

Why braille reading is important and how to study it / *Por qué es importante la lectura en braille y cómo estudiarla*

Ana Marcet, María Jiménez, and Manuel Perea

Universitat de València

(Received 14 July 2015; accepted 4 July 2016)

Abstract: Despite its relevance in theoretical and practical terms, braille reading has received little attention from researchers. Awareness of the pros and cons of the different procedures used to examine braille reading is needed to facilitate the realization of systematic studies and to improve teaching methods in braille reading. This study provides a critical examination of braille reading methods and highlights key points for future studies on tactile reading.

Keywords: reading; braille; cognitive processes; word recognition

Resumen: A pesar de su interés en términos teóricos y aplicados, la lectura en braille ha recibido poca atención por parte de los investigadores. Para facilitar la realización de investigaciones sistemáticas y poder mejorar los métodos de enseñanza de la lectura en braille, es necesario conocer los pros y los contras de los procedimientos empleados para el registro de la lectura en braille. En el presente trabajo, se examinan críticamente los métodos de lectura en braille y se indican claves para futuros trabajos sobre lectura en la modalidad táctil.

Palabras clave: lectura; braille; procesos cognitivos; reconocimiento de palabras

There is no need to emphasize the importance that reading has in the daily lives of all people in all spheres. Consequently, numerous studies have examined the cognitive processes that underlie reading, not only in normal adult readers, but also focusing on the processes of learning to read and the difficulties involved in such processes (see Rayner, Pollatsek, Ashby, & Clifton, 2012, for a review of the psychology of reading). While the great majority of studies that discuss reading have focused on sighted reading, a different modality exists which, although given much less attention in the literature, is particularly relevant from both a theoretical and practical viewpoint: tactile reading using braille.

English version: pp. 811–817 / *Versión en español:* pp. 818–824

References / *Referencias:* pp. 824–825

Translated from Spanish / *Traducción del español:* Julie Waddington

Authors' Address / *Correspondencia con los autores:* Manuel Perea, Departamento de Metodología y ERI-Lectura, Universitat de València, Av. Blasco Ibáñez, 21, 46010 Valencia, España. E-mail: mperea@uv.es

movements activated when reading ‘print’ are ballistic, when reading braille, the fingers move across the text from left to right, letter by letter, thus allowing the reader to detect the dots and extract the tactile information. Secondly, while ‘print’ readers extract visual information through ocular fixation, for braille readers, interruptions to the movement of their fingers means a loss in information collection. Thirdly, while eye regressions are ballistic, benefitting from parafoveal processing (i.e., of the words close to the fixation point), regressions in tactile reading may stop at any moment and do not share the same characteristics for processing neighbouring words. Finally, and in fourth place, reading speed (which is to say the number of words per minute) is approximately three times quicker in the visual modality than the tactile one.

The high level of scientific production related to sight reading has resulted in the development of mathematical models (e.g., E-Z Reader model: Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998). In relation to braille, more studies are needed to be able to develop mathematical models. Reading braille involves greater complexities given that readers may use both hands (and sometimes various fingers) in a synchronized way while reading (Mousty & Bertelson, 1985).

The first experimental study on tactile reading was carried out at the beginning of the last century (Bürklen, 1917/1932). Since then, and especially over the last 30 years, braille reading has been studied using different techniques. The next section provides a description of the procedures used to examine braille reading. This is followed by a critical analysis of the pros and cons of each of the techniques described.

Braille reading measurement methods

In order to systematize the presentation of the different techniques used to examine braille reading, we first provide a description of the chronometric techniques used to identify words. Secondly, we describe the procedures followed by the fingers when reading sentences or text in braille. Thirdly, we show how cognitive neuroscience techniques can be applied to braille reading.

Chronometric techniques for identifying words in braille

The simplest way to examine braille reading is to use chronometric tasks to check word recognition, in a similar way to sighted reading. Paradigmatic examples of this are: (1) lexical decision tasks (i.e., decide if a string of letters is a word or not; e.g., Perea, García-Chamorro, Martín-Suesta, & Gómez, 2012); (2) semantic categorization tasks (i.e., decide if the word presented forms part of a specific category; e.g., decide if the word is masculine or feminine; Bertelson, Mousty, & Radeau, 1992); and (3) pronunciation tasks (Bertelson et al., 1992).

Word recognition experiments in braille are carried out as follows: in the first instance, a group of words are selected in accordance with one or more independent variables (e.g., frequency of use), and then the reaction time and accuracy of responses are recorded as dependent variables. To do this, a braille display needs

to be connected to a computer using the appropriate software. For each experimental test, first of all a sign is marked on the braille display to represent the fixation point; after this, a word (or pseudoword) is presented and the computer chronometer is started simultaneously. If the task is one of classification (lexical or categorization decision), the participant uses the hand not used for reading to press a button for ‘yes’ and another for ‘no’, as quickly and accurately as possible. If the task is one of pronunciation, the time between the presentation of the word and the commencement of the verbal response is calculated.

As an example of a classification task, it is worth highlighting the lexical decision experiment carried out by Perea et al. (2012). In this experiment, the encoding processes used to order the letters in words in tactile reading (braille) and in sighted reading were examined. The pseudowords used in this experiment were created by transposing two letters (*CHOLOCATE*), or by replacing two letters (*CHOTONATE*). In the visual modality, reaction time and error percentages were substantially greater in the pseudowords created by transposing two letters (*CHOLOCATE*) than in the pseudowords created by replacing letters (*CHOTONATE*), in line with previous studies (Perea & Lupker, 2004). In the tactile modality, the results showed that braille readers were as quick and accurate with both types of pseudowords (*CHOLOCATE* = *CHOTONATE*). This result is consistent with models that assume that the effects of transposing letters occur in an early stage of visual processing more than in an orthographic stage common to both modalities (the overlap model: Gomez, Ratcliff, & Perea, 2008).

Procedures for monitoring braille reading

An extremely informative way of studying the intricacies of the cognitive processes involved in reading is to analyse them in real time. In the case of ‘print’ reading, techniques for tracking ocular movement have enabled a detailed analysis of ocular movement patterns during reading (Rayner et al., 2012). It is clear that a parallel technique is required to be able to track finger movements in order to provide a detailed study of braille reading.

Four types of procedures for tracking finger movement in braille reading are presented below.

Use of a device attached to the fingers. The first known method used to track hand movements when reading braille consisted of attaching a pen-like instrument to the index finger of the reader, whose finger movements then left a trace on the paper (Bürklen, 1917/1932). A basic weakness of this method was that, apart from being uncomfortable for the reader, it could also interfere with fluency in the reading of sentences. Subsequently, Noblet, Ridelaire, and Sylin (1985) developed a method for tracking hand movements in which a light emitting diode was attached to both of the reader’s index fingers, with its flashes being recorded using a camera. A third option, used by Hughes (2011), involved attaching a digitizer to the reader’s finger, which enabled details to be recorded on speed and acceleration when reading sentences.

Use of video cameras. A procedure used since the 1980s is the recording of finger movements using video cameras. Mousty and Bertelson (1985) designed an experiment using two video cameras. While participants read a text in braille which was positioned on the table, one of the cameras recorded the hand movements made from left to right, while the other recorded finger movements. In addition, a clock was placed on the table which was also recorded by both cameras during the reading, thus enabling the synchronization of both cameras. Although this procedure helps to measure reading speed, the analysis of the data can be costly and time-consuming. Variations to the method have been proposed using one single camera. Specifically, Miller (1997) used a camera underneath a transparent surface on which was placed a transparent sheet of plastic with embossed letters.

Use of movement trackers (Wii™). Aranyanak and Reilly (2013) designed a sophisticated method in which LEDs were attached to readers' index fingers and an infra-red camera was then used (that of Nintendo Wii™ Wiimote devices) to track finger movements when sliding them across the braille display.

Use of an active braille display. A recent option, introduced by Perea, Jiménez, Martín-Suesta, and Gómez (2015), consists of using the braille display not only as a device for extracting data, but also as a device for recording which letter/s is/are being read. 'Active' braille displays are available on the market that record the position (place and time) of the finger while reading a sentence in braille. In other words, the braille display is connected to a computer that presents the sentences and, at the same time, also collects information on finger movements.

Cognitive neuroscience procedures

A particularly interesting option that has recently become available is the examination of cerebral correlates in braille reading. For this procedure, cognitive neuroscience techniques can be used offering excellent spatial resolution (e.g., functional magnetic resonance) and temporal resolution (e.g., event-related potential). In the first case, participants are required to read texts within the scanner, with the blood flow in different areas of the brain being recorded. Few studies are available in this area, although the experiment carried out by Reich, Szwed, Cohen, and Amedi (2011) is worth highlighting. Reich et al. observed that brain areas associated with the 'orthographic lexical processes' activated when reading braille in the congenitally blind are very similar to the processes activated with sighted reading. With regard to the study of event-related potential, research has focused on the study of attentional and auditory processes and not on reading as such.

Discussion

The previous section has provided an outline of the methods used to carry out systematic studies on braille reading. While these studies have clear implications

in relation to word recognition and reading models (e.g., by dissociating what is specific to sensorial modalities and what is common to both modalities [visual vs. tactile]), they also have considerable practical implications. It is essential that visually impaired children be taught to read braille from an early age if they are to access information in the same way as their sighted peers, in such a way as to provide them with the ‘key’ to knowledge. Awareness of the pros and cons of each of the experimental techniques used to explore cognitive processes during reading is needed in order to be able to study braille reading processes in a systematic way.

Firstly, we examine the chronometric tasks. These techniques, which are extremely easy to use, offer relevant data on underlying cognitive processes and, in fact, many theoretical models related to word recognition in sighted reading have been developed in the context of lexical and pronunciation decision tasks with isolated words (e.g., the dual-route cascaded model: Coltheart, Rastle, Perry, Ziegler, & Langdon, 2001). Nevertheless, these techniques do present some limitations: (1) words are presented in an isolated way, when in fact they tend to be presented in sentences or in text when reading; (2) only one data point is obtained at the end of the processing: response time.

The second family of procedures is constituted by methods used to monitor braille reading. Undoubtedly, these procedures provide a more ‘ecological’ reading context, enabling measurements to be taken not only of reading speed, but also of other variables such as acceleration and regressions during reading, among others. The limitations of these procedures tend to be more extrinsic than intrinsic: the devices used are expensive and the data analysis process laborious. ‘Active’ braille displays undoubtedly provide the simplest case, given that it is the device itself that is used to collect the dependent variables. A limitation of active braille displays is that they only allow the use of one hand (one finger) while tracking the reading. To some extent, this could make the reading process less natural since most braille readers use both index fingers while reading. Devices which are attached to the fingers (e.g., digitizers) may also result in less natural reading processes. Ideally, the most preferable option is the use of video cameras. Nowadays, optoelectronic systems are available, such as Optotrak 3D, that enable the analysis and evaluation of finger movement, and can thus be used for braille reading in a more sophisticated way than in the procedures designed by Mousty and Bertelson (1985).

Finally, techniques emerging from cognitive neuroscience (e.g., functional magnetic resonance) may help to complement previous techniques, particularly when the aim of the research is to ascertain the neural correlates of braille reading, and to compare them with reading processes in sighted reading (see Reich et al., 2011; also see Abboud, Maidenbaum, Dehaene, & Amedi, 2015). The study of reading processes in blind people (or of cognitive processes in general) using cognitive neuroscience techniques may help not only to improve techniques for learning to read, but also to attend to important questions regarding brain plasticity. In fact, the brain is able to adapt to blindness, creating new connections that

compensate for the sensorial lack and allow the person to acquire a highly efficient reading system based on touch (see Hannan, 2006).

In summary, studies on braille reading can provide extremely interesting information on the reading process that will also help to improve methods for teaching and learning to read; which should in turn ensure the inclusion and normalization of the learning of braille reading within the classroom and the motivation of blind students. This will help to increase literacy levels among this sector of the population, with all the social advantages that this entails (Ryles, 1996). Moreover, such studies will also help teachers meet the needs of such students in an adequate way, helping them develop their skills to their maximum potential, as well as integrating fully into society (e.g., see the recommendations of the Comisión Braille Española, 2015).

Por qué es importante la lectura en braille y cómo estudiarla

No es necesario resaltar la importancia que, en todos los ámbitos, tiene la lectura para el día a día de una persona. En consecuencia, ha habido numerosos estudios que han examinado los procesos cognitivos que subyacen a la lectura no solamente en normo-lectores adultos sino también los centrados en los procesos de aprendizaje lector y sus dificultades (véase Rayner, Pollatsek, Ashby, y Clifton, 2012, para una revisión de la psicología de la lectura). Aunque la inmensa mayoría de las investigaciones que versan sobre lectura se han centrado en la modalidad visual, existe otra modalidad que, si bien ha sido mucho menos estudiada, es particularmente relevante tanto desde un punto de vista teórico como aplicado: la lectura táctil a través del sistema braille.

El sistema braille, que fue ideado por Louis Braille en 1825, está basado en una matriz de seis puntos en relieve dispuestos en dos columnas paralelas de tres puntos cada una. La combinación de estos seis puntos en relieve determinan la letra concreta (e.g., la letra *r* es escribe como ⠏⠑; *la cultura* sería ⠏⠑ ⠕⠇⠏⠗⠑⠗⠁ ⠉⠗⠗⠑⠞⠗⠑). El empleo este sistema no sólo aporta a las personas ciegas o con baja visión una herramienta para leer y escribir, sino que les permite acceder a la información, la educación y la cultura. Dado que los textos de braille en papel son difíciles de manejar, se han desarrollado dispositivos como las ‘líneas braille’, usualmente de 40 celdillas, en donde se presenta la información en braille, y que se va actualizando pasando a las siguientes (o anteriores) líneas.

Un examen detallado de los procesos cognitivos que subyacen a la lectura en braille podrá permitir conocer las condiciones óptimas para el aprendizaje lector, así como los mecanismos responsables de la fluidez lectora. Como Legge, Madison, y Mansfield (1999) mostraron, la edad es que se empieza a aprender braille es un predictor de la velocidad lectora. Todo ello podrá redundar en una mejora de los métodos de enseñanza-aprendizaje tanto en niños como en adultos con ceguera o baja visión. A su vez, aportará a las personas con discapacidad visual una oportunidad única para integrarse en la sociedad y desarrollar al máximo sus capacidades. El lector de braille no solamente podrá leer textos escritos sino también podrá leer información en braille en diferentes servicios (e.g., ascensores, planos, señales) y leer el etiquetado de productos (alimentación, medicinas). Para que la lectura braille pueda ser eficiente no sólo tiene que aprenderse, sino que también debe practicarse. Si bien recursos como los audio-libros son importantes, también pueden, en algunos casos, limitar el nivel de alfabetización de las personas ciegas o con baja visión; ya sea por el deseo de los niños de ser igual que sus compañeros de clase o por la dificultad de aprender el sistema braille en personas que han perdido la visión, el porcentaje de personas

ciegas que leen braille ha ido disminuyendo. Para fomentar un adecuado dominio de la lectura en braille habría que tener en cuenta una modernización de los métodos de enseñanza en braille basados en la percepción háptica (Comisión Braille Española, 2015) porque hemos de tener en cuenta que, en personas con deficiencia visual, un alto dominio de la lectura en braille está asociado a mayores niveles educativos y una mejor posición económica (Ryles, 1996).

Para poder realizar investigaciones sistemáticas sobre la lectura en braille, un elemento clave es obtener medidas que permitan inferir los procesos cognitivos que subyacen a los procesos lectores. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis crítico de los actuales métodos de registro empleados para la lectura en braille, de manera que sirva de guía para futuras investigaciones.

Las operaciones que han de realizar los lectores durante la lectura en braille son las siguientes (Hughes, 2011): (1) decodificar los patrones de puntos (procesamiento perceptivo), mediante la activación de las representaciones de letras en la corteza cerebral; (2) acceder al significado (procesamiento lingüístico); y (3) coordinar los movimientos de los dedos con el procesamiento perceptivo y lingüístico. En la literatura de registro de movimientos oculares (*eyetracking*), existen medidas óculo-motoras aceptadas y validadas que se obtienen a partir de las fijaciones oculares, la amplitud de los movimientos sacádicos, las regresiones y la velocidad de lectura (véase Rayner et al., 2012). Los estudios sobre el componente motor de la lectura braille han mostrado que existen diferencias fundamentales entre las modalidades visual y táctil (véase Hughes, McClelland, & Henare, 2014). En primer lugar, mientras que los movimientos sacádicos durante la lectura ‘en tinta’ son balísticos, los movimientos de los dedos durante la lectura en braille recorren el texto de izquierda a derecha, letra a letra, permitiendo a los lectores detectar los puntos y extraer la información táctil. En segundas, mientras que los lectores ‘en tinta’ extraen la información visual mediante las fijaciones oculares, para los lectores en braille, una interrupción del movimiento de los dedos implica la pérdida de la recogida de información. En tercer lugar, mientras que las regresiones de los ojos son balísticas y se benefician de un procesamiento parafoveal (es decir, de las palabras cercanas a la fijación), las regresiones en lectura táctil pueden parar en cualquier momento y carecen de características análogas de procesamiento de palabras cercanas. Finalmente, en cuarto lugar, la velocidad lectora (esto es, el número de palabras por minuto) es aproximadamente tres veces más rápida en la modalidad visual que en la táctil.

La elevada productividad científica en el ámbito de la lectura en la modalidad visual ha permitido la elaboración de modelos matemáticos (e.g., modelo E-Z Reader: Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998). En braille, se necesita un número mayor de investigaciones para poder llegar a formular modelos matemáticos. La lectura en braille tiene una complejidad añadida, dado que los lectores pueden emplear ambas manos (y en ocasiones varios dedos) de manera sincronizada durante la lectura (Mousty & Bertelson, 1985).

La primera investigación de carácter experimental sobre lectura táctil se realizó a principios del siglo pasado (Bürklen, 1917/1932). Desde entonces y, especialmente durante los últimos 30 años, se ha investigado la lectura en braille a través

de diferentes técnicas. En la siguiente sección se realiza una descripción de los procedimientos de registro de la lectura en braille. Seguidamente, se realiza un análisis crítico de los pros y contras de cada una de las técnicas.

Métodos de medición de la lectura en braille

Con el objetivo de sistematizar la exposición de las técnicas de registro de lectura en braille, en primer lugar se describen las técnicas cronométricas de identificación de palabras. En segundo lugar, se describen los procedimientos de seguimiento de los dedos durante la lectura de frases o textos en braille. En tercer lugar, se exponen cómo las técnicas de la neurociencia cognitiva se pueden aplicar a la lectura en braille.

Técnicas cronométricas de identificación de palabras en braille

La estrategia más sencilla de examinar la lectura en braille es emplear tareas cronométricas de reconocimiento de palabras, de manera análoga a la modalidad visual. Los ejemplos paradigmáticos son: (1) la tarea de decisión léxica (esto es, decidir si una cadena de letras es palabra o no; e.g., Perea, García-Chamorro, Martín-Suesta, y Gomez, 2012); (2) la tarea categorización semántica (esto es, decidir si la palabra presentada forma parte de una categoría especificada *a priori*; e.g., decidir si la palabra es masculina o femenina; Bertelson, Mousty, & Radeau, 1992); o (3) la tarea de pronunciación (Bertelson et al., 1992).

La manera de realizar un experimento de reconocimiento de palabras en braille es la siguiente. En primer lugar se selecciona un conjunto de palabras, de acuerdo con una o varias variables independientes (e.g., la frecuencia de uso) y se registran, como variables dependientes, el tiempo de reacción y la precisión en la respuesta. Para ello, se requiere conectar una línea braille a un ordenador con el *software* apropiado. En cada ensayo experimental, se presenta en primer lugar un signo en la línea braille a manera de punto de fijación, y seguidamente se presenta la palabra (o pseudopalabra) a la vez que se pone en marcha el cronómetro del ordenador. Si la tarea es de clasificación (decisión léxica o categorización), el participante ha de pulsar, con la mano que no emplea para leer, un botón para ‘sí’ y otro botón para ‘no’, con rapidez y precisión. Si la tarea fuera de pronunciación, se recoge el tiempo comprendido entre la presentación de la palabra y el inicio de la respuesta verbal.

Como ejemplo de tarea de clasificación podemos señalar el experimento de decisión léxica realizado por Perea et al. (2012). En dicho experimento, se examinaron los procesos de codificación del orden de letras en palabras en la modalidad táctil (braille) y en la modalidad visual. Las pseudopalabras en dicho experimento fueron creadas por transposición de dos letras (*CHOLOCATE*) o por reemplazamiento de dos letras (*CHOTONATE*). En la modalidad visual, los tiempos de reacción y los porcentajes de errores fueron sustancialmente mayores en las pseudopalabras creadas por transposición de letras (*CHOLOCATE*) que en las pseudopalabras creadas por reemplazamiento de letras (*CHOTONATE*),

replicando trabajos previos (Perea & Lupker, 2004). En la modalidad táctil, los resultados mostraron que los lectores en braille fueron igual de rápidos y precisos ante ambos tipos de pseudopalabras (*CHOLocate* = *CHOTONATE*). Dicho resultado es consistente con los modelos que asumen que los efectos de transposición de letras ocurren en un estadio temprano de procesamiento visual más que en un estadio ortográfico común a ambas modalidades (modelo de solapamiento: Gomez, Ratcliff, & Perea, 2008).

Procedimientos de seguimiento de la lectura en braille

Un método sumamente informativo para estudiar los entresijos de los procesos cognitivos durante la lectura es su análisis en tiempo real. En el caso de la lectura ‘en tinta’, la tecnología de seguimiento de movimientos oculares ha permitido el análisis detallado de patrones de movimientos oculares durante la lectura (Rayner et al., 2012). Lógicamente, poder disponer de una tecnología paralela para el seguimiento de los movimientos de los dedos es clave para el estudio detallado de la lectura en braille.

Seguidamente, se revisan cuatro tipos de procedimientos de seguimiento de los dedos en la lectura en braille.

Empleo de un dispositivo acoplado a los dedos. El primer método conocido para registrar los movimientos de la mano durante la lectura en braille consistía en sujetar una pluma al dedo índice del lector que, al mover el dedo para leer, iba dejando un rastro sobre el papel (véase Bürklen, 1917/1932). Un problema básico de este método es que, además de ser incómodo para el lector, podía interferir en la fluidez de la lectura de las frases. Por su parte, Noblet, Ridelaire, and Sylin (1985) desarrollaron un método de seguimiento de los movimientos de las manos en el que en ambos dedos índices del lector se colocaba un diodo emisor de luz, cuyos destellos se registraban mediante una cámara. Una tercera opción, empleada por Hughes (2011), fue enganchar un digitalizador al dedo del lector, que permitía registrar detalles sobre la velocidad y la aceleración durante la lectura de frases.

Empleo de cámaras de vídeo. Un procedimiento empleado desde los años 80 del siglo pasado ha sido el registro de los movimientos de los dedos mediante cámaras de vídeo. Mousty y Bertelson (1985) diseñaron un escenario con dos cámaras de vídeo. Mientras que los participantes leían un texto en braille colocado sobre una mesa, una de las cámaras registraba los movimientos de la mano lectora de izquierda a derecha; la otra cámara registraba los movimientos de los dedos. Adicionalmente, se colocaba un reloj sobre la mesa que era grabado por las dos cámaras durante la lectura y que permitía la sincronización de ambas cámaras. Este procedimiento permite medir la velocidad lectora, aunque el análisis de los datos es costoso y requiere mucho tiempo. Se han propuesto variaciones a este método con una sola cámara. En concreto, Millar (1997) empleó una cámara debajo de una superficie transparente, donde se apoyaba una hoja transparente de plástico con texto en relieve.

Empleo de controladores de movimiento (Wii™). Aranyanak y Reilly (2013) diseñaron un sofisticado método en el que se acoplaban LEDs a los dedos índices del lector y se utilizaba una cámara de infrarrojos (la del dispositivo Wiimote, de Nintendo Wii™) para seguir los movimientos de los dedos al deslizarlos sobre la línea braille.

Empleo de una línea braille activa. Una opción reciente, introducida por Perea, Jiménez, Martín-Suesta, y Gómez (2015), consiste en emplear la línea braille no solamente como dispositivo de salida de datos, sino también como un dispositivo para registrar qué letra(s) se está(n) leyendo. En el mercado existen líneas braille ‘activas’ que registran la posición (el lugar y el momento) del dedo durante la lectura de una frase en braille. Es decir, la línea braille se conecta a un ordenador, que sirve para presentar las frases y, a su vez, recoger la información de los movimientos de los dedos.

Procedimientos de la neurociencia cognitiva

Una opción de especial interés y actualidad es el examen de los correlatos cerebrales en la lectura en braille. Para ello se pueden emplear técnicas de la neurociencia cognitiva con excelente resolución espacial (e.g., resonancia magnética funcional) o temporal (e.g., potenciales relacionados con eventos). En el primer caso, los participantes han de leer textos dentro del *scanner*, y se registran los flujos de actividad sanguínea en diferentes áreas del cerebro. Si bien la literatura es escasa, es importante destacar el experimento de Reich, Szwed, Cohen, y Amedi (2011). Reich et al. observaron que las áreas cerebrales asociadas a ‘procesos ortográfico-léxicos’ que se activan en la lectura en braille por parte de ciegos congénitos son muy similares a las que se activan en la lectura en la modalidad visual. En cuanto a la investigación con potenciales relacionados con eventos, los trabajos se han centrado en el estudio de los procesos atencionales y auditivos, y no en la lectura propiamente dicha.

Discusión

En la sección anterior, hemos descrito los métodos de registro para realizar investigaciones sistemáticas sobre la lectura en braille. Más allá de las implicaciones de estos estudios para los modelos de reconocimiento de palabras y lectura (e.g., al disociar qué es específico de la modalidad sensoriales y qué es general a ambas modalidades [visual vs. táctil]), estamos ante un tema con indudables implicaciones prácticas. Solamente si formamos desde pequeños a los niños con deficiencia visual en lectura en braille podrán acceder a la información como sus iguales videntes, de manera que se les proporcionen las ‘llaves’ del conocimiento. Para poder estudiar de manera metódica los procesos de lectura en braille, es preciso conocer los pros y contras de cada una de las técnicas experimentales que exploran los procesos cognitivos durante la lectura.

En primer lugar, examinamos las tareas cronométricas. Estas técnicas, que son de muy fácil empleo, ofrecen datos relevantes sobre los procesos cognitivos subyacentes, y de hecho, muchos de los modelos teóricos de reconocimiento de palabras en la modalidad visual se han desarrollado en el contexto de las tareas de decisión léxica y pronunciación con palabras aisladas (e.g., el modelo de ruta dual en cascada: Coltheart, Rastle, Perry, Ziegler, & Langdon, 2001). No obstante, estas técnicas vienen acompañadas de algunas limitaciones: (1) las palabras se presentan de manera aislada, cuando en la lectura lo habitual es que se presenten frases o textos; (2) se obtiene únicamente un dato al final del procesamiento: el tiempo de reacción.

La segunda familia de procedimientos está constituida por los métodos de seguimiento de la lectura en braille. Indudablemente, estos procedimientos proporcionan un escenario más ‘ecológico’ de la lectura. Permiten medir no solamente la velocidad lectora sino variables como la aceleración, regresiones durante la lectura, entre otras. Las limitaciones de estos procedimientos suelen ser más extrínsecas que intrínsecas: los dispositivos son caros y el análisis de los datos es laborioso. Seguramente son las líneas braille ‘activas’ el caso más sencillo, dado que es el propio dispositivo el que recoge las variables dependientes. Una limitación de las líneas braille activas es que solamente permiten el uso de una mano (un dedo) durante el registro de la lectura. Ello puede restar cierta naturalidad al proceso lector porque la mayoría de lectores de braille emplean los dos dedos índices durante la lectura. Los dispositivos acoplados a los dedos (e.g., digitalizadores) también pueden restar cierta naturalidad al proceso de lectura. En el caso ideal, la opción preferible es el uso de cámaras de vídeo. En la actualidad hay disponibles sistemas opto-electrónicos como el Optotrak 3D que permiten analizar y evaluar el movimiento de los dedos, pudiendo ser empleados para la lectura braille de manera más sofisticada que en los procedimientos ideados por Mousty y Bertelson (1985).

Finalmente, las técnicas provenientes de la neurociencia cognitiva (e.g., resonancia magnética funcional) pueden servir de complemento para las técnicas anteriores, en particular cuando el objetivo de las investigaciones sean conocer los correlatos neurales de la lectura en braille, así como su comparación con los procesos de lectura en la modalidad visual (véase Reich et al., 2011; véase también Abboud, Maidenbaum, Dehaene, & Amedi, 2015). El estudio de los procesos lectores en personas ciegas (o en general de los procesos cognitivos) mediante las técnicas de la neurociencia cognitiva puede servir no solamente para la posible mejora de las técnicas para aprendizaje de la lectura, sino también para responder cuestiones importantes sobre la plasticidad cerebral. De hecho, el cerebro es capaz de adaptarse ante la privación de visión y crear nuevas conexiones que suplan esta carencia para poder, a través del tacto, llegar a tener un sistema de lectura altamente eficiente (véase Hannan, 2006).

En definitiva, las investigaciones sobre la lectura en braille pueden aportar información de sumo interés sobre el proceso lector que, a su vez, permitirá mejorar los métodos de enseñanza-aprendizaje de la lectura, los cuales deberán asegurar la inclusión y normalización del aprendizaje de la lectura en braille

dentro del aula y potenciar la motivación de los alumnos ciegos. Todo ello contribuirá a aumentar los niveles de alfabetización de este sector de la población, con sus ventajas asociadas (Ryles, 1996). Además, estas investigaciones podrán ayudar a los docentes a atender satisfactoriamente las necesidades de este tipo de alumnado y poder desarrollar al máximo todas sus capacidades así como una óptima integración en la sociedad (e.g., véanse las recomendaciones de la Comisión Braille Española, 2015).

Acknowledgements / Agradecimientos

This study has been carried out within projects PSI2014-53444-P and BES-2015-07414, funded by the Ministry of Economy and Competitiveness of the Government of Spain. The authors state that they have no economic interests related to the direct application of this study. / *Esta investigación se ha realizado dentro de los proyectos PSI2014-53444-P and BES-2015-07414 subvencionados por el Ministerio de Economía y Competitividad de España. Los autores declaran que no tienen intereses económicos derivados de la aplicación directa de esta investigación.*

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors / *Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.*

References / Referencias

- Abboud, S., Maidenbaum, S., Dehaene, S., & Amedi, A. (2015). A number-form area in the blind. *Nature Communications*, *6*, 6026. doi:10.1038/ncomms7026
- Aranyanak, I., & Reilly, R. G. (2013). A system for tracking braille readers using a Wii Remote and a refreshable braille display. *Behavior Research Methods*, *45*, 216–228. doi:10.3758/s13428-012-0235-8
- Bertelson, P., Mousty, P., & Radeau, M. (1992). The time course of braille word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*, 284–297.
- Bürklen, K. (1932). *Touch reading of the blind* (F. K. Merry, Trans.). New York: American Foundation for the Blind, Inc. (Original in 1917).
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Ziegler, J., & Langdon, R. (2001). A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*, 204–256. doi:10.1037/0033-295X.108.1.204
- Comisión Braille Española. (2015). *La didáctica del braille más allá del código: Nuevas perspectivas en la alfabetización del alumnado con discapacidad visual*. Madrid: ONCE.
- Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2008). The overlap model: A model of letter position coding. *Psychological Review*, *115*, 577–600. doi:10.1037/a0012667
- Hannan, C. K. (2006). Review of research: Neuroscience and the impact of brain plasticity on braille reading. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *100*, 397–413.
- Hughes, B. (2011). Movement kinematics of the braille-reading finger. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *105*, 370–381.
- Hughes, B., McClelland, A., & Henare, D. (2014). On the Nonsmooth, Nonconstant Velocity of Braille Reading and Reversals. *Scientific Studies of Reading*, *18*, 94–113. doi:10.1080/10888438.2013.802203

- Legge, G. E., Madison, C. M., & Mansfield, J. S. (1999). Measuring braille reading speed with the MNREAD test. *Visual Impairment Research, 1*, 131–145. doi:[10.1076/vimr.1.3.131.4438](https://doi.org/10.1076/vimr.1.3.131.4438)
- Millar, S. (1997). *Reading by touch*. New York: Routledge.
- Mousty, P., & Bertelson, P. (1985). A study of braille reading, 1: Reading speed as a function of hand usage and context. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37A*, 217–233. doi:[10.1080/14640748508400931](https://doi.org/10.1080/14640748508400931)
- Noblet, A., Ridelaire, H., & Sylin, G. (1985). Equipment for the study of operating processes in braille Reading. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 17*, 107–111. doi:[10.3758/BF03200904](https://doi.org/10.3758/BF03200904)
- Perea, M., García-Chamorro, C., Martín-Suesta, M., & Gómez, P. (2012). Letter position coding across modalities: The case of braille readers. *PLoS ONE, 7*(10), e45636. doi:[10.1371/journal.pone.0045636](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045636)
- Perea, M., Jiménez, M., Martín-Suesta, M., & Gómez, P. (2015). Letter position coding across modalities: Braille and sighted reading of sentences with jumbled words. *Psychonomic Bulletin and Review, 22*, 531–536. doi:[10.3758/s13423-014-0680-8](https://doi.org/10.3758/s13423-014-0680-8)
- Perea, M., & Lupker, S. J. (2004). Can CANISO activate CASINO? Transposed-letter similarity effects with nonadjacent letter positions. *Journal of Memory and Language, 51*, 231–246. doi:[10.1016/j.jml.2004.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.05.005)
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton, J. C. (2012). *Psychology of reading*. New York: Psychology Press.
- Reich, L., Szwed, M., Cohen, L., & Amedi, A. (2011). A ventral visual stream reading center independent of visual experience. *Current Biology, 21*, 363–368. doi:[10.1016/j.cub.2011.01.040](https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.01.040)
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review, 105*, 125–157. doi:[10.1037/0033-295X.105.1.125](https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.1.125)
- Ryles, R. (1996). The impact of braille reading skills on employment, income, education, and reading habits. *Journal of Visual Impairment and Blindness, 90*, 219–226.