VI Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología XXI Jornadas de Investigación Décimo Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR. Facultad de Psicología - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2014.

Bases neurales de la escritura: una revisión.

Miranda, María Agustina y Abusamra, Valeria.

Cita:

Miranda, María Agustina y Abusamra, Valeria (2014). *Bases neurales de la escritura: una revisión. VI Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología XXI Jornadas de Investigación Décimo Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR. Facultad de Psicología - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.*

Dirección estable: https://www.aacademica.org/000-035/144

ARK: https://n2t.net/ark:/13683/ecXM/OnY

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto*. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: https://www.aacademica.org.*

BASES NEURALES DE LA ESCRITURA: UNA REVISIÓN

Miranda, María Agustina; Abusamra, Valeria
Facultad de Filosofía y Letras y Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Hospital Interzonal de Agudos "Eva Perón"

RESUMEN
Al igual que en todos los campos en los que se estudia la habilidad de la escritura, en las últimas dos décadas se han producido una gran cantidad de investigaciones de neuroimágenes funcionales dirigida a la delimitación de las bases cerebrales de la comprensión del lenguaje escrito (lectura) pero relativamente poca atención ha recibido la investigación de la producción de la lengua escrita. Esta tendencia ha comenzado a modificarse en los últimos años, en los que se ha desarrollado un importante número de investigaciones de neuroimágenes funcionales en este dominio. Los hallazgos de estos estudios, junto con los más tradicionales que examinan correlaciones entre lesiones cerebrales y déficits, han aportado importantes conocimientos sobre la neurobiología de la producción de la lengua escrita. El estudio de lesiones provee de una buena base sobre los sustratos neurales de la producción escrita, pero resultan un desafío debido a que las lesiones no son siempre controlables. Los estudios de neuroimágenes difieren en cuanto a una serie de variables controladas, tales como tipos de tareas experimentales y de control, las modalidades de neuroimagen, etc. Es a partir de esta heterogeneidad que nos proponemos describir e integrar los hallazgos de estos estudios.

Palabras clave
Escritura, Estudios en neuroimágenes, Estudios en lesión cerebral

ABSTRACT
NEURAL BASIS OF WRITTEN WORD PRODUCTION: A REVIEW
As in all fields in which the skill of writing is studied, in the past two decades, studies have produced a wealth of research of functional neuroimaging led to the delineation of brain bases of written language comprehension (reading) but relatively little attention has been focus on investigating the production of written language. This trend has begun to change in recent years, and now we count whit a number of functional neuroimaging investigations in this domain. The findings of these studies, along with more traditional examining correlations between brain injury and deficits, have provided important insights into the neurobiology of written language production. The injury study provides good basis on the neural substrates of written production, but is a challenge because the lesions are not always controllable. Neuroimaging studies differ in a number of subsidiaries, such as types of experimental tasks and control variables, neuroimaging modalities, etc. It is from this heterogeneity we propose to describe and integrate the findings of these studies.

Key words
Spelling, Neuroimaging studies, Brain injury studies

INTRODUCCIÓN
Como todas las actividades cognitivas, las tareas en las que la escritura está involucrada -desde la escritura de letras, sílabas y palabras hasta la escritura productiva- dependen del buen funcionamiento cerebral.
Existen diversas razones por las que resulta importante entender los sustratos neurales de la producción de la lengua escrita.
En primer lugar, cuando ésta es eficaz, sirve a los fines de la *comunicación* y para la *actuación eficaz* en la vida cotidiana (por ejemplo, llevar adelante un calendario, tomar mensajes, rendir exámenes escritos, tomar apuntes, etc.).
En segundo lugar, aunque suele afirmarse que la lectura es más necesaria que la escritura, durante estos últimos años su importancia ha aumentado debido al auge de las comunicaciones electrónicas (correo electrónico, Internet, mensajes de texto, etc.), lo que implica que un déficit en la escritura puede resultar en un impacto importante o significativo en los individuos, tanto en aquellos que lo han adquirido por una lesión cerebral como en aquellos niños que tienen disgrafia del desarrollo.
En tercer lugar, la comprensión de los sustratos neurales de la producción de la lengua escrita puede ayudar en los pronósticos e incluso en la forma de intervención de estas dificultades en la escritura.
Por último, el procesamiento del lenguaje escrito es un dominio interesante desde una perspectiva neurobiológica básica: dado que el lenguaje escrito es una invención relativamente reciente de la humanidad -que surgió hace unos 5000 años y no es utilizada por toda la población humana sino hasta hace muy poco tiempo (la alfabetización como la conocemos hoy en día es más bien desde el siglo XX en adelante)-, es poco probable que haya tenido impacto en el genoma humano y, en consecuencia, es improbable que exista una *marca* genética específica para los circuitos neuronales específicos del procesamiento del lenguaje escrito. Sin embargo, con la instrucción, la mayoría de las personas aprenden a comprender y producir el lenguaje escrito con notable facilidad. Esto nos permite afirmar que el lenguaje escrito ofrece una oportunidad para investigar la capacidad del cerebro para desarrollar los conocimientos en habilidades que no son específicamente predeterminadas biológicamente.

Al igual que en todos los campos en los que se estudia la habilidad de la escritura, en las últimas dos décadas se han producido una gran cantidad de investigaciones de neuroimágenes funcionales dirigida a la delimitación de las bases cerebrales de la *comprensión* del lenguaje escrito (lectura) pero relativamente poca atención ha recibido la investigación de la *producción* de la lengua escrita. Esta tendencia ha comenzado a modificarse en los últimos años, en los que se ha desarrollado un importante número de investigaciones de neuroimágenes funcionales en este dominio. Los hallazgos de estos estudios, junto con los más tradicionales que examinan correlaciones entre lesiones

cerebrales y déficits, han aportado importantes conocimientos sobre la neurobiología de la producción de la lengua escrita.

El estudio de lesiones provee de una buena base sobre los sustratos neurales de la producción escrita, pero resultan un desafío debido a que las lesiones no son siempre controlables, muchas veces son muy amplias (precisamente la precisión de la localización de la lesión es lo que hace que este tipo de estudios sea dificultoso) y porque debe tomarse en cuenta la reorganización funcional cerebral. Es importante, entonces, el complemento del estudio con técnicas de neuroimágenes en sujetos sanos y sin dificultad. Este esfuerzo ha sido fructífero en los últimos años en los que muchos estudios han examinado algunos o todos los componentes de los procesos que están involucrados en la escritura mediante fMRI (Resonancias magnéticas Funcionales) y estudios PET (Tomografías por emisión de Positrones).
Los estudios de neuroimágenes difieren en cuanto a una serie de variables controladas, tales como tipos de tareas experimentales y de control, las modalidades de neuroimagen, etc. Es a partir de esta heterogeneidad que nos proponemos describir e integrar los hallazgos de estos estudios.

BASES NEURALES

Estudios en pacientes con lesión cerebral

Las regiones neuroanatómicas que soportan los componentes centrales y periféricos de la escritura fueron postuladas, en primer lugar, sobre la base de estudios neuropsicológicos de formas distintas de agrafias (Roeltgen, 1994; Rapcsak & Beeson, 2000, 2002). En estos casos, el daño cerebral afecta selectivamente alguna de las etapas del procesamiento del lenguaje escrito.
Dos contribuciones históricas marcan los primeros esfuerzos para identificar los sustratos neurales de la escritura. En 1891, Dejerine sugirió que las representaciones ortográficas de palabras familiares se almacenaban en la circunvolución angular dominante en forma de imágenes visuales. Con respecto a los componentes periféricos de la escritura, Exner (1881) propuso un centro de cortical para controlar los movimientos calificados para escritura a mano situado al pie de la segunda convolución frontal.
Existen además, datos de pruebas neuropsicológicas sobre la posible localización de conocimiento ortográfico provienientes de individuos con agrafia léxica, un síndrome caracterizado por el uso de estrategias de ortografía fonológicas debido a daños en representaciones ortográficas (Beauvois y De'rouesne, 1981). Los individuos con agrafia léxica tienen dificultad para escribir palabras irregulares pero se pueden escribir las palabras con ortografía regular y no palabras apoyándose en reglas de correspondencia grafema-fonema. El apoyo en las estrategias fonológicas en detrimento del uso del conocimiento ortográfico se evidencia por la prevalencia de los errores fonológicamente plausibles de ortografía (por ejemplo, el comb - Kome). La mayoría de los casos de agrafia léxica se asocian con el daño en la corteza extrasilviana temporo-parietal izquierda, con relativa preservación de las regiones perisilvianas que apoyarían los procedimientos de ortografía fonológicos (Beauvois y De'rouesne, 1981). En convergencia con la propuesta de Dejerine, el daño ha sido observado en y alrededor de la circunvolución angular izquierda (BA 39) en una serie de pacientes. Sin embargo, la agrafia léxica también se ha asociado con lesiones que implican regiones más ventrales incluyendo el giro medio posterior y circunvoluciones temporales inferiores y el giro fusiforme (BA 37) (Croisile, Trillet, Laurent, Latombe, y Schott, 1989; Patterson y Kay, 1982; Rapcsak, Rubens, y Laguna, 1990).
En contraste con las pruebas neuropsicológicas que muestran un papel crítico de la corteza temporo-parietal en la ortografía léxica, Hillis et al. (2002), sugirieron que el área de Broca juega un papel en el acceso a las representaciones ortográficas. En un estudio de pacientes con ictus hiperagudo (dentro de 24 horas del accidente cerebrovascular) mediante la difusión de resonancia magnética y gammagrafía de perfusión, encontraron una correlación significativa entre la hipoperfusión y / o infarto de la corteza frontal inferior izquierda (BA 44) y deterioro del rendimiento en denominación escrita y en la ortografía de las palabras reales irregulares. Al menos algunos de los participantes mostraron dependencia de reglas de correspondencia grafema-fonema, comprobados por errores fonológicamente plausibles típicos de agrafia léxica. La recuperación de la ortografía se documentó tras la reperfusión del área de Broca, lo que lleva a Hillis et al. (2002) a concluir que esta región parece ser esencial para acceder a representaciones ortográficas de al menos algunos tipos de palabras. Esta relación no fue evidente en todos los participantes cuyo desempeño escrito implicaba deterioro de las representaciones ortográficas, ya que sólo 8 de los 17 implicados mostraron perfusión / difusión o anomalías en el área de Broca, por lo que la contribución específica de esta región a la ortografía léxica sigue sin estar clara.

Estudios sobre procesos periféricos en lesión cerebral

La información sobre los sustratos neurales de procedimientos periféricos de la escritura proviene de estudios neuropsicológicos de los individuos que sufrían de un control motor deficiente para la escritura a mano. De particular interés son los casos de agrafia apráxica, en el que formación pobre de las letras no puede explicarse por el deterioro sensoriomotor más elemental que afecta a la escritura manuscrita (Rapcsak, 1997; Rapcsak y Beeson, 2000; Roeltgen, 1993; Roeltgen, Sevush, y Heilman, 1983). El problema que subyace en agrafia apráxica parece ser una alteración de programas motores gráficos que contienen información acerca de las características espacio-temporales de los movimientos de la mano necesarios para formar las letras. El sitio neuroanatómico más común de daño asociado con la agrafia apráxica es la región que rodea el surco intraparietal izquierdo, incluyendo el lóbulo parietal superior y las porciones superiores del supramarginal y circunvoluciones angulares (Rapcsak y Beeson, 2000). De acuerdo con la propuesta de Exner, la agrafia apráxica también puede deberse a daños en el área premotora dorsolateral situada a los pies de la segunda circunvolución frontal. Por último, las características de la agrafia apráxica también se han documentado por daños en el área motora suplementaria (SMA). Tomados en conjunto, los datos sugieren que la lesión de la programación motora para la escritura está mediada por una red neuronal distribuida que incluye regiones superiores parietales así como dorsolaterales y la corteza premotora medial (Rapcsak y Beeson, 2002).

La producción de las letras escritas requiere al menos tres etapas sucesivas de planificación: la activación de la representación grafémica abstracta de la letra a escribir, la selección del alógrafo apropiado y la planificación gráfico-motora que implica el desarrollo de planes específicos motores (Ellis, 1982; Margolin, 1984; Rapp y Caramazza, 1997).
Algunas personas exhiben una dificultad para controlar si las letras con las que escriben están en mayúsculas o en minúsculas, manifestando en su escritura mezcla de ambos tipos (Semenza et al., 1998). Otros pacientes han reportado dificultades en la escritura de algún tipo específico de modalidad o de las mayúsculas y minúsculas por separado (Menichelli et al., 2008). Estos hallazgos

muestran que las representaciones de estos tipos de modalidades están organizadas funcionalmente en el cerebro lo suficientemente independientes de modo que pueda afectarse selectivamente por daño cerebral.

Para ilustrar los déficits en alguna de estas etapas, Menichelli, Rapp y Semenza (2008) describen un estudio de un individuo con agrafia adquirida que afecta a la etapa de elección alográfica.

La característica principal de la agrafia alográfica es que el individuo puede escribir en alguna modalidad (por ejemplo, tipeo, manuscrito), en mayúscula o minúscula, cursiva o imprenta, pero no en otra.

Estos autores reportan el caso de un paciente diagnosticado con demencia frontotemporal que exhibía una dificultad severa escribiendo tanto letras como palabras en letra mayúscula, mientras que el mismo estímulo, en minúscula, era escrito correctamente. En contraste, esta paciente podía reconocer las mismas palabras y letras en mayúscula. Este caso presenta un fuerte soporte de la independencia de las distintas formas y tipos de letras, provee información sobre que la producción de las formas de las letras no requiere del acceso a las distintas formas visuales de ellas y además, provee información también sobre la relación entre la producción y la percepción de las formas de las letras. Este hallazgo se replica en el caso reportado por Venneri et al. (2002).

La paciente tenía 81 años y 5 años de escolarización formal. En relación con su producción motora, no había signos de apraxia ideomotora. Como mencionábamos, MN leía fluidamente en mayúscula imprenta, y podía escribir con relativa facilidad en minúscula cursiva. Sin embargo, la paciente no podía escribir en mayúscula imprenta. Incluso podía escribir una gran cantidad de letras en mayúscula cursiva. Se evaluaron, asimismo, 21 sujetos como control, igualados en edad y escolaridad con MN, quienes no mostraron alguna diferencia en su habilidad de escritura en imprenta mayúscula y minúscula cursiva.

MN fue evaluada, entonces, mediante 13 tareas: dictado de palabras y no palabras, escritura de palabras y no palabras con letras móviles, deletreo oral, copia directa de palabras y no palabras, escritura al dictado de letras aisladas, copia trascodificada de palabras y no palabras, categorización de letras, denominación de letras aisladas, lectura de palabras y no palabras, copia diferida de letras y palabras (minúscula cursiva vs. imprenta mayúscula), completamiento de la última letra de cada palabra (en cursiva o en imprenta; mayúscula o minúscula), completamiento de letra en una serie (presentadas oralmente) y juicios de imaginería de las letras.

Los resultados de todas las pruebas muestran que MN, entonces, tenía una completa inhabilidad para producir letras en imprenta mayúscula en un contexto de preservación intacta de la producción de letras en minúscula cursiva y un adecuado rendimiento en producción de mayúsculas cursivas. Además, presentaba una disociación entre producción de mayúsculas imprentas afectada y reconocimiento conservado. Además, presentaba un efecto modesto de cueing/priming para acceder a las formas de las letras afectadas y, por último, MN era incapaz de explicitar la imaginería de las letras y de objetos. El patrón de ejecución motora conservada acompañada de un déficit específico en un tipo de letra en la producción escrita de letras implicaría que el déficit de MN se encontraba a nivel alográfico de las representaciones y procesamientos de las letras.

Estudios de neuroimágenes en personas sin déficit

En general, los estudios de neuroimágenes funcionales de la producción escrita se pueden agrupar en *dos tipos*: los que hacen uso de las tareas que implican sólo el *procesamiento central* y los que hacen uso de las tareas que combinan tanto *procesamiento central* como *periférico*. Las tareas solo centrales son, por ejemplo, aquellas que solicitan al sujeto el acceso a la ortografía de una palabra pero no su posterior escritura. Las tareas que implican procesos centrales y periféricos, por otro lado, son las que solicitan efectivamente a los sujetos la escritura de palabras. Uno de los inconvenientes de este tipo de tareas es que no siempre pueden distinguirse un proceso de otro, dependiendo de las condiciones experimentales adicionales empleadas y los contrastes específicos que ofrecen.

En su trabajo, Beeson et al. (2003) presentan un estudio diseñado para identificar los posibles sustratos de los componentes -lingüísticos y motores- involucrados en la escritura típica de hablantes nativos del inglés. Presentan a tal fin, los datos obtenidos en la aplicación de fMRI en 12 adultos para examinar la activación asociada con escritura generativa de palabras de distintas categorías semánticas contrastada con la escritura de letras del alfabeto y el dibujo de círculos. Además, se contrastó la escritura espontánea con una tarea de denominación subvocal.

Sobre la base de los hallazgos neuropsicológicos en pacientes con agrafia léxica, formulan la hipótesis de que el giro angular izquierdo (BA 39) y la parte posterior izquierda del lóbulo temporal inferior (BA 37) mostrarían activación durante tareas que requieren la recuperación de los conocimientos ortográficos. Además, se esperaba que la tarea de escritura generativa provocara patrones de activación comunes con la tarea de denominación generativa, dados los componentes semántico y fonológico compartidos. Con respecto a los componentes grafomotores, se formula la hipótesis de que el control del motor para la escritura implicaría la región en y alrededor del surco izquierdo intraparietal, el área premotora dorsolateral izquierda conocida como área de Exner, la corteza frontal medial (SMA), y regiones sensoriomotoras involucrados en la implementación de movimientos de la mano.

Participaron, entonces, un total de 6 hombres y 6 mujeres sanos y diestros, de entre 20 y 53 años. El inglés era su lengua materna.

Se administró a los participantes dos protocolos, cada uno en tres condiciones (tareas). El primer protocolo contaba de escritura de palabras simples (generativa), escritura de letras del alfabeto y dibujo de círculos. El segundo protocolo incluía también escritura generativa de palabras simples, denominación generativa subvocal de palabras simples y el resto de las condiciones.

Para elicitar la escritura generativa de palabra aislada se le pedía a los participantes que escribieran palabras de distintas categorías semánticas (lo que también se conoce como fluencia escrita) como animales, frutas, instrumentos musicales vegetales, armas, etc.

Se realizaron tres comparaciones para el primer protocolo: escritura generativa vs. dibujo de círculos, escritura generativa vs. escritura de letras del alfabeto, y escritura de letras del alfabeto vs. dibujo de círculos.

Para el segundo protocolo, se contrastó escritura generativa vs. denominación subvocal de palabras. Este contraste tenía la intención de aislar los componentes motores de los ortográficos mientras se controlaban los componentes fonológico y semántico comunes tanto en palabra hablada como en escritura.

La escritura de palabras autogeneradas comprometían la activación del hemisferio izquierdo, incluyendo la corteza temporal inferior y posterior, el lóbulo parietal superior y el surco intraparietal, la corteza prefrontal inferior y dorsolateral, la corteza premotora medial lateral y las áreas sensoriomotoras de la mano.

En oposición a la afirmación de que el giro angular izquierdo (BA 39) cumple una función crítica para la escritura (Dejerine, 1891), no se encontró activación significativa en esta región cortical para los contrastes propuestos con la intención de aislar los procesos de escritura de palabra aislada. Estos hallazgos resultan sorprendentes

debido a que la literatura del tema reporta al giro angular izquierdo como un lugar de lesión común en pacientes con agrafia léxica (Rapcsak & Beeson, 2000; Roeltgen, 1993; Roeltgen & Heilman, 1984). Por el contrario, la escritura generativa resultó en activación en la corteza temporal posterior inferior, incluyendo el giro fusiforme (BA 37) y el giro temporal inferior (BA 37/20). El daño en estas regiones también ha sido asociado con agrafia léxica (Purcell et al., 2011). Los hallazgos grupales son consistentes con la activación regional en los participantes de modo individual: los 12 sujetos intervinientes mostraron activación significativa en BA 37 mientras escribían, mientras que sólo la mitad de los participantes mostraron activación concomitante en BA 39. Estos hallazgos muestran consistentemente la participación del córtex temporal posterior inferior en la escritura. Asimismo, el giro angular también parece estar involucrado en dicho proceso, por lo menos en algunos individuos.

El contraste escritura generativa vs. denominación generativa mostró un foco de activación asociado con escritura pero no denominación subvocal localizado en la juntura témporo-occipital inferior, abarcando el área 37, extendiéndose a la 19. Estos autores señalan que aunque esta activación podría ser específica del procesamiento lexical ortográfico, también se activó esta región en el contraste escritura de letras del alfabeto vs. dibujo de círculos. Esto sugeriría que la activación en esta área cortical pareciera cumplir un rol en la recuperación de la información sobre las formas de las letras. Estos resultados no son compatibles con los reportados por Hillis et al. (2002), quienes sugerían que el área de Broca cumplía un papel importante en el acceso a las representaciones ortográficas de las palabras.

En cuanto a los sustratos neurales del control motor de la escritura, los hallazgos de estos autores muestran que tienen un rol importante las regiones parietales superiores y frontales premotoras en la traducción de la información en movimientos de la mano apropiados. Se detectó también activación en el surco intraparietal izquierdo y en el lóbulo parietal superior en la escritura generativa (en contraste escritura generativa - dibujo de círculos), mientras que en el contraste escritura de letras del alfabeto vs. dibujo de círculos activaban en primer lugar el lóbulo parietal superior pero no se extendía al surco. El contraste escritura generativa vs. escritura de letras del alfabeto indicó una activación en el lóbulo parietal superior para ambas habilidades. Esto podría indicar que la automaticidad de la escritura de letras demanda menor activación de los procesos de planificación motora que los procesos de escritura de palabras.

Por último, la activación del lóbulo parietal estaba acompañada por la activación en la región premotora dorsolateral, correspondiente al área de Exner para la escritura de palabras y escritura de letras, y la activación del contraste letras del alfabeto vs. dibujo de círculos se situó cerca del área primaria motora de las manos.

El soporte neural activado en la implementación de los comandos motores se observó, más claramente, en el contraste escritura-denominación. Concluyen estos autores que los resultados muestran activación extensa en el córtex sensoriomotor izquierdo de la mano, así como en el lóbulo parietal superior, el área de Exner, el SMA de ambos hemisferios, y el cerebelo derecho.

Por otra parte, existen estudios que, debido a que el daño cerebral puede afectar de manera selectiva aspectos relacionados con la memoria de trabajo para la escritura (efecto de longitud) o aspectos relacionados con la memoria a largo plazo (frecuencia de las palabras) postulan que estos procesos cognitivos podrían instanciarse en el cerebro como procesos relativamente independientes. Para este propósito, Rapp y Dufor (2011) intentar identificar patrones de activación neural asociada a efectos de longitud y efectos de frecuencia.

La sensibilidad a la frecuencia de palabras puede detectarse tanto por el comportamiento del sujeto o por activación neural mediante tiempos de reacción o precisión: existe un incremento en los TR, errores o respuesta neural ante la baja frecuencia en comparación con la alta frecuencia.

En términos de estudios con fMRI, sostienen los autores que tanto los efectos léxicos como la sensibilidad al efecto de longitud han sido observados tanto en procesamiento de lenguaje escrito, como en la producción escrita y la comprensión oral.

Para el caso de la escritura en particular, mientras que para los estímulos escritos la longitud se mide en cantidad de letras, para los estímulos orales se suele medir en términos de cantidad de fonemas y/o sílabas.

Los efectos de longitud se han examinado menos que los efectos de frecuencia, y, antes del trabajo de Rapp y Dofur, no había sido considerado para escritura. En el mencionado trabajo, se reporta un estudio utilizando fMRI diseñado de modo tal que se pudiera examinar la distribución neural en la manipulación de la frecuencia léxica (alta y baja) y de la longitud (largo y corto).

La escritura se evaluó con tres tareas: escritura al dictado y dos tareas controles que toman del trabajo de Beeson et al. (2003), dibujo de círculos y escritura del letras del alfabeto. La diferencia crítica radica en que escritura al dictado presenta requerimientos cognitivos adicionales: recuperación de la representación escrita de las palabras del almacén a largo plazo ortográfico y el procesamiento de dicha representación mediante la manipulación de las formas de las letras y el planeamiento motor por la memoria de trabajo ortográfica.

Se les presentaron, entonces, palabras monomorfémicas controladas por frecuencia en igual número, de entre 4 y 8 letras. Para cada tarea, se aplicaron 4 sets de 48 palabras combinadas en cantidad de letras y frecuencia.

En orden a examinar la distribución de la sensibilidad neural a la frecuencia y a la longitud, se utilizó el contraste palabra larga vs. palabra corta y el contraste alta frecuencia vs. baja frecuencia. Con el objeto de obtener un contraste puro en relación a la comparación de longitud, las respuestas escritas debían estar equiparadas en términos de actividad manuscrita, de modo tal que la diferencia de activación no sea debida a un incremento en la planificación motora y ejecución asociada a más letras. Para hacerlo, se les solicitó a los participantes que escribieran la palabra repetidas veces durante el período de respuestas.

En el análisis de los datos de las fMRI, el primer contraste (palabras vs. círculos) se utilizó como máscara para examinar el contraste baja frencuencia vs. alta frecuencia y palabra larga vs. palabra corta. Este análisis arrojó clusters de activación sensibles o bien a frecuencia o bien a longitud, pero no a ambos. Los clusters sensibles a frecuencia activaron el IFJ izquierdo y el cíngulo anterior, y, subcorticalmente, el putamen izquierdo y bilateralmente el tálamo. Los efectos de longitud se observaron en el surco superior frontal izquierdo y en el lóbulo parietal superior. Finalmente, en consonancia con la consistencia con la que aparece el giro fusiforme izquierdo en la literatura de neuroimágenes cerebrales (BA 37) y en los estudios de lesiones, el giro medio fusiforme exhibe sensibilidad a la frecuencia lexical.

El principal hallazgo de este estudio es que, dada la intención de aislar los procesos de escritura, encuentran una fuerte diferenciación de la distribución neuronal a los factores de longitud y frecuencia, con áreas específicas de activación en longitud y no en frecuencia y viceversa.

El hallazgo de que el IFJ y el giro medio fusiforme están involucrados en la activación por efecto de frecuencia reduplica los hallazgos

de Rapp y Lipka (2011). Debe mencionarse, sin embargo, que estas áreas han sido asociadas con un abanico de funciones cognitivas (u operaciones) pero dadas las condiciones de manipulación de tareas, los autores afirman que puede demostrarse el rol de dichas áreas en algunos aspectos de la representación ortográfica lexical y su procesamiento.

Los resultados identifican, entonces, al surco superior frontal (SFS) como un candidato para el procesamiento ortográfico de la memoria de trabajo (aunque podría no ser el único). Esta región premotora ha sido asociada, como hemos notado, con la escritura, y su localización es consistente con el área de Exner. Rapp y Dufor comentan al respecto que, si bien esta área suele asociarse con procesos motores de la escritura manuscrita de letras, existe un número de razones por las cuales podría sostenerse que esta región involucra a la memoria de trabajo ortográfica.

ALGUNAS CONCLUSIONES

Con respecto a los **procesos centrales**, la literatura de neuroimágenes provee de información convergente con las conclusiones de la literatura que estudia lesiones: el giro fusiforme izquierdo, giro temporal inferior (ITG), giro frontal inferior (IFG) y giro supramarginal (SMG) se asocian con los procesos centrales de ortografía.

En estos trabajos se superponen tareas que implican el procesamiento central (Rapp y Lipka, 2011), y procesamiento central y periférico (Beeson et al, 2003; Purcell et al., 2011). Los pocos estudios de neuroimágenes que han examinado la lectura y la escritura en el mismo estudio han identificado activaciones superpuestas en tanto en el giro fusiforme izquierdo y en ITG, lo que sugiere que los estos sustratos, en particular, son importantes para los procesos centrales compartidos por tanto escritura y de lectura (Purcell et al., 2011; Rapp y Lipka, 2011). Además, el SMG izquierdo también se ha asociado con los procesos centrales (Beeson et al., 2003; Purcell et al., 2011). En concreto, ha sido sobre todo asociado con la transformación subléxica (conversión FG).

Con respecto a los **componentes periféricos** de la producción de lenguaje escrito, en la literatura de neuroimágenes éstos han sido principalmente asociados con la corteza dorsal premotora superior izquierda así como con la actividad en el cerebelo y estructuras subcorticales, tales como los ganglios basales y el tálamo (Menon y Desmond, 2001; Beeson et al., 2003; Purcell et al., 2011). La corteza premotora dorsal izquierda en particular ha sido considerada relevante para los procesos de redacción específicos que implican la generación de órdenes motoras grafémicas (Menon y Desmond, 2001; Beeson et al., 2003). Aunque algunos de los primeros trabajos de neuroimágenes en este campo sugieren que la región premotora dorsal izquierda se asocia con la generación de comandos motores específicos de la escritura gráfica (Beeson et al., 2003), los últimos hallazgos indican que esta región general también desempeña un papel en la generación de comandos motores gráficos de producción mecanografiada (Purcell et al., 2011).

Una aparente contradicción entre la lesión y los estudios de neuroimagen funcional se refiere a la circunvolución angular izquierda (AG). Aunque la literatura lesión ha sugerido durante mucho tiempo que desempeña un papel en los procesos centrales de producción escrita, esta región no ha sido identificada de forma consistente en la literatura de neuroimágenes. Mientras que algunos estudios han informado de la activación de esta región, una serie de otros no tienen (Beeson et al., 2003; Purcell et al., 2011). Además, algunos de los últimos estudios han informado sobre activación en las agrupaciones en el surco intraparietal región (IPS) superior y medial a la izquierda AG (Beeson et al., 2003; Purcell et al., 2011). Dada la heterogeneidad de estos resultados, el papel de la corteza parietal posterior en la producción de la lengua escrita, y en particular con respecto a los procesos centrales, merece un escrutinio más cuidadoso.

BIBLIOGRAFIA

Beauvois, M. y Derouesne, D. (1981). Lexical or orthographic agraphia. Brain, 104, 21-49.

Beeson, P.M., Rapcsak, S.Z., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S., et al. (2003). The neural substrates of writing: A functional magnetic resonance imaging study. Aphasiology, 17, 647-665.

Dejerine, J. (1892). Contribution l'étude anatomopathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. Mem. Soc. Biol. 4, 61-90.

Exner, S. (1881). Untersuchungenüber die Lokalisation der Functioneninder Grosshirnrindedes Menschen. Wien: Braumuller, W., Beauvois, M.F. y Derouesne, J. (1981). Lexical orthographic agraphia. Brain 104, 21-49.

Hillis, A. E., Kane, A., Tuffiash, E., Beauchamp, N. J., Barker, P. B., Jacobs, M. A., et al. (2002). Neural substrates of the cognitive processes underlying spelling: Evidence from MR diffusion and perfusion imaging. Aphasiology, 16, 425-438.

Marshall, J.C. & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. Journal of Psycholinguistic Research, 2, 175-199.

McMullen, P.A., Braithwaite, A., & McGlone, J. M. (1998). Separate othrographic input and output lexicons: Evidence from a surface dysgraphic. Brain and Cognition, 37(1), 108-109

Menichelli, A., Rapp, B. y Semenza, C. (2008). Allographic agraphia: a case study. Cortex 44, 861-868.

Menon, V., y Desmond, J. E. (2001). Left superior parietal cortex involvement in writing: Integrating fMRI with lesión evidence. Cognitive Brain Research, 12, 337-340.

Patterson, K.(1986). Lexical but non semantic spelling? Cogn. Neuropsychol. 3, 341-367.

Purcell, J. J., Napoliello, E.M. y Eden, G. F. (2011). A combined fMRI study of typed spelling and reading. Neuroimage, 55, 750-762.

Rapcsak, S. Z. & Beeson, P. M. (2002). Neuroanatomical correlates of spelling and writing. In A E Hillis (Ed.), The handbook of adult language disorders (pp. 71-99). Philadelphia, PA: Psychology Press.

Rapp, B., Benzing, L. & Caramazza, A. (1997). The autonomy of lexical orthography. Cognitive Neuropsychology, 14, 71-104.

Rapp, B., y Caramazza, A. (1997). From graphemes to abstract letter shapes: Levels of representation in written spelling. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23, 1130-1152.

Rapp, B. y Dufor, O. (2011).The neurotopography of written word production an fMRI investigation of the distribution of sensitivity to word length and frequency. J. Cogn. Neurosci. PMID: 21812571.

Rapp, B., y Lipka, K. (2011). The literate brain: The relationship between spelling and reading. Journal of Cognitive Neuroscience, 23, 1180-1197.

Roeltgen, D. P, & Heilman, K. M. (1984). Lexical agraphia further support for the two-system hypothesis of linguistic agraphia. Brain, 107, 811-827.

Roeltgen, D. P. (1993). Agraphia. In K. M. Heilman & E. Valenstein (Eds.), Clinical neuropsychology (pp. 63-89). New York: Oxford University Press.

Tsapkini, K. y Rapp, B. (2010). The orthography-specific functions of the left fusiform gyrus: Evidence of modality and category specificity. Cortex, 46, 185-205.