños normo-lectores. ¿Es posible que un ligero aumento del espaciado entre letras mejore la velocidad y la comprensión lectora en niños disléxicos? Para contestar a esta pregunta, Perea y col. (2012) diseñaron un experimento en el que los niños con dislexia habían de leer dos textos: uno con el espaciado normal y el otro con un ligero aumento del espaciado (+1,2 en MS-Word), empleando en ambos casos la fuente Times New Roman con 14 puntos. Se midió tanto el tiempo total de lectura en cada texto como su nivel de comprensión (mediante unas preguntas). A modo de control, también participó un grupo de niños normo-lectores bajo las mismas condiciones experimentales.

Los resultados fueron claros (véase la Figura 2). Un pequeño aumento del espaciado entre letras favoreció la lectura para los niños con dislexia, tanto en velocidad como en comprensión lectora (Perea y col., 2012). Por su parte, los niños normo-lectores únicamente mostraron un pequeño (no significativo) efecto en los tiempos de lectura y no mostraron efecto alguno en comprensión lectora. Dicho experimento fue realizado en español. Cabe

señalar que, pocos días después de que nuestro trabajo fuera aceptado, un grupo de investigación italo-francés envió un artículo con un diseño muy similar al nuestro en el que replicaron la ventaja de un ligero aumento de espaciado en la lectura de textos tanto en italiano como en francés para niños con dislexia, pero no para los niños normo-lectores (Zorzi y col., 2012; véase McCandliss, 2012, para una revisión detallada de las implicaciones de estos experimentos). En consecuencia, un ligero aumento del espaciado entre letras produce mejoras en la comprensión lectora de los niños disléxicos en diferentes laboratorios e idiomas, lo que muestra la generalidad y robustez del efecto (Perea y col., 2012).

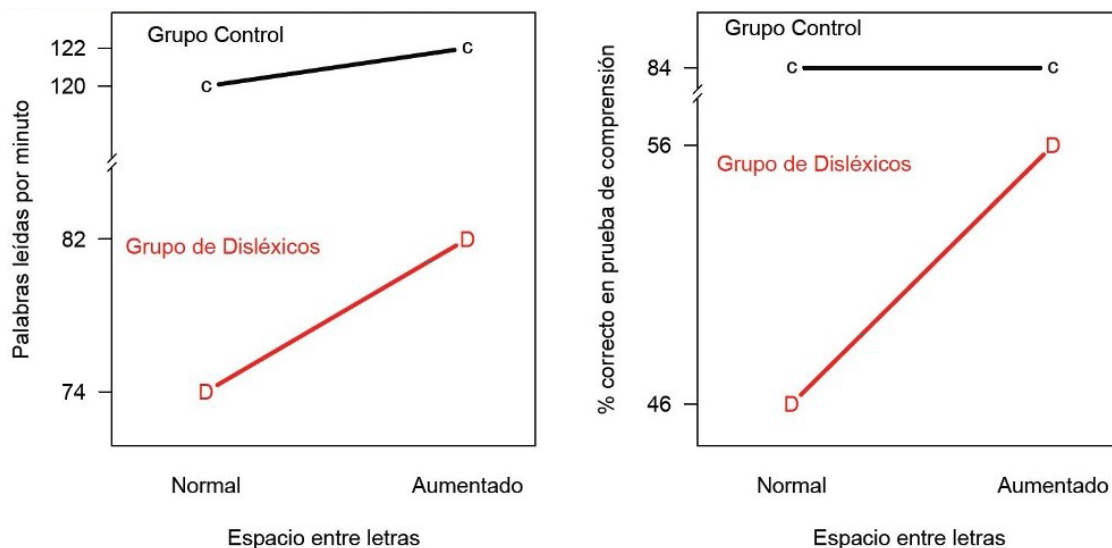


Figura 2.- Resultados de Perea y col. (2012)

Estos hallazgos tienen implicaciones prácticas para las editoriales, tanto en libros de papel como, particularmente, en los libros electrónicos. Creemos que es importante que se permita a los usuarios aumentar el espaciado entre letras en éstos. En la actualidad, los usuarios pueden modificar fácilmente el tamaño de las letras, elegir la fuente, o cambiar el fondo, pero no modificar el espaciado entre letras. La opción de modificar el espaciado entre letras puede ser implementada fácilmente en los lectores electrónicos, como ya lo está en los procesadores de texto (v.g., OpenOffice o MS-Word, entre otros). Esperamos que ello sea así en el futuro cercano. Sería una muestra de cómo la investigación de carácter “básico” sobre los efectos de amontonamiento de las letras puede llegar a tener implicaciones prácticas en la vida cotidiana de los individuos. Lógicamente, un aumento en el

espaciado entre letras no cura la dislexia, pero sí da lugar a una mejora en los procesos de lectura de las personas con este trastorno.

Extraído de:

Panadero, V., Perea, M., & Gómez, P. (2012). Un pequeño aumento en el espaciado entre letras favorece la lectura en niños disléxicos. *Ciencia Cognitiva*, 6:3, 51-53.