

LOCALIZACIÓN DE FUENTES CEREBRALES EN NIÑOS GENERADAS POR ESTIMULACIÓN MULTILINGÜÍSTICA SIMULTÁNEA

CHILDREN'S CEREBRAL SOURCE LOCALIZATION GENERATED BY SIMULTANEOUS MULTILINGUAL STIMULATION

Tomás Ortiz Alonso

Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica, Universidad Complutense, Madrid, España.

Juan Matías Santos García

Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica, Universidad Complutense, Madrid, España, Departamento de Psiquiatría, Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, Argentina.

Caetana Varela Hall

Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica, Universidad Complutense, Madrid, España.

Resumen

Hay pocos estudios sobre el *multilingüismo* en la infancia. Método del presente estudio: en 18 niños de lengua materna española, que asisten a un colegio bilingüe (español-inglés). Se estudiaron los *potenciales evocados* (PE) a palabras escuchadas en diversos idiomas (español, inglés, portugués y mandarín) con diferentes niveles de dominio de los mismos. Se buscaron, específicamente, diferencias en la N200 y N400 durante el procesamiento de dichas palabras, así como las principales fuentes de actividad eléctrica cortical, medidas mediante LORETA. Resultados: Aquellas lenguas más familiares son procesadas más rápidamente, observándose menores latencias en los PE tanto en español como en inglés. En la N200 hay bilateralidad en todos los idiomas excepto en el portugués, que se mantiene en el hemisferio derecho. La actividad cortical durante la N400 acontece preminentemente en el hemisferio derecho. Conclusiones: Estos datos sugieren que durante la infancia hay una red del lenguaje menos especializada y, por esta razón, el procesamiento de estímulos lingüísticos es más bilateral o se lateraliza al hemisferio derecho, al contrario de lo que sucede en adultos, donde la actividad lingüística es predominantemente izquierda.

Palabras clave: asimetría cerebral, actividad cortical, aprendizaje de idiomas, LORETA, *multilingüismo*, N200, N400.

Abstract

There are few studies about multilingualism during childhood. This study's method: Evoked potentials triggered off by words in different languages with different proficiency levels (Spanish, English, Portuguese and Chinese) were measured in 18 native Spanish-speaker children, who attend a bilingual (English-Spanish) school. Specifically, differences in N200 and N400 during the processing of those words were sought, as well as their electrical brain sources, using LORETA. Results: Those languages with higher proficiency levels are processed faster, yielding shorter latencies both in Spanish and English. All languages are bilateral in N200, save Portuguese, mostly right-sided. During the N400 it happens preeminently within the right hemisphere. Conclusions: These data suggest a less specialized language network during childhood and, therefore, language processing happens more bilaterally or goes to the right hemisphere, contrary to what happens during adulthood, when language activity is mostly left-sided.

Keywords: cerebral asymmetry, cortical activity, language acquisition, LORETA, multilingualism, N200, N400.

1. Introducción

El *poliglotismo* es la capacidad de comunicarse en más de dos idiomas. Utilizaremos aquí el término *multilingüismo*, definido como "habilidad para comprender o producir más de dos idiomas en las formas oral, manual o escrita, independientemente de su nivel de dominancia, uso, o edad de aprendizaje" (GRECH y MCLEOD, 2012).

Hay muchos estudios sobre el cerebro, pero son pocos los que abordan el *multilingüismo* (BRIELLMANN y col., 2004; VALAKI et al., 2004; DIAMOND, 2010). El *multilingüismo* ofrece ventajas como la facilitación de la neuroplasticidad y el ejercicio y desarrollo de ciertos aspectos cognitivos relacionados con la atención dividida o la distractibilidad, entre otros (CARLSON y VAN DEMAN, 2008; COSTA y col., 2009; DIAMOND, 2010; LUK y col., 2010; HERNÁNDEZ y col., 2011).

La representación cortical del idioma nativo ha sido muy estudiada. La corteza perisilviana es clave en el desarrollo del idio-

ma materno, habitualmente situado en el lado cerebral izquierdo en la mayoría de personas diestras. Se ha observado no obstante que el cerebro infantil recluta otras redes neuronales para el procesamiento lingüístico, más extensas y bilaterales (HOLLAND y col., 2001). Esto es probablemente debido a la incompleta especialización alcanzada en algunas regiones cerebrales (WOOD y col., 2004) por la inmadurez propia de estas edades. En la etapa adulta, completada la maduración de estas redes, existe una mayor lateralización predominantemente izquierda (HOLLAND y col., 2001; RESSEL y col., 2008), lo que no sucede en las lenguas tonales, como el mandarín, donde es bilateral (VALAKI y col., 2004).

En el cerebro bilingüe su organización está influenciada por complejas interacciones entre uso y dominio lingüísticos, así como por aspectos relacionados con la madurez y plasticidad neuronal (ABUTALEBI y col., 2001). En algunas lesiones cerebrales se ha demostrado que, hasta cierto punto, existen áreas separadas para el manejo de distintos idiomas. En esta separación influyen aspectos relacionados con las demandas computaciona-

les, código lingüístico, tipo de escritura o transparencia ortográfica (BUCHWELTZ y col., 2009), tonalidad y con el modo de adquisición de la segunda lengua. Los factores más importantes en esta separación son el nivel de dominio/fluidez de los dos idiomas ABUTALEBI, 2008; KOTZ, 2009) y la intensidad de la exposición a cada idioma (VIDESOTT y col., 2010). Aún así, existe un gran solapamiento entre los dos idiomas en cuanto a la representación cortical de las palabras y su procesamiento (BUCHWELTZ y col., 2011). La mejora de la eficiencia del procesamiento lingüístico acontece con el mayor dominio de ambos idiomas y la menor edad de adquisición, lo cual favorece una mayor habilidad lingüística global (ROUX y col., 2004).

Adquirir un segundo idioma es un proceso dinámico con gran consumo de recursos neuronales (PERANI y ABUTALEBI, 2005). Prueba de ello es la reorganización que acontece en las áreas del lenguaje tras cambios de uso o de demanda (MÄTTERSON y col., 2012)

El córtex parietal inferior izquierdo es reclutado durante el aprendizaje de un segundo idioma (MECHELLI y col., 2004). La circunvolución frontal inferior izquierda aumenta de volumen con la dificultad semántica y disminuye con el dominio creciente del segundo idioma. La circunvolución temporal anterior izquierda presenta un incremento volumétrico directamente proporcional al mayor dominio del segundo idioma (STEIN y col., 2012). Ante estímulos menos familiares (esto es, menor dominio de la segunda lengua) se recluta una mayor red en las áreas visuales posteriores del hemisferio derecho, de manera similar a cuando la codificación es difícil (LEONARD y col., 2010). El reclutamiento del hemisferio derecho y áreas visuales posteriores (circunvolución fusiforme derecha) es necesario una vez adquirida cierta fluidez en el procesamiento visual de las palabras (LEONARD y col., 2010). En el caso de la lengua materna, la fluidez y la dominancia se relacionan con la circunvolución fusiforme izquierda (MCCANDLISS y col., 2003).

La mayor parte de los estudios neurolingüísticos se han realizado en adultos. Esto significa que existe un vacío en el estudio de los cambios dinámicos que ocurren durante los primeros años de la vida (KARUNANAYAKA y col., 2010). La bilateralidad de la red lingüística precoz confiere una interconectividad hemisférica mayor (KADIS y col., 2011), lo cual redundaría en una mayor facilidad de adquisición de lenguas no maternas. Sin embargo, la transición desde esta red cortical bilateral precoz a las redes lateralizadas del adulto es poco conocida.

La máxima ventaja para el aprendizaje de lenguas ocurre en los momentos previos a alcanzar la cima de dicho aprendizaje, es decir, antes de los 7 años (RICCIARDELLI, 1992). Las funciones receptoras del lenguaje son relativamente plásticas en la infancia (BOATMAN y col., 1999) y existe un declive, tras dicha edad, en la capacidad de aprender nuevos sonidos, ya perceptivamente, ya productivamente (KUHL y col., 2000).

Los denominados *Potenciales Evocados* (PE)¹ son útiles para investigar la temporalidad y las diferencias cualitativas del procesamiento lingüístico (GANUSHCHAK y col., 2011; FRIEDERICI, 2005), y también para estudiar la relación entre lenguaje y actividad cerebral (BROWN y HAGOORT, 1999), incluyendo la adquisición de la lengua materna o nativa (HAHN y col., 2004),

¹ Se denomina Potencial Evocado a la exploración neurofisiológica que evalúa la función del sistema sensorial acústico, visual, somatosensorial por medio de respuestas provocadas frente a un estímulo conocido y normalizado. Se analiza la respuesta del sistema nervioso central a dichos estímulos sensoriales, y se detectan así las vías nerviosas que desde la periferia aportan la información hacia el cerebro.

aunque pocos se han centrado en cómo los niños aprenden idiomas extranjeros (OJIMA y col., 2011). Los componentes de los PE clásicamente asociados al lenguaje son la N200 y N400. La N200, componente preléxico, también generada desde el córtex cingulado anterior (LADOCEUR y col., 2007), detecta el conflicto generado por respuestas contrapuestas de la información relevante/irrelevante de la tarea (DANIELMEIER y col., 2009; YEUNG y COHEN, 2006). Se ha postulado que puede no reflejar el conflicto en sí, aunque refleje la cantidad de recursos reclutados para el procesamiento del mismo (KANSKE y KOTZ, 2011). La N400 se relaciona con procesos automáticos, reflejando procesos semánticos (HATA y col., 2011) de integración post-léxica y propagación automática de información (DEACON y col., 2000). Es selectivamente sensible al procesamiento léxico-semántico (MORENO y KUTAS, 2005) y se correlaciona con la actividad neuronal generada por la representación léxico-semántica de las palabras. A la N400 se le considera como un componente léxico.

Nuestro objetivo es medir el procesamiento de las palabras en niños, mediante PE, ante palabras presentadas aleatoriamente en distintos idiomas, con diversos niveles de dominio y origen (índoeuropeas vs. mandarín).

2. Material y métodos

2.1. Sujetos

Nuestra muestra consistió en 18 alumnos (9 niños y 9 niñas) monolingües (lengua materna española), alumnos del colegio bilingüe español-inglés San Patricio (La Moraleja, Alcobendas, Madrid, España). El grupo control se reclutó del colegio bilingüe Tagus (Toledo, España), y sobre estos dos grupos se buscaron controles apareados en edad y sexo.

La edad media de los niños del grupo experimental era de 4 años (media= 53,6 meses, SD= 3,01, rango= 46-60 meses). Todos ellos asistían a su institución escolar desde hace 1,5 años. El 50% del profesorado les hablaba exclusivamente en español y el otro 50% únicamente en inglés.

Como criterio de inclusión se requirió que los padres y el entorno familiar de los niños hablaran exclusivamente español, sin exposición alguna a cualquier otro idioma, aparte del inglés del colegio. Los criterios de exclusión fueron: (a) aquellos niños cuyos ambientes familiares incluyesen algún otro estímulo bilingüe distinto al del colegio, y (b) el padecimiento, presente o previo, de cualquier tipo de patología neuropsiquiátrica y/o problemas del desarrollo. Los padres de los participantes cumplimentaron un formulario de *exposición lingüística* (POULIN-DUBOIS y col., 2011; CARLSON y MELZOFF, 2008) para excluir potenciales exposiciones lingüísticas externas, tales como niñeras extranjeras o campamentos en el extranjero.

El reclutamiento de todos los niños en el mismo colegio y la pertenencia de prácticamente todos nuestros sujetos a la clase media-alta eran características que minimizaban la interferencia con el estatus socioeconómico de los padres y con su nivel de estudios, y que garantizaban una cierta homogeneidad del entorno en el que se aprendía la segunda lengua (BIALYSTOK, 2001) ya que, en muchos estudios previos, los participantes no sólo eran bilingües, sino también biculturales (CARLSON y MELZOFF, 2008). Había otros sesgos potenciales que podían interferir en los resultados, tales como la estimulación musical, la actividad deportiva o los videojuegos (COSTA I y col., 2008) por lo que se garantizó una exposición similar a estos factores mediante conversaciones con los padres. Se aplicó, además, la versión española de la Escala de Inteligencia Weschler (WPPSI - III), obteniéndose una

inteligencia verbal media de 115,89 (rango = 84-138, SD = 11,7), un vocabulario general medio (en español) de 104,61 (rango = 94-120, DT = 6,69), y una inteligencia general media (CI) de 115,22 (rango = 93-134, SD = 9,33), todos estos valores dentro de los límites de normalidad para su grupo etáreo².

Los niños fueron seleccionados tras un mailing dirigido a todos los padres de potenciales candidatos idóneos. Se invitó a todos aquellos interesados a asistir a una conferencia sobre el propósito de este experimento. Asistieron el 81% de los invitados. No se hizo ningún estudio sobre el 19% de padres que no asistieron. Se insistió en la naturaleza no-invasiva, inocua e indolora del método utilizado (el electroencefalograma —EEG—) y se les permitió hacer, tanto en grupo como individualmente, cuantas preguntas desearan sobre la naturaleza, propósito e implicaciones del experimento. Se proporcionó, asimismo, información por escrito sobre nuestra investigación. De entre los asistentes, el 89% deseó que sus hijos participasen, siendo la tasa de pérdida del 11% por no tener el criterio principal de inclusión, por poseer alguno de los dos criterios de exclusión, o por el simple deseo de los padres de no dejar participar a sus hijos.

Se pidió y obtuvo por escrito el consentimiento informado de los padres para que sus hijos participaran en la investigación. Asimismo, todos los niños participantes fueron informados verbalmente, de manera apropiada a su edad, sobre el experimento en el que iban a participar, por parte de alguno de los investigadores, en compañía de alguno de los docentes y/o padres. Una vez que comprendieron la naturaleza del experimento, se obtuvo el consentimiento verbal de los niños. No se proporcionó compensación de ningún otro tipo ni a padres ni a niños.

El estudio fue aprobado por el Comité Ético de la institución docente a la que pertenecían los niños y por el Comité de Bioética de la Universidad Complutense de Madrid. Se siguieron los principios y recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

2.2. Procedimiento

Para evaluar el dominio de las distintas lenguas usadas en nuestro estudio, y previamente al electroencefalograma (EEG), se pasó a los grupos un test de reconocimiento de palabras, mediante una batería de 50 palabras sencillas en cada uno de los idiomas utilizados en la investigación: español (L1), inglés (L2), portugués (L3), idioma elegido por su proximidad y parentesco con L1) y mandarín (L4), seleccionadas del método Polyglot World®. El conocimiento medio de las palabras fue del 100% en L1, del 44,72% en L2 y del 1-2% en L3 y L4.

Inicialmente se realizó un registro EEG durante la escucha activa, mediante auriculares, de una lista aleatorizada de 20 palabras simples de cada idioma, obtenidas, como se ha indicado, del método Polyglot World® (un programa audiovisual con animación 3D, locutores nativos, música especializada e información categorizada). Cada palabra se repetía 3 veces a lo largo de la prueba, resultando en un total de 6,25 min. de duración, con 1.500 ms entre estímulos. Se les pidió a los participantes mantener los ojos cerrados y lo más inmóviles que fuera posible durante el EEG (electroencefalograma) para evitar *artefactos*³.

² Grupos de edad en que se divide una población determinada que presenta características similares que interesa controlar para un determinado estudio realizado sobre dicho rango de edad. En este caso el grupo etáreo serían niños de 4 años (media= 53,6 meses, SD= 3,01, rango= 46-60 meses).

³ En el registro EEG normal aparecen los llamados "artefactos", que son alteraciones de dicho registro que se deben a múltiples causas (movimientos musculares, oculares, respiración, pulso, electrodos, resistencia de la

piel, sudor, problemas técnicos) que no son debidas a la variable que estamos estudiando y que por lo tanto no deben atribuirse a éstas

Al objeto de evitar la contaminación con el procesamiento del sonido simple se expuso a los participantes a una exposición previa a los idiomas desconocidos (L3 y L4). Todos ellos se sometieron a una exposición media de 20 minutos, repartida en 2 sesiones al día durante un mes anterior a la prueba, con el objetivo de lograr una cierta familiarización fonética con dichas lenguas. Estas sesiones consistieron en dibujos animados con vocabulario básico en cada una de las cuatro lenguas indicadas, usando el español como base, y siempre siguiendo el método Polyglot World®.

Estas palabras fueron seleccionadas por su longitud silábica (todas bisilábicas), frecuencia de uso (todas de uso frecuente/muy frecuente en sus respectivos idiomas) e intensidad (65 dB, decibelios). Las palabras se editaron de manera que fuesen lo más cortas posibles, aun manteniendo la inteligibilidad. La duración media de cada palabra fue de 640 ms (SD = 0,07). Las palabras fueron grabadas en voz femenina nativa, sin fuerte acento.

Posteriormente se llevó a cabo el protocolo de entrenamiento diario que consistía en dos sesiones diarias de 20 minutos, una matutina y otra vespertina, siguiendo una vez más el método Polyglot World®, siempre en la misma aula y a las mismas horas, para maximizar el aprendizaje y la atención (CONBOY y col., 2008). Durante los fines de semana las sesiones tenían lugar en casa. El tiempo de entrenamiento fue de un año académico. Al final del mismo se les repitieron a los alumnos las mismas dos pruebas del inicio de la investigación: la de reconocimiento de palabras y el EEG.

2.3. Electroencefalografía (EEG)

En cada uno de los sujetos de la muestra se llevó a cabo un registro EEG de alta densidad con un gorro Neuroscan® de 128 canales de electrodos, con el sistema ATI-Pentatek (filtro de paso de banda = 0,05-30 Hz; frecuencia de muestreo = 512 Hz, impedancias < 5 kW). Se utilizaron electrodos en ambas mastoides⁴ como referencias.

Para excluir el parpadeo, se utilizó un criterio de rechazo de artefactos de 100 mV. A partir de los ensayos restantes, libres de artefactos, se calcularon las medias para cada condición.

Los *artefactos* oculares y de movimiento muscular fueron identificados individualmente fuera de línea mediante inspección visual, y se excluyeron de los análisis de los PE. Los PE obtenidos se promediaron por separado para cada idioma y sujeto (duración de épocas = 1.000 ms). Los canales ruidosos fueron sustituidos por interpolación lineal de los canales limpios adyacentes. Las últimas etapas de procesamiento léxico-semántico se extrajeron de las deflexiones⁵ más negativas de N 200 y N 400, entre 180-320 ms y 350-580 ms, respectivamente (LEONARD y col., 2011), analizando una ventana de tiempo de 40 ms (-20 y +20 ms a partir del pico de mayor amplitud) medida desde el electrodo Pz (ORTIZ y col., 2011).

2.4. Localización de fuentes

Se utilizó el LORETA (Low-Resolution Electromagnetic Tomography) del software de Neuronic® (Pascual-Marqui y col., 1994;

⁴ La "apófisis mastoides" es una prominente proyección redondeada del hueso temporal localizado detrás del conducto auditivo externo

⁵ "Deflexión" hace referencia a la desviación de la dirección de una corriente

2002). Para el cálculo de la tomografía eléctrica cerebral se aplicaron restricciones anatómicas de volumen cerebral y se utilizó una plantilla media del cerebro humano. Estos datos se analizaron en el dominio del tiempo y la tomografía se calculó para cada caso por separado. Los diferentes modelos se definieron mediante la limitación de la fuente a un compartimiento anatómico, utilizando el cerebro del atlas probabilístico (PBA) (COLLINS y col., 1994; MAZZIOTTA y col., 1995) siendo localizadas mediante el sistema de coordenadas cerebrales del Instituto Neurológico de Montreal (MNI).

2.5. Análisis estadísticos

Se utilizó ANOVA (análisis de varianza) para comparar los

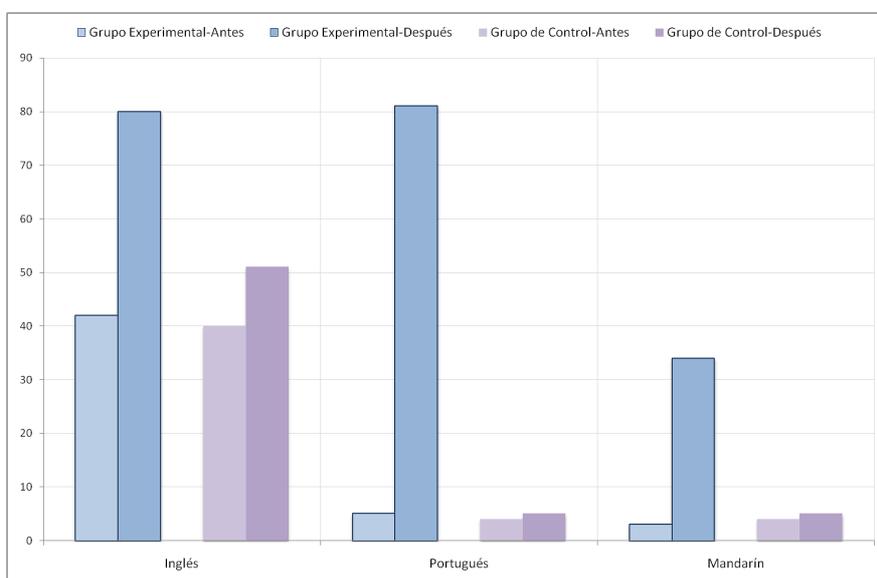
diferentes idiomas, utilizando las diferencias de medias entre las latencias de N200 y N400, número de palabras comprendidas y funciones cognitivas. El test de Bonferroni se utilizó para corregir las comparaciones múltiples.

3. Resultados

3.1. Conductuales

Los resultados conductuales mostraron un aumento del aprendizaje del número de palabras en todos los idiomas estudiados (excepto el español) estadísticamente significativa ($p < 0,05$) (Figura 1).

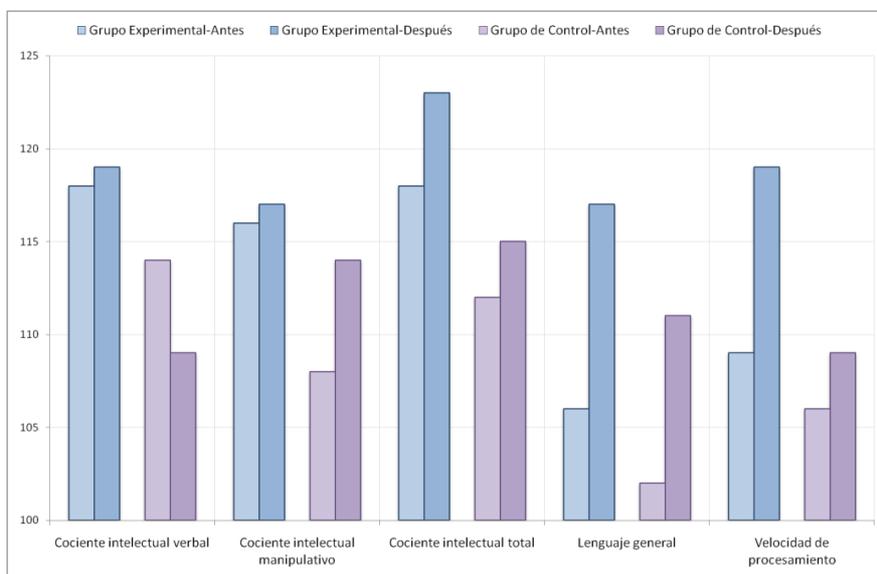
Figura 1. Conocimiento del número de palabras



También se observó una mejora de determinadas funciones cognitivas, de forma estadísticamente significativa, relacionadas con el lenguaje general y con la velocidad perceptiva ($p < 0,05$)

medidas mediante la escala de Weschler infantil (Figura 2) en el grupo experimental frente al grupo control.

Figura 2. Modificación de variables cognitivas

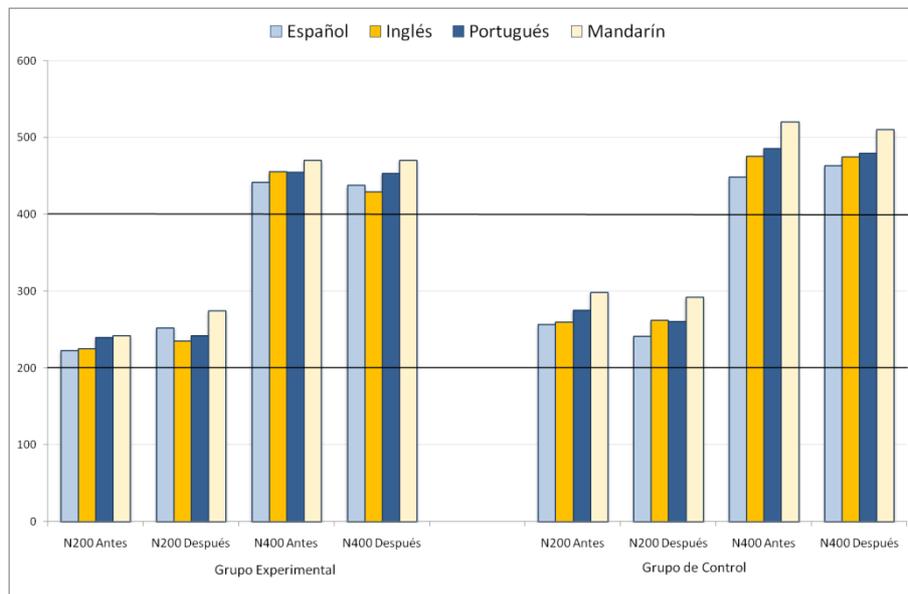


3.2. Latencias

Los resultados de las latencias de los PE (potenciales evocados) de las distintas lenguas se muestran en la Figura 3. El ANOVA para muestras relacionadas reveló diferencias significativas entre

ambos grupos en la N 200 ($F = 4,165, p < 0,007$) y en la N 400 ($F = 6,038, p < 0,001$). El análisis de pares de medidas correlacionadas de Bonferroni mostró diferencias entre: L1 - L4 ($p < 0,013$) para N 200, así como de L1-L4 ($p < 0,0001$) para N 400 en el grupo experimental.

Figura 3. Modificación de las latencias de los potenciales evocados N200 y N400



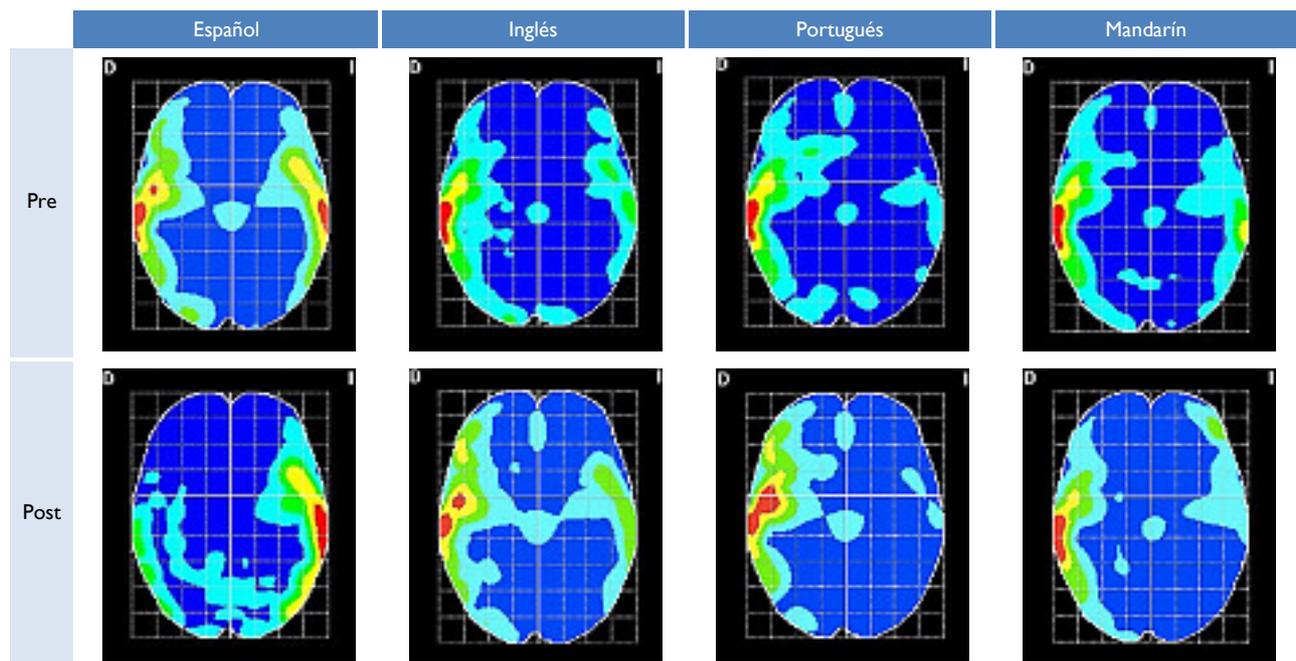
3.3. Localización de fuentes cerebrales

3.3.1. Localización de fuentes en el grupo experimental

Las áreas de mayor activación en la N200 en estado basal fueron: L1 (español): circunvolución temporal medial bilateral y temporal superior derecha, L2 (inglés): temporal media derecha,

L3 (portugués): temporal medial derecha y L4 (mandarín): temporal medial derecha. Tras el entrenamiento, la mayor activación en L1 (español) se localizó en la temporal media izquierda, con proyecciones hacia áreas parieto-occipitales también izquierdas; mientras que en L2 (inglés) y L3 (portugués), además de la actividad temporal media y superior derechas, se observaron proyecciones hacia el lóbulo frontal derecho. En L4 (mandarín) todo permaneció como al inicio del estudio (Figura 4).

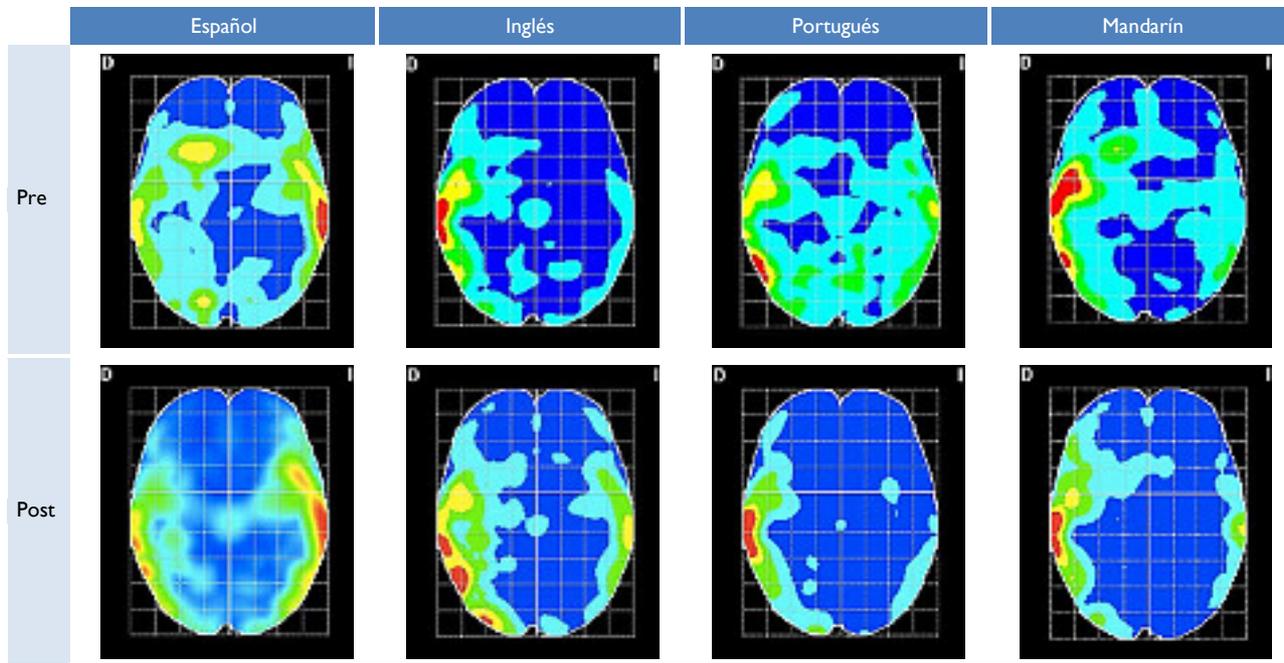
Figura 4. Localización de fuentes en N200 en el grupo experimental



En N400 las áreas de mayor activación, color rojo, identificadas en estado basal fueron: circunvolución temporal medial bilateral con predominio izquierdo y con proyección frontal medial derecha y occipital derecha para L1 (español), temporal media derecha para L2 (inglés), temporal inferior derecha con proyección temporal superior derecha para L3 (portugués) y temporal medial, superior e inferior derechas para L4 (mandarín). Después

del entrenamiento, la mayor activación, para L1 (español), se localizó en la temporal media bilateral, con mayor predominio izquierdo; para L2 (inglés), la temporal media bilateral, con predominio derecho, temporal inferior y occipital derechas; y para L3 (portugués) y L4 (mandarín), el área temporal media derecha (Figura 5).

Figura 5. Localización de fuentes en N400 en el grupo experimental

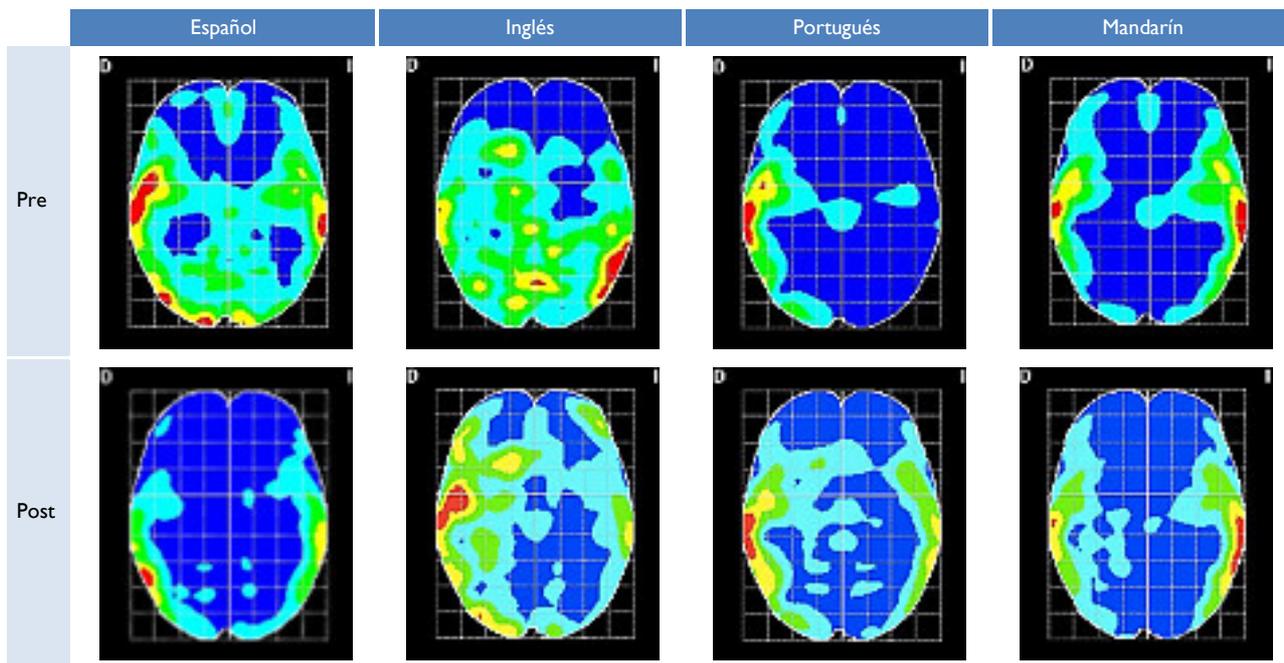


3.3.2. Localización de fuentes en el grupo control

Las áreas de mayor activación basal, color rojo, en la N200 fueron: L1 (español): circunvolución temporal medial bilateral y temporal superior derecha, temporal inferior derecha y occipital bilateral, con predominio derecho; L2 (inglés): temporal media bilateral, con predominio izquierdo, y temporal inferior izquierda; L3 (portugués): temporal medial derecha, con proyección a temporal superior derecha; y L4 (mandarín): temporal medial bilate-

ral, con predominio derecho. Durante el retest, la mayor activación para L1 (español) se localizó principalmente en el área temporal inferior bilateral, con predominio derecho; para L2 (inglés) la temporal media derecha y temporal superior derecha, con proyecciones de menor intensidad en temporal inferior derecha, frontal inferior derecha y occipital derecha; para L3 (portugués) la temporal media bilateral, con predominio derecho; y, por último, para L4 (mandarín), en la temporal media bilateral, con predominio izquierdo (Figura 6).

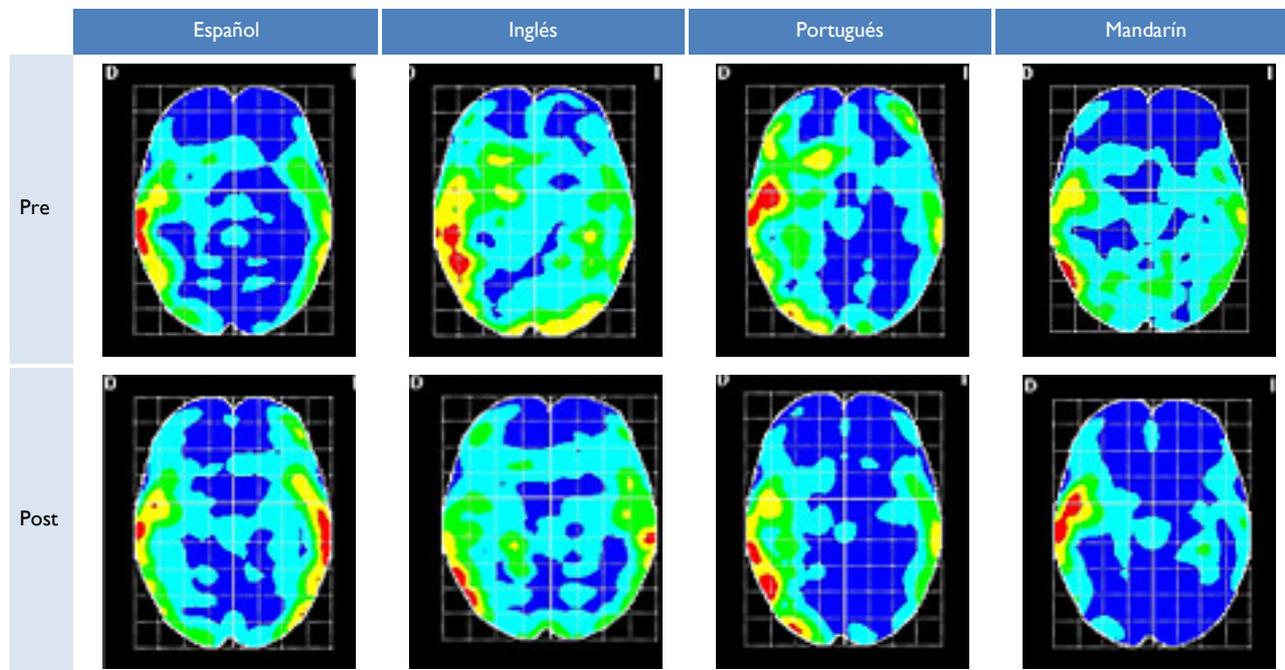
Figura 6. Localización de fuentes en N200 en el grupo de control



En la ventana temporal correspondiente a la N400, las áreas de mayor activación basal, color rojo, fueron: L1 (español): circunvolución temporal medial bilateral, con predominio derecho; L2 (inglés): temporal media derecha, con proyección de menor intensidad frontal derecha y occipital izquierda; L3 (portugués): temporal inferior derecha, con proyección temporal superior y frontal media derecha; y L4 (mandarín): temporal inferior, con

proyección a temporal media y superior derechas. Después del retest la mayor activación para L1 (español) se vio en la temporal media e inferior bilaterales, con mayor predominio izquierdo; para L2 (inglés), la temporal media izquierda e inferior derecha; para L3 (portugués) la temporal media, inferior y occipital derechas; y, para L4 (mandarín), la temporal media y superior derechas (Figura 7).

Figura 7. Localización de fuentes en N400 en el grupo de control



4. Discusión

Los resultados conductuales demuestran que el entrenamiento diario simultáneo en diferentes lenguas beneficia, no solamente al aprendizaje diferencial de cada una de ellas en función de su conocimiento o de su afinidad tonal a la lengua materna, sino también mejoran determinados procesos cognitivos relacionados con el lenguaje y la velocidad en la percepción. Por otro lado, los hallazgos neurofisiológicos de nuestro experimento demuestran que el entrenamiento en diferentes lenguas beneficia a la velocidad en el procesamiento cerebral, entre los 200 y los 500 ms (N200 y N400). El acortamiento de las latencias de los PE (*potenciales evocados*) sugiere que la práctica y el entrenamiento con un idioma influyen a su velocidad de procesamiento (L1, español y L2, inglés). Por último, el entrenamiento en varios idiomas simultáneamente parece generar una reorganización de las áreas cerebrales temporales, con mayor predominio de áreas temporales izquierdas para L1, y una ampliación a otras áreas más extensas del lóbulo temporal derecho en L2, L3 y L4.

Es un hecho bien conocido que la práctica frecuente de cualquier tarea se traduce en un procesamiento más rápido por parte del cerebro (TAKEUCHI y col., 2011). En nuestro caso el procesamiento de las palabras en L2 es cualitativamente similar, aunque ligeramente más lento, que en L1 (WEBER-FOX y NEVILLE, 1996; HAHNET, 2001; VARELA-HALL y col., 2012). Hay una pléyade de estudios previos donde se han encontrado latencias más largas en relación al procesamiento lingüístico: (a) para idiomas no dominantes que para dominantes (CONBOY y MILLS, 2006; NEWMAN y col., 2012), (b) para aquellos adquiridos más

tardíamente frente a los adquiridos tempranamente (WEBER-FOX y NEVILLE, 2001), (c) para los que se tiene menor práctica (ARDAL y col., 1990; MORENO y col., 2002; MORENO y KUTAS, 2005), (d) en ambas lenguas de un bilingüe comparadas con el solo idioma del monolingüe (ARDAL y col., 1990), (e) cuando un bilingüe intercala idiomas (MORENO y col., 2002) y (f) en lenguas desconocidas frente a conocidas (VARELA-HALL y col., 2012). Todos estos resultados señalan una velocidad de procesamiento de las palabras influenciada no sólo por la habilidad lingüística, sino también por la mayor dificultad de integración semántica que tiene lugar durante el procesamiento de palabras de lenguas extranjeras (HAHNET, 2001). Las latencias, generalizadamente más retrasadas para todas las lenguas, reflejan los niveles madurativos debidos a su edad (CUMMINGS y col., 2008; SPIRONELLI y ANGRILLI, 2009), con tiempos de respuesta más largos (y mayor variabilidad entre sujetos) en niños que en adultos (COMESAÑA y col., 2009). No hay diferencias significativas entre L1 y L2, quizás porque, al haber sido expuestos al inglés desde tan temprana edad, han adquirido suficiente nivel en el reconocimiento de estas palabras como para eliminar cualquier posible diferencia con respecto a L1.

La activación bilateral en áreas temporales durante la N200-N400 en L1, con el entrenamiento, se organiza principalmente en el temporal izquierdo, hecho que no sucede en el grupo control. La circunvolución temporal superior (CTS) interviene en el procesamiento fonético (DEMONET y col., 1992; SCOTT y col., 2000), en el procesamiento auditivo durante la emisión del habla (PARKER-JONES y col., 2012) y en la codificación léxica (BOOTH y col., 2002). Por el contrario, la activación del área temporal

medial, que se relaciona con la escucha del idioma nativo, (PERANI y col., 1996) coincide con la posible existencia de una área cerebral para el reconocimiento del lenguaje (LEONARD y col., 2011). Otras regiones activadas durante la N200 en L1, que no aparecen en el grupo control, también han podido ser moduladas por la exposición temprana a los sonidos de los idiomas nativos, como las parieto-occipitales inferiores o la circunvolución occipital medial, durante la N200, después del entrenamiento.

El análisis de las diferencias significativas entre L1 y las demás, muestra una preferencia temporal izquierda para la lengua materna, quizás en relación con el mecanismo subyacente de comprensión lingüística durante el procesamiento temprano del lenguaje (MARNKOVIC, 2004). La actividad frontal derecha de L2 y L3, podría estar influenciada por la experiencia lingüística que los niños tienen de estos idiomas (BIALYSTOK, 1999): la L2, por haber estudiado la lengua en cuestión en el colegio, y la L3 por su proximidad al español.

De acuerdo a GRIFFITHS y col. (1998), la activación bilateral de la corteza auditiva en el español obtenida en nuestro experimento durante la N200 - N400 se podría explicar por los cambios tonales en la señal (KLEIN y col., 2001; WANG y col., 2001; VARELA-HALL y col., 2012), mientras que el predominio izquierdo podría asociarse a una comprensión semántica mayor después de un año escolar. El intento de nuestros participantes de almacenar el estímulo como información fonológica carente de sentido en la memoria auditiva a corto plazo, podría explicar la activación de la circunvolución medial temporal bilateral

La corteza medial temporal está activada en L1 - L2 - L3 - L4, y esta activación ha sido asociada al procesamiento léxico/semántico (INDEFREY & LEVELT, 2000). Se ha sugerido que la N400 está generada en el lóbulo temporal medial anterior, en las regiones del sulcus colateral y del giro anterior fusiforme (NOBRE & MCCARTHY, 1995). El lóbulo temporal anterior recibe información neuronal procesada de áreas corticales polimodales (SWANSON et al., 1987). El giro superior temporal se considera parte del área cerebral específica para el lenguaje (LEONARD et al., 2011), y se sabe que toma parte en la comprensión de las palabras (BOOTH et al., 2002). Más aún, puede ser activada diferencialmente en la lengua materna, cuando se compara con una lengua no nativa.

La lateralización derecha durante N200 - N400 en L2 - L3 - L4 apunta hacia un rol del hemisferio derecho en tareas lingüísticas de cierta dificultad y en las que hay falta de familiaridad con un idioma (LEONARD et al., 2010). El reclutamiento de diferentes áreas ventrales derechas occipito-parieto-temporales derechas puede ser debido al efecto de la novedad y la falta de familiaridad (LEONARD et al., 2010). Las características tonales del mandarín pueden coadyuvar a esto. El contorno de la entonación parece tener un rol en atraer, mantener o promover la atención global. En niños cuya lengua nativa es el español, aparecen patrones de activación cerebral similares cuando escuchan mandarín (VARELA-HALL et al., 2012). Los cambios de la entonación han mostrado que se reclutan regiones más posteriores (WARREN et al., 2003; BUCHWELTZVI et al., 2011). Es, por tanto, razonable especular que el procesamiento de lenguas extranjeras no conocidas involucra al giro angular durante la fase de procesamiento semántico en el caso del portugués o del mandarín, mientras que la activación del giro superior temporal, provocada por las palabras chinas durante la N400, puede reflejar el análisis de aspectos paralingüísticos de la voz, tales como la entonación (BELIN et al.,

2002), la saliencia⁶ (WARREN et al., 2005) o la inteligibilidad (LIEBENTHAL et al., 2005).

Hay algunas limitaciones de nuestro estudio que merecen mencionarse. La atención selectiva puede modular la respuesta en algunas áreas cerebrales (WISE et al., 1991), de modo que nuestros resultados podrían haber sido oscurecidos por cambios incontrolables de la atención, ya que los estímulos fueron presentados de modo aleatorio en las cuatro lenguas, rápidamente, y algunos componentes de los PE, tales como la N200 - N400, están modulados por la atención.

Las fluctuaciones de la actividad neural debidas a la inmadurez, o incluso aspectos de la maduración cerebral, no pudieron ser completamente controlados en nuestro experimento (CONBOY y MILLS, 2006).

En los niños se activan las áreas tanto auditivas, como visuales, independientemente de la modalidad de presentación de la palabra (BOOTH et al., 2002). La asociación audiovisual y el procesamiento semántico suelen estar completamente desarrollados hacia los 5 años (AHMAD et al., 2003) y el procesamiento semántico de palabras simples no lo está hasta los 7 años (BRAUER et al., 2011), y nuestros participantes eran más pequeños. Se sabe también que la influencia de características del contexto y del estímulo en el reconocimiento de palabras en la segunda lengua pueden variar según la proficiencia⁷ y la edad (GARLOCK et al., 2001), y también que los niños parecen utilizar más la información contextual para el reconocimiento de palabra que los adultos. Esto, en definitiva, pudiera haber afectado a nuestros resultados, ya que no había contexto, sino una lista de nombres. Puede que, también, esté el problema en la presencia de los denominados de los "falsos amigos" (palabras similares fonéticamente, pero con significados diferentes en las distintas lenguas) que podrían haber activado las representaciones de las palabras tanto en L1 como en L2 (DIJKSTRA y VAN HEUVEN, 2002). La composición de la lista de los estímulos (palabras) es otro factor metodológico importante a tomar en consideración en los estudios de reconocimiento de palabras (DIJKSTRA y col., 2010).

Finalmente algunas áreas involucradas en la comprensión del lenguaje pudieran no haber sido detectadas, quizás por una activación menor y/o por la relativa baja resolución del análisis de LORETA.

Ciertas explicaciones alternativas para algunos de nuestros resultados podrían ser una dificultad parcial en la tarea, ya que las palabras de los diferentes idiomas estaban entremezcladas, lo que puede haber causado problemas en el reconocimiento de palabras. El hemisferio derecho está tanto más activo cuanto mayor es la complejidad contextual (XU et al., 2005), y también cuando los estímulos se presentan a una gran velocidad, como en nuestro caso.

Cabe decir como conclusión que el entrenamiento diario, con períodos cortos de tiempo, de varias lenguas simultáneamente, mediante estímulos lingüísticos sencillos mejora la eficiencia cerebral, el aprendizaje de mayor número de palabras en cada idioma, promueve determinadas funciones cognitivas relacionadas con el lenguaje y mantiene activadas las áreas cerebrales responsables del lenguaje en los cuatro idiomas.

⁶ La "saliencia" es la capacidad de un estímulo para hacerse presente, destacándose del resto de los estímulos. La "saliencia" así sería la "destacabilidad" del estímulo, su capacidad de "llamar la atención" del sujeto.

⁷ Capacidad de uso de un idioma extranjero

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación San Patricio el apoyo financiero (FSP2011.01) a la primera autora del este manuscrito (CVH) para la realización de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- ABUTALEBI, J. (2008). "Neural aspects of second language representation and language control". *Acta Psychologica*, n.º. 128, pp. 466-478.
- ABUTALEBI, J. & GREEN, D. (2007). "Bilingual language production: the neurocognition of language representation and control". *Journal of Neurolinguistics*, n.º. 20, pp. 242-275.
- ABUTALEBI, J., CAPPA, S. F. & PERANI, D. (2001). "The bilingual brain as revealed by functional neuroimaging". *Bilingualism: Language and Cognition*, n.º. 4, pp. 179-190.
- AHMAD, Z., BALSAMO, L.M., SACHS, B.C., XU, B. & GAILLARD, W.D. (2003). "Auditory comprehension of language in young children: neural networks identified with fMRI". *Neurology*, n.º. 60, pp. 1598-1605.
- ARDAL, S., DONALD, M.W., MEUTER, R., MULDREW, S. & LUCE, M. (1990). "Brain responses to semantic incongruity in bilinguals". *Brain and Language*, n.º. 39, pp. 187-205.
- BELIN, P., ZATORRE, R.J. & AHAD, P. (2002). "Human temporal-lobe response to vocal sounds". *Cognitive Brain Research*, n.º. 13, pp. 17-26.
- BIALYSTOK, E. (2001). *Bilingualism in development: Language, literacy and cognition*. Cambridge University Press; New York.
- BIALYSTOK, E. (1999). "Cognitive complexity and attentional control in the bilingual mind". *Child development*, n.º. 70, pp. 636-644 (doi:10.1111/1467-8624.00046).
- BOATMAN, D., FREEMAN, J., VINING, E., PULSIFER, M., MIGLIORETTI, D., MINAHAN, R., ET AL., & MCKHANN, G. (1999). "Language recovery after left hemispherectomy in children with late-onset seizures". *Annals of Neurology*, n.º. 46, pp. 579-586.
- BOOTH, J.R., BURMAN, D.D., MEYER, J.R., GITELMAN, D.R., PARRISH, T.B. & MESULAM, M.M. (2002). "Modality independence of word comprehension". *Human Brain Mapping*, n.º. 16, pp. 251-261.
- BRAUER, J., ANWANDER, A. & FRIEDERICI, A.D. (2011). "Neuro-anatomical prerequisites for language functions in the maturing brain". *Cerebral Cortex*, n.º. 21, pp. 459-466.
- BRIELLMANN, R.S., SALING, M.M., CONNELL, A.B., WAITES, A.B., ABBOTT, D.F. & JACKSON, G.D. (2004). "A high-field fMRI study of quadri-lingual subjects". *Brain and Language*, n.º. 89, pp. 531-42.
- BROWN, C.M. & HAGOORT, P. (1999). *The cognitive neuroscience of language: Challenges and future directions*. In C. M. Brown, & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language* (pp. 3-14). Oxford. Oxford University Press: New York.
- BUCHWEITZ, A., MASON, R.A., HASEGAWA, M. & JUST, M.A. (2009). "Japanese and English sentence reading comprehension and writing systems: An fMRI study of first and second language effects on brain activation". *Bilingualism (Cambridge, England)*, n.º. 12, pp. 141-151.
- BUCHWEITZ, A., SHINKAREVA, S.V., MASON, R.A., MITCHELL, T.M. & JUST, M.A. (2011). *Identifying bilingual semantic neural representations across languages*. *Brain and Language* (in press).
- CARLSON, L.A. & VAN DEMAN, S.R. (2008). "Inhibition within a reference frame during the interpretation of spatial language". *Cognition*, n.º. 106, pp. 384-407.
- CARLSON, S.M. & MELTZOFF, A.N. (2008). "Bilingual experience and executive functioning in young children". *Developmental Science*, n.º. 11, pp. 282-98.
- COLLINS, D.L., NEELIN, P., PETERS, T.M. & EVANS, A.C. (1994). "Automatic 3D inter-subject registration of MR volumetric data in standardized Talairach space". *Journal of Computational Assisted Tomography*, n.º. 18, pp. 192-205.
- COMESAÑA, M., PEREA, M., PIÑEIRO, A. & FRAGA, I. (2009). "Vocabulary teaching strategies and conceptual representation of words in L2 in children: Evidence with novice learners". *Journal of Experimental Child Psychology*, n.º. 104, pp. 22-33.
- CONBOY, B.T. & MILLS, D.L. (2006). "Two languages, one developing brain: ERP to words in bilingual toddlers". *Developmental Science*, n.º. 9, pp. F1-F12.
- CONBOY, B.T., BROOKS, R., MELTZOFF, A.N. & KUHL, P.K. (2008). "Joint engagement with language tutors predicts brain and behavioural responses to second-language phonetic stimuli". *Presented at ICIS, 16th, Vancouver*.
- COSTA, A., HERNÁNDEZ, M., COSTA-FAIDELLA, J. & SEBASTIÁN-GALLÉS, N. (2009). "On the bilingual advantage in conflict processing: now you see it, now you don't". *Cognition*, n.º. 113, pp.135-149.
- CRINION, J., TURNER, R., GROGAN, A., HANAKAWA, T., NOPPENERY, U. & DEVKIN, J.T. ET AL. (2006). Language control in the bilingual brain. *Science*, n.º. 312, pp. 1537-1540.
- CUMMINGS, A., CEPONIENE, R., DICK, F., SAYGIN, A.P. & TOWSEND, J. (2008). "A developmental ERP study of verbal and non-verbal semantic processing". *Brain Research*, n.º. 1208, pp. 137-149.
- DANIELMEIER, C., WESSEL, J.R., STEINHAUSER, M. & ULLSPERGER, M. (2009). "Modulation of the error-related negativity by response conflict". *Psychophysiology*, n.º. 46, pp. 1288-1298.
- DEACON, D., HEWITT, S., YANG, C.-M. & NAGATA, M. (2000). "ERP indices of semantic priming using masked and unmasked words: evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process". *Cognitive Brain Research*, n.º. 9, pp. 137-146.
- DÉMONET, J.F., CHOLLET, F., RAMSAY, S., CARDEBAT, D., NESPOULOU, J.-L., WISE, R., RASCOL, A. & FRACKOWIAK, R. (1992). "The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects". *Brain*, n.º. 115, pp. 1753-1768.
- DIAMOND, J. (2010). "The Benefits of Multilingualism". *Science*, n.º. 330, pp. 332-333.
- DIJKSTRA, T., MIWA, K., BRUMMELHUIS, B., SAPPELLI, M. & BAAYEN, H. (2010). "How cross-language similarity and task demands affect cognate recognition". *Journal of Memory and Language*, n.º. 62, pp. 284-301.
- DIJKSTRA, T. & VAN HEUVEN, W. (2002). "The architecture of the bilingual word recognition system: from identification to decision". *Bilingualism: Language & Cognition*, n.º. 5, pp. 175-197.
- FRIEDERICI, A.D. (2005). "Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences". *Trends in Cognitive Science*, n.º. 9, pp. 481-488.
- GANUSHCHAK, L.Y., CHRISTOFFELS, I.K. & SCHILLER, N.O. (2011). "The use of EEG in language production research: a review". *Frontiers in Psychology*, n.º. 2, p. 208.
- GARLOCK, V.M., WALLEY, A.C. & METSALA, J.L. (2001). "Age-of-acquisition, word frequency, and neighborhood density effects on spoken word recognition by children and adults". *Journal of Memory and Language*, n.º. 45, pp. 468-492.
- GRECH, H., & MCLEOD, S. (2012). "Multilingual speech and language development and disorders". In D. Battle (Ed.), *Communication disorders in multicultural and international populations* (4th ed.) (pp. 120-147). St Louis, MI: Elsevier.
- GRIFFITHS, T.D., BUCHEL, C., FRACKOWIAK, R.S.J. & PATTERSON, R.D. (1998). "Analysis of temporal structure in sound by the human brain". *Natural Neuroscience*, n.º. 1, pp. 422-427.
- HAHNE, A. (2001). "What's the difference in second-language processing? Evidence from event-related brain potentials". *Journal of Psycholinguistic Research*, n.º. 30, pp.251-266.
- HAHNE, A., ECKSTEIN, K. & FRIEDERICI, A. D. (2004). "Brain signatures of syntactic and semantic processes during children's language development". *Journal of Cognitive Neuroscience*, n.º. 16, pp. 1302-1318.

- HATA, M., HOMAE, F. & HAGIWARA, H. (2011). "Semantic relatedness between words in each individual brain: an ERP study". *Neuroscience Letters*, n° 501, pp. 72-77.
- HERNÁNDEZ, M., COSTA, A. & HUMPHREYS, G.W. (2011). "Escaping capture: bilingualism modulates distraction from working memory". *Cognition*, n° 122, pp. 37-50.
- HOLLAND, S.K., PLANTE, E., WEBER BYARS, A., STARWSBURG, R.H., SCHMITHORST, V.J. & BALL, W.S. JR. (2001). "Normal fMRI brain activation patterns in children performing a verb generation task". *Neuroimage*, n° 14, pp. 837-843.
- INDEFREY, P. & LEVELT, W.J.M. (2000). "The neural correlates of language production". In M. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive Neurosciences* (pp. 845-865), MIT Press: Cambridge
- KADIS, D.S., PANG, E.W., MILLS, T., TAYLOR, M.J., MCANDREWS, M.P. & SMITH, M.L. (2011). "Characterizing the normal developmental trajectory of expressive language lateralization using MEG". *Journal of the International Neuropsychological Society*, n° 17, pp. 896-904.
- KANSKE, P. & KOTZ, S.A. (2011). "Conflict processing is modulated by positive emotion: ERP data from a flanker task". *Behavioural Brain Research*, n° 219, pp. 382-386.
- KLEIN, D., MILNER, B., ZATORRE, R., MEYER, E. & EVANS, A. (1995). "The neural substrates underlying word generation: a bilingual functional-imaging study". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, n° 92, pp. 2899-2903.
- KLEIN D., ZATORRE R.J., MILNER B. & ZHAO Y. (2001). "A cross-linguistic PET study of tone perception in Mandarin Chinese and English speakers". *Neuroimage*, n° 13, pp. 646-653.
- KOTZ, S.A. (2009). "A critical review of ERP and fMRI evidence on L2 syntactic processing". *Brain and Language*, n° 109, pp. 68-74.
- KUHL, P.K. (2004). "Early language acquisition: cracking the speech code". *Nature Reviews. Neuroscience*, n° 5, pp. 831-843.
- LADOUCEUR, C.D., DAHL, R.E. & CARTER, C.S. (2007). "Development of action monitoring through adolescence into adulthood: ERP and source localization". *Developmental Science*, n° 10, pp. 874-891.
- LEONARD, M.K., BROWN, T.T., TRAVIS, K.E., GHARAPETIAN, L., HAGLER JR., D.J. & DALE, A.M. ET AL. (2010). "Spatiotemporal dynamics of bilingual word processing". *Neuroimage*, n° 49, pp. 3286-3294.
- LEONARD, M.K., TORRES, C., TRAVIS, K.E., BROWN, T.T., HAGLER, D.J. JR., DALE, A.M., ELMAN, J.L. & HALGREN, E. (2011). "Language proficiency modulates the recruitment of non-classical language areas in bilinguals". *PLoS One*, n° 6, e18240.
- LIEBENTHAL, E., BINDER, J.R., SPITZER, S.M., POSSING, E.T. & MEDLER, D.A. (2005). "Neural substrates of phonemic perception". *Cerebral Cortex*, n° 15, pp. 1621-1631.
- LUK, G., ANDERSON, J.A., CRAIK, F.I., GRADY, C. & BIALYSTOK, E. (2010). "Distinct neural correlates for two types of inhibition in bilinguals: response inhibition versus interference suppression". *Brain Cognition*, n° 74, pp. 347-357.
- MARINKOVIC, K. (2004). "Spatiotemporal dynamics of word processing in the human cortex". *Neuroscientist* n° 10, pp. 142-152.
- MÅRTENSSON, J., ERIKSSON, J., BODAMMER, N.C., LINDGREN, M., JOHANSSON, M., NYBERG, L. & LÖVDÉN, M. (2012). "Growth of language-related brain areas after foreign language learning". *Neuroimage*, n° 63, pp. 240-244.
- MAZZIOTTA, J.C., TOGA, A.W., EVANS, A., FOX, P. & LANCASTER, J. (1995). "A probabilistic atlas of the human brain: theory and rationale for its development. The International Consortium for Brain Mapping (ICBM)". *Neuroimage*, n° 2, pp. 89-101.
- MCCANDLISS, B.D., COHEN, L. & DEHAENE, S. (2003). "The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus". *Trends in Cognitive Science*, n° 7, pp. 293-299.
- MECHELLI, A., CRINION, J.T., NOPPENY, U., O'DOHERTY, J., ASHBURNER, J. & FRACOWIAK, R.S., ET AL. (2004). "Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain". *Nature*, n° 431, p. 757.
- MILLER, E.K. & COHEN, J.D. (2001). "An integrative theory of prefrontal cortex function". *Annual Review of Neuroscience*, n° 24, pp. 167-202.
- MORENO, E.M., FEDERMEIER, K.D. & KUTAS, M. (2002). "Switching languages, switching palabras (words): an electrophysiological study of code switching". *Brain and Language*, n° 80, pp. 188-207
- MORENO, E.M. & KUTAS, M. (2005). "Processing semantic anomalies in two languages: an electrophysiological exploration in both languages of Spanish-English bilinguals". *Cognitive Brain Research*, n° 22, pp. 205-220.
- NEVILLE, H., KUTAS, M., CHESNEY, G. & SCHMIDT, A. (1986). "Event-related brain potentials during initial encoding and recognition memory of congruous and incongruous words". *Journal of Memory and Language*, n° 25, pp. 75-92.
- NEWMAN, A.J., TREMBLAY, A., NICHOLS, E.S., NEVILLE, H.J. & ULLMAN, M.T. (2012). "The influence of Language Proficiency on Lexical Semantic processing in Native and Late learners of english". *Journal of Cognitive Neuroscience*, n° 24, pp. 1205-1223.
- NOBRE, A.C. & MCCARTHY, G. (1995). "Language-related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: II. Effects of word type and semantic priming". *The Journal of Neuroscience*, n° 15, pp. 1090-1098.
- OJIMA, S., NAKAMURA, N., MATSUBA-KURITA, H., HOSHINO, T. & HAGIWARA, H. (2011). "Neural correlates of foreign-language learning in childhood: a 3-year longitudinal ERP study". *Journal of Cognitive Neuroscience*, n° 23, pp. 183-199.
- ORTIZ T, POCH J, SANTOS JM, REQUENA C, MARTÍNEZ AM, ORTIZ-TERÁN L, TURRERO A, BARCIA J, NOGALES R, CALVO A, MARTÍNEZ JM, CÓRDOBA JL, PASCUAL-LEONE A. "Recruitment of occipital cortex during sensory substitution training linked to subjective experience of seeing in people with blindness". *PLoS One*. 2011; n° 6 (8): e23264.
- PARKER JONES, O., GREEN, D.W., GROGAN, A., PLIATSIKAS, C., FILOPOPOLITIS, K. & ALI, N., ET AL. (2012). "Where, when and why brain activation differs for bilinguals and monolinguals during picture naming and reading aloud". *Cerebral Cortex*, n° 22, pp. 892-902.
- PASCUAL-MARQUI, R.D., MICHEL, C.M., & LEHMANN, D. (1994). "Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain". *International Journal of Psychophysiology*, n° 18, pp. 49-65.
- PASCUAL-MARQUI, R.D., ESSLEN, M., KOCHI, K. & LEHMANN, D. (2002). "Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review". *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*, n° 24, Suppl. C, pp. 91-95.
- POULIN-DUBOIS, D., BLAVE, A., COUTVA, J. & BIALYSTOK, E. (2011). "The effects of bilingualism on toddlers' executive functioning". *Journal of Experimental Psychology*, n° 108, pp. 567-579.
- RESSEL, V., WILKE, M., LIDZBA, K., LUTZENBERGER, W. & KRAGELOH-MANN, I. (2008). "Increases in language lateralization in normal children as observed using MEG". *Brain and Language*, n° 106, pp. 167-176.
- RICCIARDELLI, L.A. (1992). "Bilingualism and Cognitive Development in Relation to Threshold Theory". *Journal of Psycholinguistic Research*, n° 21, 4.
- ROUX, F.E., LUBRANO, V., LAUWERS-CANCES, V., TREMOULET, M., MASCOTT, C.R. & DEMONET, J.F. (2004). "Intra-operative mapping of cortical areas involved in reading in mono- and bilingual patients". *Brain*, n° 127, pp. 1796-1810.
- SCOTT, S.K., BLANK, C.C., ROSEN, S. & WISE, R.J. (2000). "Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe". *Brain*, n° 123, pp. 2400-2406.
- SPIRONELLI, C. & ANGRILLI, A. (2009). "Developmental aspects of automatic word processing: language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-aged subjects". *Biological Psychology*, n° 80, pp. 35-45.
- STEIN, M., FEDERSPIEL, A., KOENIG, T., WIRTH, M., STRIK, W. & WIEST, R. ET AL. (2012). "Structural plasticity in the language system

- related to increased second language proficiency". *Cortex*, n.º. 48, pp. 458-465.
- SWANSON, L.W., KOHLER, C. & BJORKLUND, A. (1987). "The limbic region: the septohippocampal system". In: *Handbook of chemical neuroanatomy* (Bjorklund A., Hokfelt T., Swanson L.W., eds.), pp. 125-277. Amsterdam: Elsevier.
- TAKEUCHI, H., TAKI, Y., HASHIZUME, H., SASSA, Y., NAGASE, T., NOUCHI, R. & KAWASHIMA, R. (2011). "Effects of training of processing speed on neural systems". *Journal of Neuroscience*, n.º. 31, pp. 12139-12148.
- VALAKI, C.E., MAESTU, F., SIMOS, P.G., ZHANG, W., FERNANDEZ, A., AMO, C.M., ORTIZ, T.M. & PAPANICOLAOU, A.C. (2004). "Cortical organization for receptive language functions in Chinese, English, and Spanish: a cross-linguistic MEG study". *Neuropsychologia*, n.º. 42, pp. 967-979.
- VARELA-HALL, C., MARTÍNEZ, A., HALTY, L., SANTOS, J.M. & ORTIZ, T. (2012). "Cortical organization of different languages with different proficiency levels". *Revista de Neurología* n.º. 54 S, pp. 137-145.
- VIDESOTT, G., HERRNBERGER, B., HOENIG, K., SCHILLY, E., GROTHE, J. & WIATER, W. ET AL. (2010). "Speaking in multiple languages: neural correlates of language proficiency in multilingual word production". *Brain and Language*, n.º. 113, pp. 103-112.
- WANG, Y., JONGMAN, A. & SERENO, J.A. (2001). "Dichotic perception of Mandarin tones by Chinese and American listeners". *Brain and Language*, n.º. 78, pp. 332-348.
- WARREN, J.D., UPPEKAMP, S., PATTERSON, R.D. & GRIFFITHS, T.D. (2003). "Analysing pitch chroma and pitch height in the human brain". *Annals of the NY Academy of Sciences*, n.º. 999, pp. 212-214.
- WARREN, J.D., JENNINGS, A.R. & GRIFFITHS, T.D. (2005). "Analysis of the spectral envelope of sounds by the human brain". *Neuroimage*, n.º. 24, pp. 1052-1057.
- WEBER-FOX, C. & NEVILLE, H.J. (1996). "Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioural evidence in bilingual speakers". *Journal of Cognitive Neuroscience*, n.º. 8, pp. 231-256.
- WEBER-FOX, C. & NEVILLE, H.J. (2001). "Sensitive periods differentiate processing of open- and closed-class words: an ERP study of bilinguals". *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, n.º. 44, pp. 1338-1353.
- WISE, R.J., SCOTT, S.K., BLANK, S.C., MUMMERY, C.J., MURPHY, K. & WARBURTON, E.A. (2001). "Separate neural subsystems within Wernicke's area". *Brain*, n.º. 124, pp. 83-95.
- WOOD, A.G., HARVEY, A.S., WELLARD, R.M., ABBOTT, D.F., ANDERSON, V., KEAN, M., ET AL. & JACKSON, G.D. (2004). "Language cortex activation in normal children". *Neurology*, 63, pp. 1035-1044.
- XU, J., KEMENY, S., PARK, G., FRATTALI, C. & BRAUN, A. (2005). "Language in context: emergent features in word, sentence, and narrative comprehension". *Neuroimage*, n.º. 25, pp. 1002-1015.
- YEUNG, N. & COHEN, J.D. (2006). "The impact of cognitive deficits on conflict monitoring. Predictable dissociations between the error-related negativity and N2". *Psychological Science*, n.º. 17, pp. 164-171.

Los autores

Tomás Ortiz Alonso

Es Doctor en Medicina y en Psicología. Catedrático de Psicología Médica del Departamento de Psiquiatría. Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. Ha publicado cerca de 200 publicaciones nacionales e internacionales en el campo de la Neurociencia cognitiva de un notable impacto científico

Juan Matías Santos García

Es doctor en Medicina y especialista en Psiquiatría y Fellow en Neuropsiquiatría por la Washington University y Máster en Psiquiatría Legal y Forense por la Universidad Complutense (Madrid). Ha publicado casi una cincuentena de trabajos científicos sobre neuroplasticidad en invidentes, esquizofrenia, epilepsia y multilingüismo.

Caetana Varela Hall

Licenciada en Medicina por la Universidad Complutense de Madrid en el 2011. Becada con Erasmus en el 2009-2010 para estudio de quinto de carrera en la Universidad Comenius de Bratislava (Eslovaquia). Actualmente en segundo año de especialización en Medicina del Trabajo en el Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz.