

Activación cerebral asociada a una tarea de lectura de sustantivos

David Trejo-Martínez,^{1,5}
 José Marcos-Ortega,²
 Ana Inés Ansaldo,³
 Jorge Armony,⁴
 Rubén Conde,¹
 Ana Luisa Velasco,⁵
 Fiacro Jiménez,⁵
 Talía Harmony⁶

¹Departamento de Resonancia Magnética, Hospital Ángeles del Pedregal

²Departamento de Neurolingüística, Hospital General de México

³CRIUGM, Universidad de Montreal, Canadá

⁴Departamento de Psiquiatría y Departamento de Neurología y Neurocirugía, Universidad McGill, Montreal, Canadá

⁵Unidad de Neurocirugía Funcional, Estereotaxia y Radiocirugía, Hospital General de México

⁶Unidad de Neurodesarrollo, Instituto de Neurobiología, UNAM-UAQ

Autores 1,2 y 5, Distrito Federal, México

Comunicación con:
 David Trejo-Martínez.
 Tel: (55) 5652 0424.
 Correo electrónico:
 davidtrejomartinez@gmail.com

RESUMEN

Introducción: la lectura de una palabra está constituida por diferentes pasos, desde la percepción visual de cada uno de los elementos hasta el reconocimiento como una unidad con significado. En cada uno participan estructuras anatómicas según las características lingüísticas y cognitivas de los estímulos. El objetivo en esta investigación fue caracterizar la actividad cerebral mediante resonancia magnética funcional asociada al procesamiento de sustantivos.

Métodos: a 11 sujetos sanos diestros se les presentaron 58 secuencias de letras como estímulo control y 58 sustantivos mediante una tarea de decisión léxica a través de la lectura. Se obtuvieron los tiempos de reacción para cada estímulo.

Resultados: encontramos diferencia ($p < 0.05$) en los tiempos de reacción entre las secuencias de letras y los sustantivos. La resonancia magnética funcional muestra activación en diferentes regiones cerebrales relacionadas con la lectura.

Conclusiones: la diferencia en la activación cerebral entre los diversos estímulos podría atribuirse a una necesidad inicial para el resto de la percepción. Las diferencias en relación con otros autores a pesar de utilizar una metodología similar podemos atribuir las a las características del sistema de lectura en español.

SUMMARY

Background: word reading involves several steps, from the visual perception of each of its constituting elements to its recognition as an entity with a specific meaning. Various brain structures participate in these processes, depending of the linguistic and cognitive characteristics of the stimulus. Our objective was to characterize brain activity through the use of functional magnetic resonance imaging (fMRI) associated with the process of nouns reading.

Methods: eleven healthy right-handed volunteers participated in a lexical decision task involving 58 written nouns. An equal number of letter sequences were used as control stimuli. Reaction times were also recorded.

Results: there was a difference ($p < 0.05$) in reaction time between nouns and letter sequences in the lexical decision task. fMRI contrasted between conditions revealed significant activations in several areas involved in reading.

Conclusions: the brain activation may reflect the different perceptual demands associated with the initial processing of nouns, as compared to meaningless letter sequences. We attribute the difference between our results and those previously reported to the particular characteristics of the pronunciation rules of written Spanish.

Recibido: 5 de agosto de 2008

Aceptado: 17 de julio de 2009

Introducción

La lectura es un tipo especial de percepción visual,¹ ya que las letras a pesar de compartir los mismos rasgos físicos con otros elementos visuales se tienen que identificar como signos gráficos (grafemas), para posteriormente ser reconocidas como signos lingüísticos; por esta razón, la lectura es una modalidad del lenguaje a través de códigos visuales.

Para Reigosa y colaboradores,¹ la lectura es una habilidad cognitiva compleja en la cual intervienen múltiples etapas de procesamiento organizadas secuencialmente, desde la decodificación hasta el reconocimiento y comprensión de la palabra, donde participan influencias facilitadoras de tipo contextual y lingüístico.

La diferencia en la activación cerebral producida ante la exposición de una palabra y un estímulo de-

Palabras clave

lectura
 imagen por resonancia
 magnética
 neuropsicología
 cerebro

Key words

reading
 magnetic resonance
 imaging
 neuropsychology
 brain

terminado inicia en áreas visuales secundarias, a partir de las cuales se requiere un tratamiento diferente, aunque compartan las mismas propiedades visuales, es decir, en el caso de tratarse de dos grupos de letras con los mismos colores, longitud, tipo y tamaño de letra, el cerebro los procesa en forma distinta y se produce una actividad específica en diversas regiones cerebrales.

Al solicitarle a una persona que decida si se trata de una palabra o no, los sustantivos deben pasar por una serie de pasos antes de ser reconocidos como palabras, sin acceder todavía a su significado léxico. Por su parte, la secuencia de letras solo requiere los primeros pasos para identificarla como no palabra. Lo anterior puede observarse en la figura 1.

La lectura de palabras en español tiene características que no comparte con otros idiomas. La diferencia principal radica en que se trata de una lectura transparente,^{2,3} es decir, a cada letra (grafema) le corresponde un único sonido (fonema), con muy pocas excepciones, a diferencia de otras lenguas, como el inglés, donde el fonema cambia dependiendo de la ubicación del grafema dentro de la palabra. Estas diferencias están relacionadas con diferentes estructuras anatómicas, como que los individuos presentan disociaciones entre leer palabras regulares (que se leen como se escriben) e irregulares (que se leen en forma global).⁴

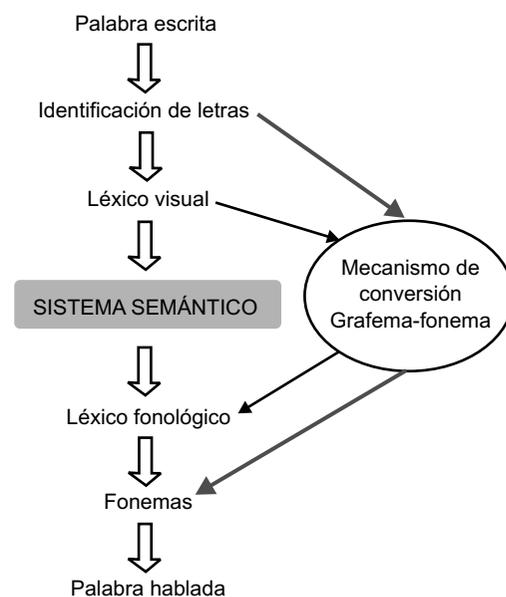


Figura 1. Pasos en la lectura.⁴ La tarea de decisión léxica plantea que el sujeto puede decidir que se trata de una palabra o no en el paso llamado “léxico visual”, es decir, compara lo que está viendo con un almacén mental en el que se encuentran las palabras. Por otra parte, las secuencias de letras solo llegan hasta el proceso llamado “identificación de las letras”

La técnica BOLD (*blood oxygen level dependent*) de la resonancia magnética funcional es un procedimiento inocuo que consiste en la obtención de imágenes cerebrales durante la realización de una tarea, para determinar la región cerebral en la que se producen cambios fisiológicos relacionados con el procesamiento de dicha tarea. Se basa en los cambios en la susceptibilidad magnética local secundarios a las variaciones en las concentraciones de la oxi y desoxihemoglobina. En otras palabras, se identifican los cambios metabólicos del oxígeno en las regiones cerebrales relacionadas con la ejecución de la tarea a la que es expuesto el sujeto.

Es importante mencionar que la señal que observamos en las imágenes es la parte final de una serie de efectos indirectos de la actividad neuronal, no la actividad en sí. Una explicación más amplia de la generación de las imágenes de resonancia magnética funcional sobrepasa los objetivos de este trabajo, para ello, el lector puede encontrar información en las obras de Huttel y colaboradores⁵ y Jaezar y colaboradores.⁶

Según nuestro conocimiento, son escasos los estudios de resonancia magnética funcional dirigidos al proceso de la lectura en hispanohablantes. La mayor parte de las investigaciones referentes a la lectura de palabras se ha realizado en otros idiomas, principalmente el inglés. Como se mencionó, los resultados de las diferentes investigaciones no pueden extrapolarse a nuestro idioma ya que tiene características específicas que no comparte con otras lenguas.^{7,8}

Objetivo

Nuestro objetivo fue caracterizar mediante imágenes de resonancia magnética funcional, la activación cerebral ante una tarea de decisión léxica de la lectura de sustantivos en hispanohablantes.

Este estudio sirvió para conocer parte de las estructuras cerebrales relacionadas con el proceso de acceso al léxico en hispanohablantes, que, hasta donde sabemos, son escasos. Por esta razón, los hallazgos que se exponen más adelante podrían servir como parámetro de comparación inicial para futuras investigaciones en sujetos con alguna patología específica u otras investigaciones relacionadas con el lenguaje escrito en español.

Métodos

Participaron 11 mujeres diestras, de acuerdo al inventario de Edinburgo,⁹ entre 25 y 31 años de edad, con estudios mínimos de licenciatura; sin antece-

dentes neurológicos o psiquiátricos ni dificultades visuales. Todas firmaron una carta de consentimiento informado antes de realizar el experimento.

Para la selección de los estímulos se consultó la lista en orden descendente de las palabras más frecuentes según el trabajo de Alva y colaboradores,¹⁰ cuyos objetivos generales fueron analizar el léxico de niños mexicanos hablantes del español como lengua materna entre cinco y 12 años de edad y habitantes de la ciudad de México. Se decidió tomar un vocabulario de niños para garantizar la consolidación en el uso de las palabras.

Se utilizaron 58 sustantivos de tres y dos sílabas con vocal al final de la palabra, en singular, con un promedio de letras de 6.66 y 2.92 de sílabas. Los sustantivos hacen referencia a objetos concretos o evocan imágenes concretas.

La lista de secuencias de letras quedó constituida por 58 reactivos, formados por secuencias de consonantes impronunciables, con la misma longitud que los sustantivos (entre seis y ocho letras cada una, con un promedio de 6.78).

La forma de obtener activación cerebral relacionada con los sustantivos fue restándole la activación provocada por las secuencias de letras, ya que éstas funcionaron como control.

Tarea

Para la realización de la tarea se solicitó a las voluntarias decidir si el estímulo que aparecía posterior a un punto de fijación era una palabra o no. Para ello se les enfatizó que contestaran de forma acertada lo más rápidamente posible con el dedo índice (oprimiendo un botón) para palabras, y el dedo medio para secuencias de letras.

Para que los sujetos proporcionaran la respuesta se utilizó una caja con dos botones cuadrados de aproximadamente 5 mm por lado, con una separación entre cada botón de 3 cm. La caja es un rectángulo de 3 × 9 cm con 2 cm de ancho, compatible con el equipo de resonancia.

La mitad de la muestra (seis sujetos) usó el dedo índice para contestar que se trataba de una palabra, la otra mitad lo realizó con el dedo medio (respuesta contrabalanceada).

En caso de no oprimir ninguno de los dos botones después de la presentación de cada palabra, ésta desapareció y se consideró como error.

En la figura 2 se muestra el esquema de cada ensayo que se empleó en la presente investigación.

Se trata de una tarea de decisión léxica debido a que solo tuvieron que decidir si se trataba de una palabra o no, sin considerar aspectos del significado.

Procedimiento

Antes de iniciar el estudio de resonancia magnética funcional se realizó un bloque de práctica con la finalidad de lograr cierto grado de familiarización con la tarea. En este bloque, el sujeto debió obtener 80% de aciertos como mínimo.

El punto de fijación visual se estableció por medio de tres asteriscos al inicio de la presentación, mismos que se mostraron en un rango al azar de entre 100 y 800 milisegundos. Al desaparecer se presentó una pantalla sin estímulos (en blanco) dentro del mismo rango de tiempo. Posteriormente apareció cada palabra o secuencia de letras durante 800 milisegundos (figura 2).

Resonancia magnética funcional

Los estudios de resonancia magnética funcional se realizaron en un equipo General Electric (GE) Signa Highspeed de 1.5 Tesla, utilizando una antena de cráneo, con imágenes ecoplanares ponderadas en eco de gradiente mediante la técnica dependiente de los niveles de oxígeno en sangre (BOLD). Los cortes se tomaron de acuerdo con la línea bicomisural. Las imágenes se obtuvieron en un plano axial con un TE de 60 m/segundos y un TR de 3000 m/segundos. El ángulo de inversión fue de 90, ancho de banda de 62.5 y campo de visión de 24 × 24 cm. El espesor de los cortes fue de 6 mm, con Spacing de 1.0 mm y matriz cuadrada de 96 × 64.

Se tomaron ocho imágenes cada tres segundos durante tres sesiones (un total de 480 imágenes en 180 segundos por cada sesión).

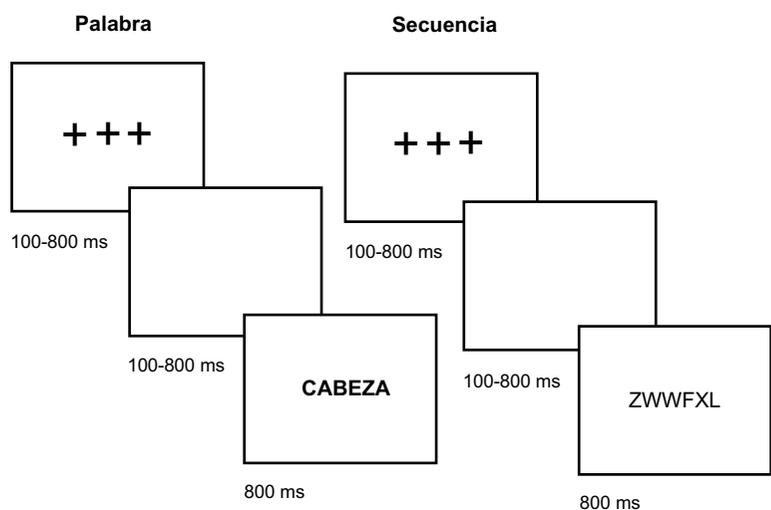


Figura 2. Presentación de los estímulos

Para la proyección de los estímulos y captura de la respuesta conductual de los sujetos se utilizó una computadora personal; para la proyección de las palabras, un proyector digital de diapositivas conectado a la computadora.

La caja de respuestas es un dispositivo compatible con el equipo de resonancia magnética vía fibra óptica con entrada USB a la computadora.

Se empleó el Software E-Prime para la presentación de los estímulos, la captura de la respuesta del sujeto y el registro de los tiempos de reacción.¹¹ Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software Statistical Parametric Mapping (SPM2)¹² en un ambiente MATLAB 7.0.¹³

Para el análisis conductual de las respuestas del sujeto se utilizó el programa SPSS versión 15.¹⁴

Cuadro I
Coordenadas de las principales activaciones de acuerdo a Talairach y Tournoux (1998)

	X	Y	Z	Región anatómica
1	2	-92	-16	Giros occipitales derechos
2	-23	-7	-6	Giro fusiforme izquierdo
3	-42	9	44	Giro frontal superior izquierdo
4	-13	39	40	Giro frontal medio izquierdo
5	-41	24	17	Giro frontal inferior izquierdo
6	68	-20	-10	Giro temporal medio derecho
7	23	-7	-6	Giro fusiforme derecho

Análisis estadístico

Para el análisis conductual se obtuvieron las principales medidas de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar, varianza). De la misma manera, se realizaron comparaciones entre los dos tipos de estímulos mediante *t* de Student para muestras apareadas.

El preprocesamiento de las imágenes (corrección temporal y de movimiento, normalización y suavización espacial) se llevó a cabo con el software SPM2. Se eliminaron las primeras imágenes de cada secuencia (primeros cuatro volúmenes, que corresponden a 12 segundos) para evitar el artefacto producido por efecto de saturación T1.

Los sitios de activación se localizaron basados en el espacio estereotáctico de Talairach y Tournoux.¹⁵

Resultados

Respecto a las medidas conductuales, se observó diferencia significativa ($t = -2.38$, $gl = 10$, $p < 0.05$) en los tiempos de reacción entre los sustantivos (767.84 ± 119.62) y las secuencias de letras (717.49 ± 149.60).

En términos de actividad BOLD se identificó mayor activación en el hemisferio izquierdo (cuadro I). Las activaciones principales correspondieron al lóbulo occipital, giro fusiforme y giro frontal superior e inferior. En el hemisferio derecho encontramos activaciones correspondientes a los giros occipitales inferiores y al segundo giro temporal en su parte anterior (figura 3).

Discusión

La activación cerebral asociada a los estímulos se obtuvo al eliminar la activación que se observa durante la aparición de las secuencias de letras, es por esta razón que consideramos importante mencionar lo que a nuestro parecer diferencia ambos estímulos.

Los dos tipos de estímulos comparten la cantidad, tamaño, color y tipo de letras, es decir, todas las propiedades visuales. Si consideramos la lectura como una secuencia de pasos, entonces, las secuencias de letras y los sustantivos implican el mismo procesamiento cerebral hasta el momento en el que se debe realizar la síntesis de todos los elementos para ser percibidos y codificados como una unidad; por lo tanto, las diferencias cognitivas parten de esta etapa del procesamiento. Por esta razón, la activación cerebral relacionada con aspectos visuales e identificación de las letras no debe aparecer en nuestro estudio, ya que se debe anular de forma similar el aspecto motor, que en ambas condiciones estuvo presente (los sujetos respondieron con un botón en su mano derecha), pero se eliminó.

De acuerdo con lo anterior se esperaba que la activación cerebral de las regiones visuales primarias hubiera sido eliminada al restar la que corresponde a las secuencias de letras (figura 3A). Sin embargo, la respuesta en dichas zonas permanece. La interpretación a este hecho es la habilidad de discriminación visual que se requiere para percibir una palabra en español, a diferencia de la identificación de una secuencia de letras. Es decir, al presentarse una serie de letras que resultan ajenas a la estructura permitida en español, el cerebro no requiere mayor esfuerzo para continuar con otras etapas de procesamiento. A diferencia de las palabras, en las cuales se echa a andar un mecanismo inicial para continuar con las etapas siguientes. Para nuestro experi-

mento utilizamos palabras frecuentes que se encuentran consolidadas en personas de alta escolaridad, aspecto que podría suponer una cantidad menor de esfuerzo para su percepción, sin embargo, es mucho mayor que en la secuencia de letras.

Conductualmente, las secuencias de letras fueron rechazadas con mayor rapidez en comparación con las palabras (cuadro I), esto constituye cierta evidencia respecto a que el proceso de decisión concluye antes que el de un sustantivo, a pesar de ser palabras de fácil procesamiento para el cerebro.

En nuestro experimento también pudimos observar activación del giro fusiforme en forma bilateral, principalmente del lado izquierdo. La región activada se encuentra cercana a la llamada *área de la forma visual de la palabra* (VWFA, *visual word form area*), con coordenadas $x = -43$, $y = -54$, $z = -12.16$. La activación que encontramos se ubica en menor grado posterior, lateral e inferior a las coordenadas mencionadas ($x = -23$, $y = -72$, $z = -6$).

La participación exacta de esta región cerebral en la percepción de las palabras aún es controversial debido a que parece participar en la identificación de otros estímulos. Para profundizar al respecto puede consultarse a Cohen y colaboradores¹⁶ y a Price.¹⁷

En tres regiones cerebrales anteriores izquierdas encontramos activación: el campo visual de los ojos, relacionada con el engrama motor para el escaneo visual;¹⁸ la región prefrontal dorsolateral izquierda (zona anterior al área 6 en el giro frontal medio), dicha región cerebral tiene un papel fundamental en la memoria de trabajo requerida para la adecuada ejecución de la tarea;^{19,20} y la región frontal inferior, la cual ha sido relacionada con el procesamiento fonológico de la palabra²⁰ (figura 3C).

La participación del lóbulo parietal izquierdo en las representaciones ortográficas de las palabras en el proceso de lectura ha sido documentada en diversos estudios, sin embargo, en el presente trabajo no logramos encontrar activación de dicha región. Una de las posibles explicaciones pudiera ser el tipo de palabras; se trata de estímulos de alta frecuencia consolidados en edades tempranas, lo cual podría estar repercutiendo para su acceso rápido y eficaz, dando paso al resto de las etapas.

Conclusiones

De acuerdo con nuestros hallazgos, parece haber activación importante en áreas visuales primarias y secundarias de forma bilateral, principalmente del lado derecho, relacionadas con el procesamiento visual inicial. Encontramos actividad cercana al área de la

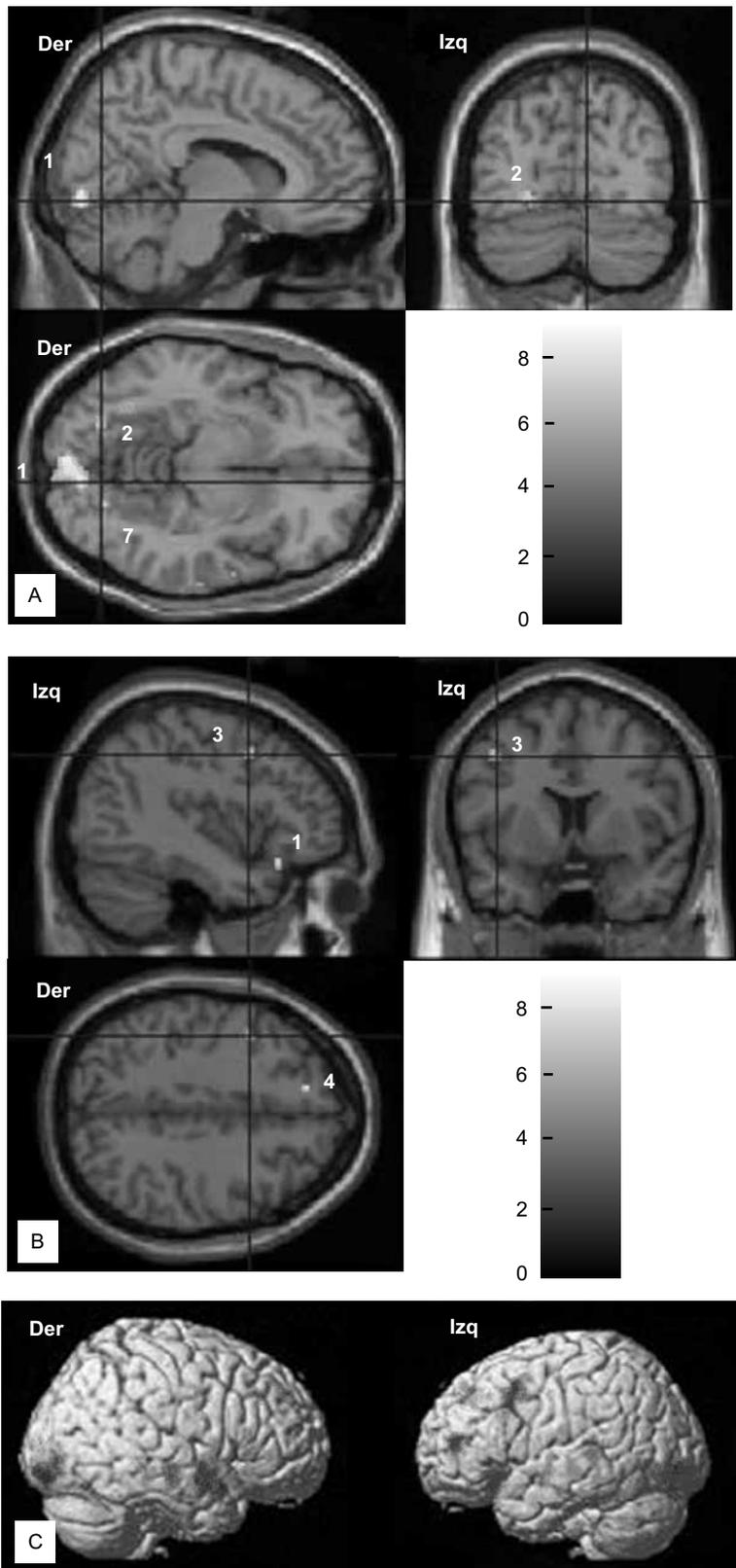


Figura 3. A) Activaciones en regiones posteriores ($p = 0.001$). B) Activaciones en regiones anteriores ($p = 0.001$). C) Activación hemisférica cerebral en cara lateral derecha e izquierda ($p = 0.001$)

forma visual de la palabra (hemisferio izquierdo), involucrada con una etapa de procesamiento preléxica;²¹ activación de la región frontal dorsolateral superior izquierda (campo visual ocular), relacionada con los movimientos oculares; de la región prefrontal dorsolateral, responsable de la memoria de trabajo; y de la región frontal inferior dorsolateral izquierda, involucrada en el procesamiento fonológico.

Las activaciones observadas difieren de las identificadas por Fiebach y colaboradores²¹ en hablantes de alemán, a pesar de seguir una metodología semejante en relación con el diseño, cantidad y tipo de palabras. Dichas diferencias radican en la ausencia de activación de regiones parietales, que puede deberse al sistema de lectura de cada tipo de lengua, sin embargo, se requieren estudios posteriores con estímulos de diversas características lingüísticas para confirmar este supuesto.

Agradecimientos

A Aceleración Nuclear y Resonancia Magnética y al Hospital Ángeles del Pedregal, por las facilidades otorgadas. A la doctora Ma. Corsi y a Zeidy Muñoz del Laboratorio de Sueño de la Facultad de Psicología de la UNAM. Este trabajo es parte de un proyecto para el cual se recibió una beca de doctorado del Conacyt. Parte del procesamiento de las imágenes lo llevó a cabo Zeidy Muñoz Torres. La revisión del manuscrito, comentarios y sugerencias fueron parte de la contribución de Avril Anuche.

Referencias

1. Reigosa C. Preguntando al cerebro del niño mal lector. En: Matute E, coordinadora. *Cerebro y lectura*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara; 2003 p. 81-102.
2. Ardilla A. Características de las alexias y las agrafias en español. En: Matute E, Leal F, coordinadores. *Introducción al estudio del español desde una perspectiva multidisciplinaria*. México: Universidad de Guadalajara; 2003. p. 343-362.
3. Reigosa C, Pérez MC, Manzano M, Antelo JM. Sistema automatizado para explorar la lectura en escolares de habla hispana. *Rev Pensamiento Leng* 1993-1994; 2(1):141-159.
4. Cuetos-Vega F. Las alexias. En: Peña-Casanova J, editor. *Neurología de la conducta y neuropsicología*. México: Médica Panamericana; 2007. p. 109-124.
5. Hutton S, Song AW, McCarthy G. *Functional MRI*. Sunderland, MA: Sinauer; 2004.

6. Jefferies E, Matthews PM, Smith S. *Functional MRI, an introduction to methods*. UK: Oxford Medical Publications; 2001
7. Ostrosky-Solis F, Marcos-Ortega J, Ardila A, Roselli M, Palacios S. Syntactic comprehension in Broca's aphasic Spanish-speakers: null effects of word order. *Aphasiology* 1999;13(7):553-571.
8. Ruiz A, Ansaldo AI, Lecours AR. Two cases of deep dyslexia in unilingual Hispanophones aphasics. *Brain Lang* 1994;46(2):245-256.
9. Villa MA. Versión Mexicana del test Barcelona abreviado. *Perfiles normales [tesis de maestría en Neuropsicología]*, Universidad Autónoma de Barcelona, España, 1999.
10. Alva-Canto EA, Pérez-González B, Mazón-Parra NC, Arias-Trejo N, Álvarez-Mejía AY, et al. *Cómo usan los niños las palabras. El uso de los derivados de las palabras en el lenguaje espontáneo de los niños en interacción libre entre iguales*. México: Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México; 2001.
11. Psychology Softwares Tools. E-Prime 2.0 Profesional. Disponible en <http://www.pst.net.com>
12. Friston K. SPM2. London: University College London. Disponible en <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>
13. The MathWorks. MATLAB 6.5. Student Version. Disponible en <http://www.mathworks.com>
14. *Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS versión 15)*. Chicago, US; 2006
15. Talairach J, Tournoux P. *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. 3-dimensional proportional system: an approach to cerebral imaging*. US: Thieme; 1998.
16. Cohen L, Dehaene S. Specialization within the ventral stream: the case for visual word form area. *Neuroimage* 2004;22(1):466-476.
17. Price C, Devlin JT. The myth of the Visual word form area. *Neuroimage* 2003;19(3):473-481.
18. Macaluso E, Frith CD, Driver J. Delay activity and sensory-motor translation during planned eye or hand movements to visual or tactile targets. *J Neurophysiol* 2007;98(5):3081-3094.
19. Zhuangwei X, Zhang JZ, Wang X, Wu R, Hu X, Weng X. Differential activity in left inferior frontal gyrus for pseudo words and real words: an event-related fMRI study on auditory lexical decision. *Human Brain Mapp* 2005; 25(2):212-221.
20. Strand F, Forssberg H, Klingberg T, Norrelgen F. Phonological working memory with auditory presentation of pseudo words. An event related fMRI study. *Brain Res* 2008;30(1212):48-54.
21. Fiebach CJ, Friederici AD, et al. fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *J Cogn Neurosci* 2002; 14(1):11-23.