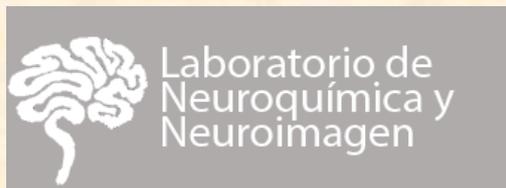




*Modulación del sistema visual sobre el
lenguaje: estudio de resonancia magnética
funcional.*



Autor: Carlos J. García-Peña¹

Tutores: Julio Plata-Bello^{1,2}, José Luis González-Mora¹.

Centro

¹ Grupo de Investigación de Neuroquímica y Neuroimagen, Universidad de La Laguna, Tenerife. España.

² Servicio de Neurocirugía, Hospital Universitario de Canarias, Tenerife. España.

1-RESUMEN

Objetivo

Comparar la actividad cerebral durante la producción de una tarea de denominación y la observación de la misma tarea con diferentes condiciones visuales.

Metodología

Se realizó un estudio de fMRI en 21 sujetos sanos (edad media = 23.5 años) que consistía en tres runs: 1) Denominación de diferentes objetos; 2) Observación de la cara de dos actores denominando los mismos objetos sin ningún tipo de sonido, pero con una imagen del objeto que se denomina (OBS1); y 3) Observación de la cara de dos actores denominando los mismos objetos sin ningún tipo de sonido y sin imagen del objeto que se denomina (OBS2). El análisis de las imágenes se realizó empleando el Statistical Parametric Mapping (SPM) versión 8.

Resultados

La denominación de los diferentes objetos condujo a una extensa activación bilateral de la corteza motora primaria (M1), así como de áreas premotoras (incluida el gyrus frontal inferior [IFG]), a nivel parietal y del cerebelo. Por su parte, las dos condiciones de observación mostraban actividad a nivel temporal y frontal, incluyendo el área motora primaria (M1) y área motora suplementaria (SMA). Esta actividad era más extensa para OBS2 que para OBS1. La distribución de la actividad por dichas regiones es coherente con lo descrito en la literatura.

Finalmente, se realizaron dos análisis de conjunción: uno entre la condición de denominación y OBS1; y otra entre la condición de denominación y OBS2. Los clústeres de actividad común eran más extensos con la condición OBS2, localizándose a nivel frontal e incluyendo M1, IFG y SMA.

Conclusión

La observación de la denominación de un objeto en ausencia de la imagen de dicho objeto conduce a una actividad cerebral más extensa en las regiones relacionadas con la producción del lenguaje.

1-ABSTRACT

Objective

To compare the pattern of brain activity during the production of a naming task and the observation of the same task with different visual conditions.

Methodology

A fMRI study was performed on 21 healthy subjects (mean age = 23.5 years). It consisted of three runs: 1) Denomination of different objects; 2) Observation of the face of two actors naming the same objects without any sound, but with an image of the object that is called (OBS1); and 3) Observation of the face of two actors naming the same objects without any sound and without image of the object that is called (OBS2). Image analysis was performed using the Statistical Parametric Mapping (SPM) version 8. The level of significance was set at $p = 0.05$ (corrected for multiple comparisons).

Results

Denomination of the different objects led to extensive bilateral activation of the primary motor cortex (M1), as well as premotor areas (including inferior frontal gyrus [IFG]) and in the parietal lobe and cerebellum. On the other hand, the two observation conditions showed temporal and frontal activity, including the primary motor area (M1) and supplementary motor area (SMA). This activity was larger for OBS2 than for OBS1. The distribution of activity in these regions is consistent with previous reports. Finally, two conjunction analyzes were performed: one between the naming condition and OBS1; and another between the naming condition and OBS2. Clusters of common activity were more extensive with the OBS2 condition, locating at the front level and including M1, IFG and SMA.

Conclusion

The observation of the denomination of an object in the absence of an additional figure of the named object leads to a more extensive brain activity in the regions related to the production of language.

2-INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XX, se consideraba que la percepción del habla era una función auditiva para procesar estímulos acústicos en relación con el lenguaje verbal (Klatt, 1979; Stevens, 1981), en estrecha coordinación con el sistema motor (Liberman et al. 1967, Liberman, 1982). En esos momentos, la teoría sobre la percepción del habla no estaba relacionada con la evidencia sobre la percepción visual del habla, a pesar de que existían datos disponibles en la literatura que mostraban que esta podía percibirse visualmente.

La teoría motora de la percepción del lenguaje hablado (Liberman y Mattingly, 1985) postula que la percepción del habla no se realiza directamente a partir de la señal acústica, sino haciendo referencia a los gestos articulatorios abstractos. Con esta teoría, se afirmó que el gesto fonético era el objeto (de naturaleza motora) percibido realmente por el oyente. Dicha teoría ha cobrado protagonismo tras el descubrimiento del sistema de neuronas espejo (figura 1). Este sistema está formado por neuronas que se activan tanto durante la realización de un movimiento, como durante la observación del mismo movimiento. Inicialmente se descubrieron en el cerebro de macacos, existiendo, actualmente, evidencias sobre su existencia en humanos, fundamentalmente a nivel de la corteza premotora, incluyendo la circunvolución frontal inferior, y a nivel del lóbulo parietal inferior (Gallese et al. 1996; Rizzolatti and Craighero 2004; Iacoboni et al. 2005; Iacoboni and Mazziotta 2007; Cattaneo and Rizzolatti 2009). Este sistema se distribuye de forma bilateral y mantiene estrechas relaciones funcionales con los sistemas motor, visual y auditivo, entre otros. El hecho de que un grupo de neuronas se activen tanto durante la realización de una acción (por ejemplo, denominar un objeto) como cuando se observa la realización de dicha acción, permite inferir que la función de este sistema neuronal es, entre otras, la de permitirnos entender los movimientos observados, el significado de dichos movimientos, es decir, se trata de una red neuronal con funciones de visopercepción.

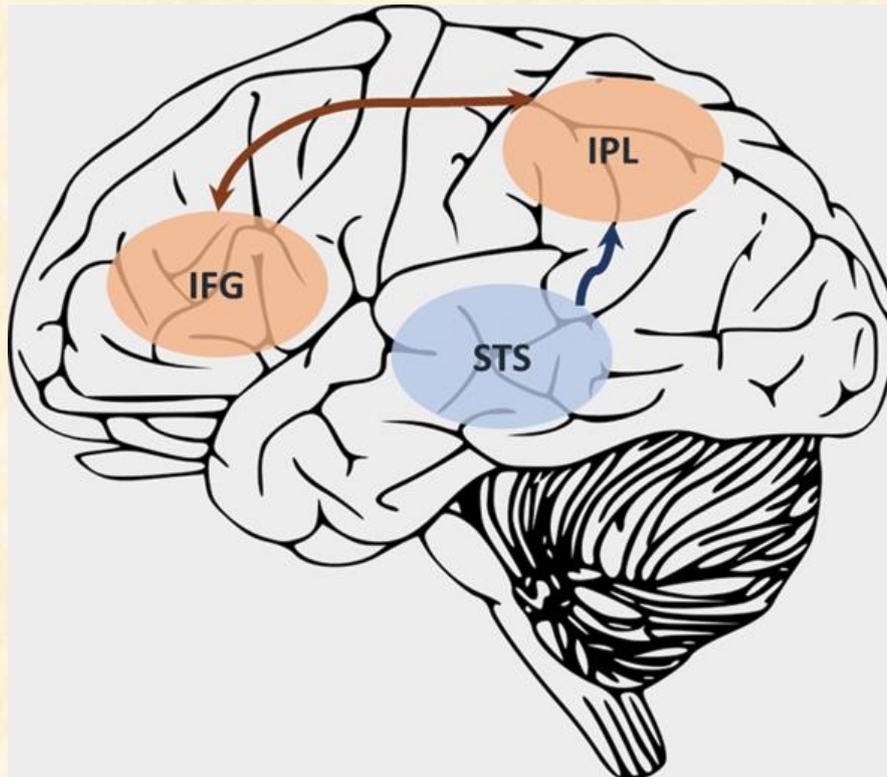


Figura 1. Sistema de neuronas espejo (MNS). Actualmente existen evidencias sobre su existencia en el cerebro humano, fundamentalmente a nivel de la corteza premotora, incluyendo la circunvolución frontal inferior, y a nivel del lóbulo parietal inferior. La circunvolución temporal superior no forma parte de dicho sistema, pero es un centro que intercambia información con los mencionados previamente. Elaboración propia.

La reconsideración de la teoría motora de la percepción del habla (Liberman y Mattingly, 1985) y la teoría del sistema de neuronas espejo (Rizzolatti y Arbib, 1998; Rizzolatti y Craighero, 2004) han llevado a investigar el rol del procesamiento somatomotor en la percepción del habla, incluyendo la percepción visual (Hasson et al., 2007, Skipper et al., 2007a, Matchin et al., 2014). En este contexto, una pregunta que se ha formulado ha sido en qué estructuras de la corteza frontal se representa esta percepción y cómo se distribuye dicha actividad (Callan et al., 2014). Así, tanto los sistemas auditivos como somatomotores han sido estudiados por sus relaciones funcionales con las estructuras implicadas en la representación del habla visual.

Una forma muy importante de habla visual es la lectura de labios. El estudio de la lectura labiofacial (LLF) en la percepción del habla ha ido cobrando importancia en la investigación básica y aplicada desde que McGurk y MacDonald (1976) demostraron que

la LLF no es un epifenómeno en el procesamiento normal del habla (Dodd y Campbell, 1987 y Campbell, Dodd y Burnham, 1998, para dos exhaustivas revisiones sobre el tema). El conocido como efecto McGurk es un fenómeno perceptivo que demuestra una interacción entre la audición y la visión en la percepción del habla. La información visual que una persona obtiene al ver a alguien hablar cambia la forma en que escucha ese sonido. Este efecto, pone en evidencia el principio del dominio visual en nuestro cerebro, en especial el conflicto de información entre ambos sentidos, generando una ilusión. La LLF se puede considerar una técnica para la adquisición del conocimiento mediante la vista, especialmente en personas con problemas auditivos. Todos hacemos uso de ella de un modo inconsciente y tan sólo nos percatamos cuando nos enfrentamos a condiciones anómalas. Es pues, algo intuitivo que todos realizamos para mejorar y/o facilitar la comprensión del mensaje oral, aunque no contemos con problema de audición alguno. Podemos considerar la LLF como una técnica para alcanzar el desarrollo del lenguaje verbal, así como para lograr la comunicación en sujetos con percepción auditiva alterada.

La LLF también se ha estudiado con técnicas experimentales de resonancia magnética funcional (fMRI), demostrándose que activa las áreas corticales auditivas (Calvert et al., 1997). En otros estudios, se ha demostrado que en situaciones de pérdida auditiva innata o adquirida en los primeros meses de vida, las áreas corticales auditiva y visual alteran su morfología hasta el punto de que neuronas auditivas funcionan como visuales, o dicho de otro modo, son “reconvertidas”. El dominio del lenguaje oral facilita y mejora la LLF, pero esta por sí misma no mejora el desarrollo lingüístico. Sólo se puede ver en los labios lo que de antemano se conoce. Estudios en este campo evidencian que los buenos lectores de labios obtienen mejores resultados en el uso de implantes y prótesis convencionales.

Sin embargo, el papel del sistema visual en la representación del habla ha recibido menos atención que el papel de las vías auditivas del habla. Lo que es particularmente curioso es que el estímulo visual del habla es muy rico desde el punto de vista psicolingüístico, sin embargo, existe poca investigación que se haya centrado en cómo el sistema visual representa la estructura psicolingüística visible. Existen múltiples estudios que demuestran que el habla activa áreas en las vías visuales (Campbell, 2008, 2011), pero no existen investigaciones que evalúen cómo se modula la actividad cerebral durante la LLF.

3-OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es comparar la actividad cerebral durante la producción de una tarea de denominación y la observación de la misma tarea, con diferentes condiciones visuales, así como comparar el patrón de actividad cerebral en las áreas de percepción y producción del lenguaje oral durante la lectura de labios, en función de que se acompañe o no de una referencia visual.

4-METODOLOGÍA

Sujetos

Participaron un total de 21 sujetos sanos (edad media: 23.5 años), diestros, sin antecedentes de enfermedades neurológicas o psiquiátricas. El estudio fue aprobado por el comité ético de investigación clínica (CEIC) del Hospital Universitario de Canarias.

Estudio de fMRI

Se realizó un estudio de fMRI con un equipo de 3T, midiendo las variaciones en la señal BOLD. Para ello, se usaron 3 paradigmas con un diseño en bloques (un paradigma de denominación y dos de observación), que fueron expuestos a través de un presentador de estímulos compatible con resonancia magnética (Visuastim). Previa a la secuencia funcional, se adquirieron imágenes anatómicas potenciadas en T1 para cada sujeto. En primer lugar, se determinó la actividad cerebral generada en cada paradigma respecto a su condición de control. Posteriormente, se realizó una comparación entre ambas condiciones de observación y, por último, se determinaron los clústeres de actividad común entre la tarea de denominación y cada una de las tareas de observación.

Los tres paradigmas (3 runs) utilizados fueron los siguientes:

-Denominación de objetos (Figura 2). Los sujetos denominaban los diferentes objetos de forma sucesiva cuando aparecían acompañados de un punto verde en la pantalla. La condición de control consistía en la observación de esos objetos sin

denominarlos cuando aparecían acompañados de un punto rojo. Todos estos objetos formaban parte del test de Boston (Goodglass y Kaplan, 1972).

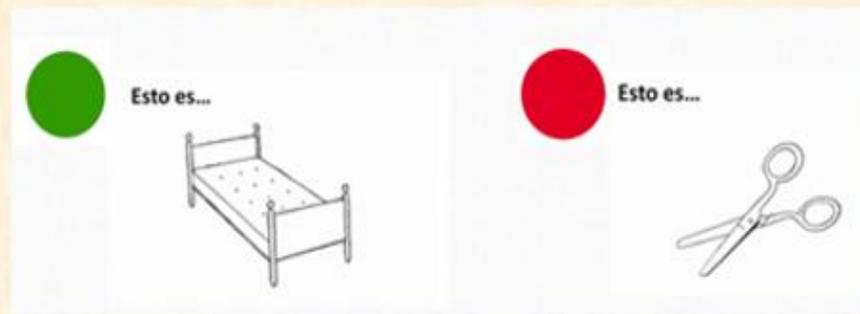


Figura 2. Denominación de objetos. Se muestran algunas de las imágenes utilizadas durante la realización del paradigma, así como los puntos verde y rojo utilizados para diferenciar la tarea y condición de control, respectivamente. Elaboración propia.

-Observación 1 (OBS1) (Figura 3): Observación de la cara de dos actores denominando los mismos objetos sin ningún tipo de sonido, pero con una imagen del objeto que se denomina. La condición de control consistía en la visualización de los labios de los mismos actores emitiendo una serie de sílabas de forma repetitiva que no guardaban relación alguna con la imagen acompañante (Ej: /ta/ta/ta/ta/; /la/la/la/la/).



Figura 3. Observación 1. Visualización de la cara de dos actores denominando los objetos que se acompañan en la imagen. Elaboración propia.

-Observación 2 (OBS2) (Figura 4): Observación de la cara de dos actores denominando los mismos objetos sin ningún tipo de sonido y sin imagen del objeto que se denomina. La condición de control consistía en visualizar los labios de esos mismos actores emitiendo sílabas de forma repetitiva (como en el paradigma anterior pero sin imagen acompañante).

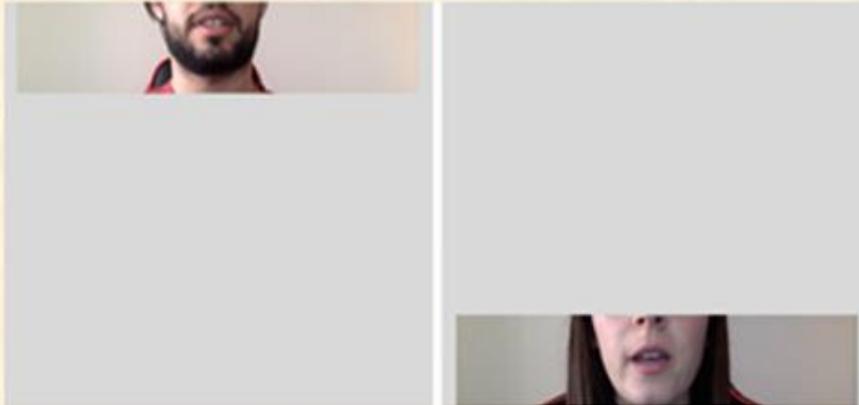


Figura 4. Observación 2. Visualización de la cara de dos actores denominando los mismos objetos sin referencia visual del objeto que se denomina. Elaboración propia.

❖ PREPROCESADO Y ANÁLISIS DE LA IMAGEN:

El procesamiento consistió en un realineado de las imágenes funcionales, seguido de un corregistro de las imágenes funcionales con cada estudio anatómico. Posteriormente, se realizó una normalización desde cada anatómico a un anatómico estándar con coordenadas MNI (Montreal Neurological Institute), así como un suavizado aplicando un filtro espacial gaussiano de 8x8x8. El procesamiento estadístico se llevó a cabo usando el modelo general lineal dado por el software SPM (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>), que permite comparar los bloques de una tarea con la condición de control. Finalmente la visualización se llevó a cabo en XjView v9.0 y mricron.

5-RESULTADOS:

-Denominación de objetos

La denominación de los diferentes objetos condujo a una extensa activación bilateral de la corteza motora primaria (M1) y de regiones temporales, así como de áreas premotoras (incluida la parte más posterior del gyrus frontal inferior [IFG]), a nivel parietal inferior, del cerebelo y una marcada activación del área motora suplementaria (figura 5).

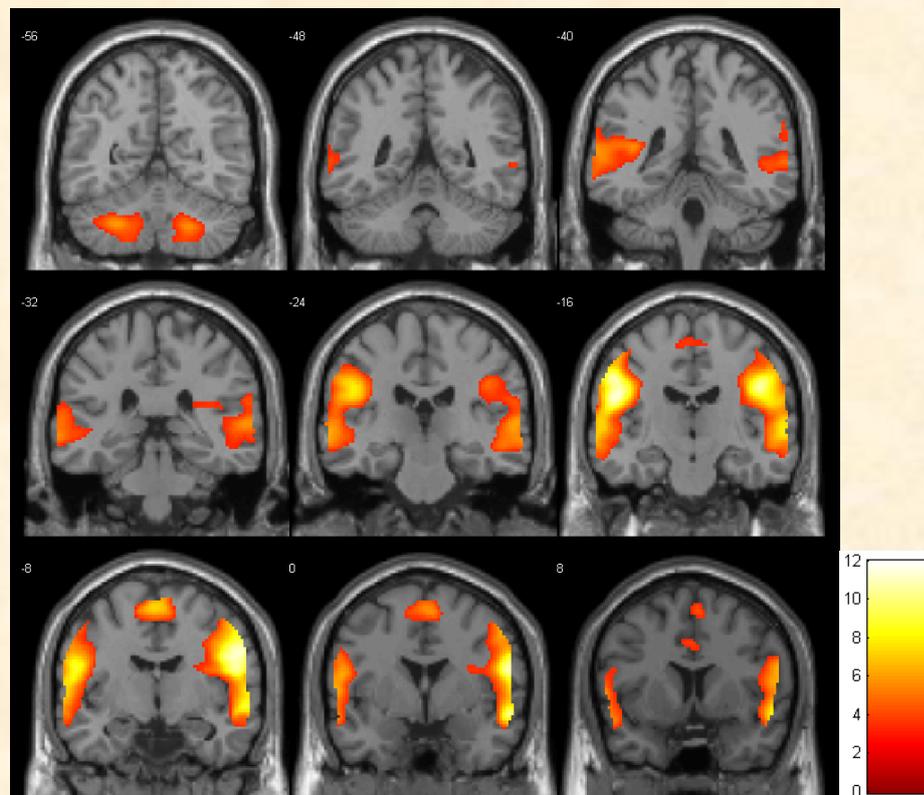


Figura 5. Ejecución. Se muestra la actividad cerebral generada durante la denominación de objetos. Elaboración propia.

-Condiciones de observación (OBS1 Y OBS2)

La lectura de labios acompañada de una referencia visual en comparación con su condición de control condujo a una mayor actividad a nivel del gyrus temporal medio (MTG) izquierdo (región relacionada con el circuito involucrado en la comprensión oral) (figura6).

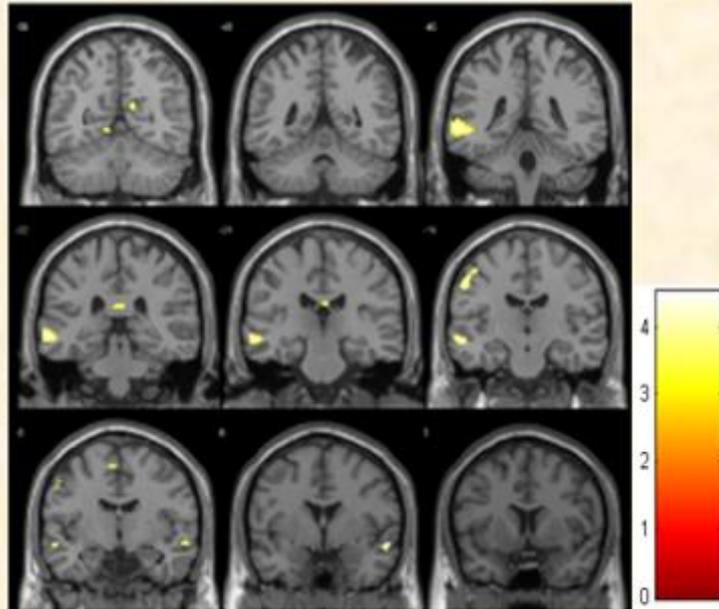


Figura 6. Observación 1 vs control. Elaboración propia.

Durante la lectura de labios sin referencia visual acompañante, además de una mayor actividad a nivel del gyrus temporal medio (MTG) izquierdo, se observó una mayor actividad a nivel del gyrus frontal medio (MFG), área motora suplementaria (SMA), gyrus precentral (PreCG) y gyrus frontal inferior (IFG) del hemisferio izquierdo (figura 7). El IFG forma parte del circuito involucrado en la comprensión oral. El resto de regiones forman parte del conjunto de áreas que se encargan de la producción del lenguaje oral.

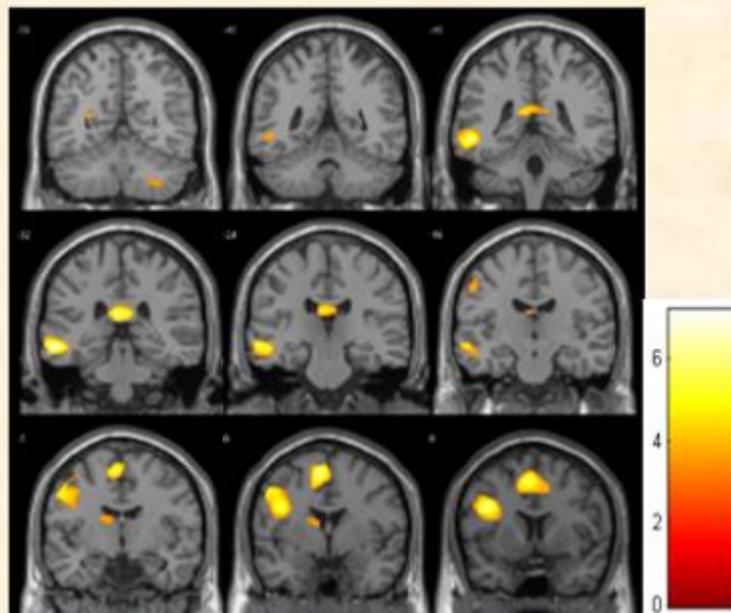


Figura 7. Observación 2 vs control. Elaboración propia.

-Comparación (A): OBS1vsOBS2 y comparación (B): OBS1>OBS2; OBS2>OBS1 (Figura 8)

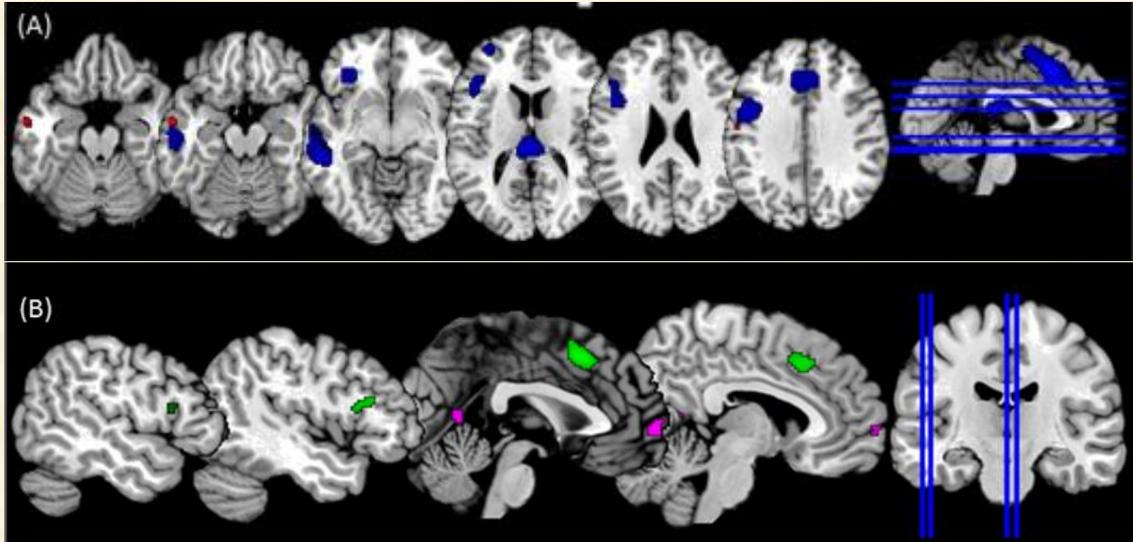


Figura 8. Comparación (A): OBS1 vs OBS2. En azul representada la activación cerebral durante la lectura de labios sin referencia visual acompañante. En rojo representada la activación cerebral durante la lectura de labios con referencia visual acompañante. Se puede observar como es más extensa la activación cerebral durante la lectura de labios sin referencia visual (azul), implicando mayor número de áreas cerebrales. Comparación (B): OBS1>OBS2 (violeta: mayor actividad a nivel del gyrus frontal superior izquierdo durante la lectura de labios con referencia visual, en comparación con aquella sin referencia); OBS2>OBS1 (verde: mayor actividad a nivel del gyrus frontal medial izquierdo y del gyrus frontal medial derecho durante la lectura de labios sin referencia visual, en comparación con aquella con referencia). Elaboración propia.

-Análisis de conjunción: actividad cerebral común entre la tarea de denominación y OBS1/OBS2

Se realizaron dos análisis de conjunción: el primero de ellos entre la tarea de denominación y OBS1 (tabla 1); y el segundo entre la tarea de denominación y OBS2 (tabla 2). Los clústeres de actividad común eran más extensos con la condición OBS2, localizándose a nivel frontal e incluyendo M1, IFG y SMA (figura 9).

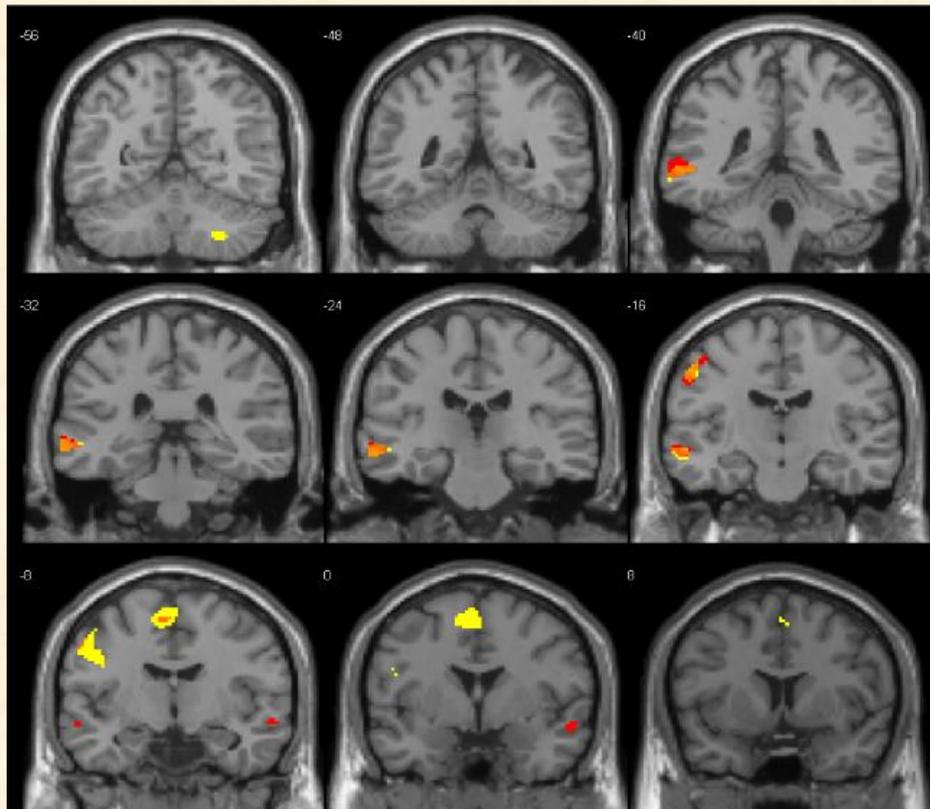


Figura 9. Análisis De Conjuración. En rojo se representa la actividad cerebral común durante las tareas de ejecución y OBS1. En amarillo se representa la actividad cerebral común durante las tareas de ejecución y OBS2. Elaboración propia.

Hemisferio	Área	T	Z	x	y	z
Derecho	Gyrus temporal medio	4,52	4,21	58	0	-12
Izquierdo	Gyrus temporal medio	4,31	4,04	-62	-20	-8
	Gyrus temporal medio	4,25	3,99	-64	-34	-4
	Gyrus precentral	4,25	3,99	-54	-14	42
	Gyrus postcentral	3,70	3,52	-48	-16	52
	Gyrus frontal medial	3,55	3,39	-6	-8	60

Tabla 1. Denominación vs Observación 1: clústeres de actividad común: gyrus temporal medio del hemisferio derecho; gyrus temporal medio, gyrus precentral, gyrus postcentral y gyrus frontal medial del hemisferio izquierdo. Elaboración propia.

Hemisferio	Área	T	Z	x	y	z
Izquierdo	Gyrus frontal medial	6,43	5,67	-6	-6	60
	Gyrus temporal medio	5,09	4,67	-62	-24	-8
		4,64	4,31	-66	-32	-6
		4,03	3,80	-60	-40	-2
	Gyrus precentral	4,72	4,38	-54	-10	42
		3,62	3,45	-42	-10	56
	Gyrus frontal inferior	3,35	3,21	-50	4	24
Derecho	Cerebelo	4,00	3,78	6	-74	-44
	Gyrus cingular	3,57	3,41	12	14	42
	Cerebelo	3,53	3,37	28	-56	-46
Izquierdo	Gyrus cingular	3,49	3,33	-2	10	40

Tabla 2. Denominación vs Observación 2: clústeres de actividad común: gyrus frontal medial, gyrus temporal medio, gyrus precentral, gyrus frontal inferior y gyrus cingular del hemisferio izquierdo; a nivel del cerebelo y gyrus cingular del hemisferio derecho. Elaboración propia.

6.- DISCUSIÓN

La comparación de la actividad cerebral durante una tarea de denominación y la misma tarea de observación con diferentes condiciones visuales, condujo a la presencia de clústeres de actividad común, siendo más extensos cuando no existe una referencia visual durante la tarea de observación. En este sentido, la presencia de una referencia visual durante la lectura de labios produce una disminución de la actividad cerebral a nivel del MFG e IFG izquierdos, así como del SMA, en comparación con la ausencia de la misma.

Los clústeres de actividad común durante las tareas de denominación y observación se corresponden con áreas cerebrales pertenecientes al sistema de neuronas espejo (neuronas que se activan tanto durante la realización de una acción, como durante la observación de la misma acción). Esto reafirma la existencia de neuronas que mantienen estrechas relaciones funcionales tanto con el sistema motor como con el sistema visual, entre otros (Gallese et al. 1996; Rizzolatti and Craighero 2004; Iacoboni et al. 2005; Iacoboni and Mazziotta 2007; Cattaneo and Rizzolatti 2009). Permite reafirmar la existencia de esta red neuronal con funciones de visopercepción, poniendo en evidencia su papel en la percepción visual del lenguaje, y la existencia de condiciones que modulan esa percepción, como la asociación de una referencia visual, que produce una facilitación en la percepción visual del lenguaje.

El estudio de estas regiones cerebrales y sus funciones, además de proporcionar un mayor conocimiento sobre las áreas cerebrales que participan tanto en la producción como en la percepción del lenguaje oral, nos permite obtener información sobre qué áreas cerebrales están involucradas en la percepción visual del lenguaje a nivel cortical y cuáles son sus relaciones funcionales con el resto de redes.

Todo ello ofrece un amplio espectro de posibles aplicaciones, como por ejemplo la rehabilitación de pacientes con afasia motora, mediante la visualización de los movimientos a realizar, estimulando varias de esas zonas encargadas de llevar a cabo esos mismos movimientos. Conociendo de antemano la activación que genera cada una de estas tareas, se pueden establecer protocolos de rehabilitación que se individualizarían en función de los objetivos que tengamos con cada paciente. Se podría usar una tarea que genere una activación más localizada (ej: lectura de labios acompañada de una referencia visual), en aquellos momentos en los que se pretenda una menor fatiga durante la prueba o la activación de un área concreta. En aquellos casos en los que se pretenda conseguir una activación más generalizada, implicando mayor número de áreas cerebrales, se podría utilizar otro tipo de tarea (ej: lectura de labios sin referencia visual), teniendo en cuenta que ésta generará un mayor cansancio o fatiga para el paciente. Además de tener una importancia notable desde el punto de vista neuropsicológico y psicolingüístico, también se debe tener en cuenta la importancia de estas aportaciones a otros campos de las neurociencias en relación al funcionamiento de las redes neuronales del cerebro humano.

7-CONCLUSIÓN

Existen áreas cerebrales implicadas tanto en la producción del lenguaje oral como en la percepción visual del lenguaje, localizándose principalmente a nivel frontal e incluyendo M1, IFG y SMA. Estas áreas cerebrales están relacionadas con el sistema de neuronas espejo.

La asociación de una referencia visual produce una modulación en la percepción visual del lenguaje. La observación de la denominación de un objeto en ausencia de una referencia visual del objeto que se denomina, conduce a una actividad cerebral más extensa en las regiones relacionadas con la producción del lenguaje, en comparación con aquella con referencia visual.

8-REFERENCIAS

- Callan, D. E., Jones, J. A., and Callan, A. (2014). Multisensory and modality specific processing of visual speech in different regions of the premotor cortex. *Front. Psychol.* 5:389. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00389
- Calvert, G. A., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Campbell, R., Williams, S. C., McGuire, P. K., et al. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science* 276, 593–596. doi: 10.1126/science.276.5312.593
- Campbell R, Dodd B, Burnham D (1998) *Hearing by Eye II: Advances in the Psychology of Speech-Reading and Audio-visual Speech*. Hove: Psychology Press.
- Campbell, R. (2008). The processing of audio-visual speech: empirical and neural bases. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 363, 1001–1010. doi: 10.1098/rstb.2007.2155
- Campbell, R. (2011). Speechreading and the Bruce-Young model of face recognition: early findings and recent developments. *Br. J. Psychol.* 102, 704–710. doi: 10.1111/j.2044-8295.2011.02021.x
- Cattaneo L, Rizzolatti G (2009). The mirror neuron system. *Arch Neurol* 66:557–560
- Cuetos Vega F, Aguado Alonso G, Belinchón Carmona M, Domínguez Martínez A, González-Nosti M, Igoa González JM, López-Escribano C, Martín-Loeches Garrido M, Marulanda Páez E, Rodríguez-Ferreiro J. *Neurociencia del Lenguaje. Bases neurológicas e implicaciones clínicas*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2012.
- Dodd and Campbell (1987) B. Dodd and R. Campbell, editors. *Hearing by Eye: The Psychology of Lip-reading*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Diéguez-Vide F, Peña-Casanova J. *Cerebro y Lenguaje. Sintomatología neurolingüística*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2012.
- Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G (1996) Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119(Pt 2):593–609
- Goodglass, H., & Kaplan, E. (1972). *The Assessment of Aphasia and Related Disorders*. Philadelphia: Lea & Febiger
- Hasson, U., Skipper, J. I., Nusbaum, H. C., and Small, S. L. (2007). Abstract coding of audiovisual speech: beyond sensory representation. *Neuron* 56, 1116–1126. doi: 10.1016/j.neuron.2007.09.037
- Iacoboni M, Molnar-Szakacs I, Gallese V et al (2005) Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biol* 3:e79. doi:10.1371/journal.pbio.0030079
- Iacoboni M, Mazziotta JC (2007) Mirror neuron system: basic findings and clinical applications. *Ann Neurol* 62:213–218. doi:10.1002/ana.21198
- Klatt, D. (1979). Speech perception: a model of acoustic-phonetic analysis and lexical access. *J. Phon.* 7, 279–312
- Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., and Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychol. Rev.* 74, 431–461. doi: 10.1037/h0020279

- Liberman, A. M. (1982). On finding that speech is special. *Am. Psychol.* 37, 148–167. doi: 10.1037/0003-066X.37.2.148
- Liberman, A. M., and Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 21, 1–36. doi: 10.1016/0010-0277(85)90021-6.
- Lynne E. Bernstein, Einat Liebenthal. Neural pathways for visual speech perception. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 2014 [citado 03 de Marzo de 2017]. *Front. Neurosci* 8 (386): 18. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00386>
- Matchin, W., Groulx, K., and Hickok, G. (2014). Audiovisual speech integration does not rely on the motor system: evidence from articulatory suppression, the McGurk effect, and fMRI. *J. Cog. Neurosci.* 26, 606–620. doi: 10.1162/jocn_a_00515
- McGurk, H., and MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature* 264, 746–748. doi: 10.1038/264746a0
- Plata-Bello J, Modroño C et al (2016). The mirror neuron system also rests. *Brain Struct Funct.* doi 10.1007/s00429-016-1335-5
- Rizzolatti, G., and Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21, 188–194. doi: 10.1016/S0166-2236(98)01260-0
- Rizzolatti, G., and Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 169–192. doi: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230
- Skipper, J. I., Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H. C., and Small, S. L. (2007a). Speech-associated gestures, Broca's area, and the human mirror system. *Brain Lang.* 101, 260–277. doi: 10.1016/j.bandl.2007.02.008
- Stevens, K. N. (1981). “Constraints imposed by the auditory system on the properties used to classify speech sounds: Data from phonology, acoustics, and psychoacoustics,” in *The Cognitive Representation of Speech*, eds T. Myers, J. Laver, and J. Anderson (Amsterdam: North Holland; Elsevier Science Ltd.), 61–74

✓ **Agradecimientos:**

Quiero agradecer la ayuda prestada durante la realización de este “Trabajo de Fin de Grado” a mis tutores, el Dr. Julio Plata Bello, por su implicación y su buena predisposición en todo momento, al Dr. José Luis González Mora, así como a Estefanía Hernández Martín y José María Pérez González. También agradezco la participación a cada uno de los voluntarios que han hecho posible la realización de este estudio.