



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**ATENCIÓN VISOESPACIAL Y LATERALIDAD MANUAL:
UN ESTUDIO CON ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

PRESENTA

SARAHÍ PAOLA CAÑARTE VARELA

DIRECTORA DE TESIS

DRA. IRMA YOLANDA DEL RÍO PORTILLA



Ciudad Universitaria, CDMX.

2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

I. Asimetría hemisférica funcional y lateralidad manual	- 6 -
Asimetría hemisférica funcional	- 6 -
Lateralidad manual	- 7 -
Asimetría hemisférica funcional y lateralidad manual.....	- 12 -
II. Procesamiento visoespacial y atención visoespacial.....	- 15 -
Sistema del procesamiento visual	- 15 -
Atención	- 17 -
<i>Red de vigilancia</i>	- 17 -
<i>Red de atención anterior (control ejecutivo)</i>	- 18 -
<i>Red de atención posterior (orientación)</i>	- 19 -
Atención visoespacial.....	- 20 -
Aspectos neuroanatomofuncionales de la atención visoespacial	- 21 -
Bases cognitivas de la atención visoespacial.....	- 24 -
III. Lateralidad manual y atención visoespacial	- 25 -
IV. Actividad eléctrica cerebral	- 27 -
Lateralidad manual y actividad eléctrica cerebral.....	- 29 -
Atención visoespacial y actividad eléctrica cerebral.....	- 30 -
Atención visoespacial, lateralidad manual y actividad eléctrica cerebral	- 31 -
V. Planteamiento del problema.....	- 32 -
VI. Método.....	- 36 -
VII. Resultados	- 44 -
VIII. Discusión.....	- 58 -
IX. Alcances y límites	- 62 -
XI. Conclusión	- 65 -
XI. Referencias	- 65 -

Lista de Tablas

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA.	- 44 -
TABLA 2. DIFERENCIAS EN LA POTENCIA ABSOLUTA EN LA BANDA DELTA.	- 45 -
TABLA 3. PORCENTAJE DE LA VARIANZA TOTAL Y LA VARIANZA EXPLICADA PARA LA POTENCIA ABSOLUTA POR CADA COMPONENTE EN LÍNEA BASE.	- 46 -
TABLA 4. PORCENTAJE DE LA VARIANZA TOTAL Y LA VARIANZA EXPLICADA PARA LA POTENCIA ABSOLUTA POR CADA COMPONENTE DURANTE LA TAREA.	- 47 -
TABLA 5. EFECTO DE LA LATERALIDAD MANUAL SOBRE LA CORRELACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES IDENTIFICADOS EN LA BANDA DELTA.	- 48 -
TABLA 6. DIFERENCIAS EN LA CORRELACIÓN INTERHEMISFÉRICA EN LA BANDA DELTA.	- 49 -
TABLA 7. DIFERENCIAS EN LA CORRELACIÓN INTRAHEMISFÉRICA EN LA BANDA DELTA.	- 51 -
TABLA 8. DIFERENCIAS EN LA CORRELACIÓN INTRAHEMISFÉRICA PARA LA BANDA BETA1 Y BETA2 EN EL HEMISFERIO IZQUIERDO.	- 52 -
TABLA 9. DIFERENCIAS EN LA CORRELACIÓN INTRAHEMISFÉRICA PARA LA BANDA THETA2 Y ALFA1 EN EL HEMISFERIO DERECHO.	- 54 -
TABLA 10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TAREA DE ATENCIÓN VISOESPACIAL.....	- 57 -

Lista de Figuras

FIGURA 1. LOS DOS SISTEMAS VISUALES VENTRAL Y DORSAL.....	- 16 -
FIGURA 2. ILUSTRACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS COMPONENTES CORTICALES DEL SISTEMA DE ATENCIÓN DORSAL Y VENTRAL EN EL CEREBRO HUMANO.....	- 23 -
FIGURA 3.ESQUEMA DE LA TAREA DE ATENCIÓN VISOESPACIAL.....	- 40 -
FIGURA 4. POTENCIA ABSOLUTA EN LÍNEA BASE.....	- 46 -
FIGURA 5. POTENCIA ABSOLUTA DURANTE LA TAREA.....	- 48 -
FIGURA 6. CORRELACIÓN INTERHEMISFÉRICA EN LA BANDA DELTA.....	- 50 -
FIGURA 7. CORRELACIÓN INTRAHEMISFÉRICA HEMISFERIO DERECHO.....	- 53 -
FIGURA 8. CORRELACIÓN INTRAHEMISFÉRICA HEMISFERIO IZQUIERDO.....	- 56 -
FIGURA 9. ACIERTOS TOTALES PROMEDIO DE LA TAREA DE ATENCIÓN VISOESPACIAL.....	- 57 -

Resumen

Diversas investigaciones muestran discrepancias neuroanatómicas y funcionales con base en la lateralidad manual. Además, estudios de atención visoespacial han reportado una mayor participación del hemisferio derecho independientemente de la preferencia manual. Debido a esta caracterización el objetivo de la investigación fue conocer la organización funcional, en términos de la actividad electroencefalográfica, cerebral de personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial. La muestra estuvo constituida por 20 participantes diestros y 20 zurdos pareados en sexo, edad y nivel escolar, evaluados con pruebas de lateralidad manual y con un registro simultáneo de la actividad eléctrica cerebral al realizar el paradigma *Go/No-Go* de atención visoespacial y al mantenerse en reposo (línea base). La potencia absoluta y la correlación inter- e intrahemisférica fueron las medidas analizadas del EEG. Los resultados mostraron que no hubo diferencias en el desempeño al realizar la tarea para ambos grupos. En cuanto a la actividad eléctrica, los diestros tuvieron mayor potencia absoluta en la banda Delta en comparación con los zurdos, asimismo se presentó un incremento durante la tarea en regiones corticales posteriores en comparación a la línea base. Por otro lado, los zurdos mostraron mayor actividad interhemisférica en la banda Delta en regiones centrales. Con respecto a la correlación intrahemisférica, el efecto principal fue en la lateralidad manual en la banda Delta en regiones fronto-temporales derechas para el grupo diestro. Asimismo, el grupo diestro también presentó una mayor actividad intrahemisférica en las bandas rápidas Beta1 y Beta2 en regiones fronto-occipitales izquierdas, mientras que en el grupo zurdo se observó esta actividad en las regiones frontales, temporales, centrales derechas en las bandas Theta2 y Alfa1. Lo anterior sugiere la existencia de un patrón de organización funcional diferente con base en la lateralidad manual.

Palabras clave: *Asimetría cerebral, Lateralidad manual, Atención visoespacial, Actividad eléctrica cerebral.*

I. Asimetría hemisférica funcional y lateralidad manual

Asimetría hemisférica funcional

Desde la perspectiva anatómica el cerebro humano presenta una división en dos hemisferios (derecho e izquierdo), los cuales están especializados para diferentes procesos cognitivos. Las diferencias entre el hemisferio izquierdo y derecho se han informado ampliamente en numerosos estudios y se han descrito bajo diferentes términos, incluyendo asimetría hemisférica funcional, especialización hemisférica, lateralización cerebral, dominio hemisférico y muchos otros términos (Guadalupe *et al.*, 2014; Sainburg, 2014; Cochet, 2015). Esta asimetría hemisférica funcional es una característica distintiva de la organización cerebral y plantea la posible especialización de un hemisferio para una función cognitiva específica. El hemisferio especializado está conformado por redes neuronales que tienen propiedades funcionales específicas e interactúan de forma intra- e interhemisférica, lo que permite optimizar la eficiencia del procesamiento cerebral en diferentes funciones cognitivas y enfatiza la importancia de la lateralización en el comportamiento óptimo y adaptativo (Tzourio-Mazoyer y Seghier, 2016; Zuanazzi y Cattaneo, 2017). La idea de que los dos hemisferios del cerebro humano difieren en sus funciones cognitivas se remonta al menos a la antigua Grecia, sin embargo, hasta las observaciones clínicas de Marc Dax y Paul Broca en pacientes con daño cerebral en el siglo XIX (Gazzaniga, 2000), y los estudios de Wernicke, se consolidó la noción de asimetría hemisférica funcional y adquirió un tema central de estudio en las neurociencias cognitivas hasta la actualidad (Corballis, 2003; Petit *et al.*, 2015).

La asimetría hemisférica funcional se ha descrito mediante estudios de imágenes anatómicas y funcionales en poblaciones sanas que involucran metodologías como espectroscopía, imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf), electroencefalografía (EEG), magnetoencefalografía (MEG) y en estudios clínicos que investigan, por ejemplo, los efectos del

daño cerebral. Investigaciones conductuales y neuropsicológicas en sujetos sanos han establecido el predominio del hemisferio izquierdo para el procesamiento del lenguaje y el control de la mano derecha, que son las conductas más estudiadas de lateralización hemisférica a nivel conductual y funcional (Cochet, 2015; Tzourio-Mazoyer y Seghier, 2016).

Lateralidad manual

El término preferencia de uso de una mano o lateralidad manual se refiere tanto a la preferencia manual (mano subjetivamente preferida de la persona para realizar actividades manuales y que se evalúa mediante cuestionarios), como al desempeño manual (la habilidad y la fuerza comparativas de las manos medidas objetivamente en actividades manuales) (Brusasca, Mabel y Portellano, 2007). La lateralidad manual ha sido considerada la principal evidencia conductual de lateralización del sistema nervioso central y de asimetría hemisférica funcional en los animales humanos y no humanos como los primates, de tal forma que el hemisferio cerebral contralateral a la mano preferente es aquel que controla el movimiento, es decir, el movimiento de la mano derecha se coordina mediante el hemisferio izquierdo, así como el control de la mano izquierda se realiza en el hemisferio derecho (Galán-López y del Río-Portilla, 2012; Guadalupe *et al.*, 2014). Esta asimetría manual indica: (1) un mayor nivel de habilidad cuando se usa una mano específica para conductas motoras complejas y denomina a los sujetos por el lado de la mano preferida (zurdos, diestros o ambidiestros), y (2) una consistencia manual para realizar la mayoría de las actividades diarias con una sola mano o con ambas (Buckingham y Carey, 2015).

La lateralidad manual no es un rasgo unidimensional y se determina evaluando tanto preferencia como desempeño manual para diferenciar diestros, zurdos y ambidiestros debido a que la correcta identificación de los mismos posibilita indagar en la variabilidad del rendimiento

cognitivo. La forma más fácil de determinar la preferencia subjetiva de la mano es una diferenciación dicotómica entre diestros y zurdos que puede basarse en una medida cualitativa, al evaluar la preferencia de la mano para escribir o dibujar (Annett, 2006), sin embargo, el uso de este método puede llevar a resultados sesgados, por ejemplo, si se incluye a los zurdos que se han visto obligados a aprender a escribir con la mano derecha en la muestra (Brusasca, Mabel y Portellano, 2007). En la actualidad se han desarrollado varias medidas cuantitativas de preferencia de mano para permitir la evaluación no solo de la dirección, sino también de la fuerza de la preferencia manual (Ocklenburg y Güntürkün, 2018), como es el caso del Inventario de Lateralidad de Edimburgo (Oldfield, 1971), siendo la herramienta más utilizada y que disminuye resultados sesgados como el caso descrito previamente. Además de esta diferenciación dicotómica entre zurdos y diestros, se han propuesto otros cuestionarios que ofrecen un índice del grado de preferencia manual (izquierda–derecha) y su intensidad que puede oscilar entre fuerte (lateralización bien establecida) y débil (lateralización mal definida), como es el caso del cuestionario de preferencia manual de Annett (1967). Tanto la preferencia como el desempeño manual, se manifiestan a través de diferentes niveles de destreza en el uso de una u otra mano en acciones cotidianas (escribir, comer, lanzar, cepillar los dientes, etcétera), dando como resultado personas que son consistentes en el uso de la mano derecha o izquierda denominados diestros y zurdos consistentes, así como personas que no presentan una lateralidad clara que se denominan mixtos, ambidiestros o no diestros (Galán, 2015). Alrededor del 90% de la población presenta una lateralidad manual derecha (diestro) al realizar diferentes actividades y el 10% restante lateralidad manual izquierda (zurdo), de los cuales, alrededor del 11.6% son hombres y el 8.6% mujeres (Annett, 2006; Vuoksima *et al.*, 2010; Galán-López y del Río-Portilla, 2012; Ocklenburg, Beste y Güntürkün, 2013; Perlaki *et al.*, 2013; Guadalupe *et al.*, 2014; Williems *et al.*, 2014).

Diversas hipótesis han propuesto que los factores ambientales y socioculturales son reforzadores de la influencia genética y hormonal en el desarrollo de la preferencia manual, incluso se han realizado investigaciones en las cuales alguna patología perinatal podría orientar y fortalecer la preferencia manual, no obstante, hasta el momento no se ha establecido una etiología precisa (Corballis, 2014; Morange-Majoux y Devouche, 2014; Cochet, 2015).

Estudios con modelos genéticos han revelado que la lateralidad manual se origina en un código genético. Annett (1975, 2004, 2006) sugirió que la distribución de la lateralidad manual podría estar influenciada por la presencia de un solo gen no especificado denominado *right-shift* (RS)+. El alelo RS+ aumenta la probabilidad en algunos, pero no todos los individuos de predisposición innata del hemisferio izquierdo en desarrollar una preferencia manual diestra mientras que el alelo RS- establece al azar la preferencia manual, por lo tanto, los portadores de dos alelos RS++ tienen la mayor probabilidad de ser diestros y esta probabilidad se reduce en los portadores RS+- (ambidiestros o mixtos) y en los portadores de dos alelos RS-- (zurdos). Las implicaciones de este modelo se han explorado durante unos 30 años lo que ha llevado a nuevos desarrollos metodológicos y descubrimientos, sin embargo, estudios recientes del genoma humano contrastan con esta pionera explicación de un solo gen para la lateralidad manual, por lo que nuevas investigaciones han postulado la hipótesis de que la interacción múltiple de genes y las influencias ambientales parecen ser la causa de la preferencia manual (Corballis, 2014; Schmitz *et al.*, 2017; Ocklenburg y Güntürkün, 2018).

Estudios de gemelos a gran escala han estimado una heredabilidad de alrededor de 0.25-0.66 para lateralidad manual zurda. Existe un 19% de probabilidad de ser zurdo en caso de que un padre sea zurdo y aumenta hasta el 26% en caso de que ambos padres sean zurdos en comparación con las familias de padres diestros con una probabilidad del 9% de ser zurdo, lo que es consistente

con una influencia genética en la ontogénesis de la mano (Ocklenburg *et al.*, 2013; Morange-Majoux y Devouche, 2014). Además, actualmente se han descubierto genes candidatos para la lateralidad manual incluidos el gen del receptor de andrógenos (AR) (Hampson y Sankar, 2012), el gen de la apolipoproteína E (APOE) (Bloss *et al.*, 2010), el gen de la catecol O-metiltransferasa (COMT) (Schmitz *et al.*, 2017), el gen de la proteína transmembrana neuronal de repetición rica en leucina 1 (LRRTM1) y el gen de la proproteína-convertasa-subtilisina-kexina tipo 6 (PCSK6) (Brandler *et al.*, 2013).

Con respecto al gen del receptor AR, se ha propuesto que un aumento de los niveles de testosterona intraútero o una alta sensibilidad a esta hormona modifica el crecimiento cerebral prenatal, altera la lateralización cerebral y desempeña un papel en el establecimiento de la preferencia manual en el sexo masculino (Geschwind y Galaburda, 1985; Hampson y Sankar, 2012). Por otro lado, estudios sobre dietilestilbestrol (DES), un estrógeno sintético expuesto prenatalmente, han indicado que también podría influir en la formación de la preferencia manual zurda en hombres, sin embargo, los datos existentes en ambos casos no son concluyentes (Vuoksima *et al.*, 2010).

Bloss *et al.* (2010) investigaron la influencia de genotipo APOE en el procesamiento visoespacial, de memoria de trabajo y de preferencia manual en una muestra de niños en edad escolar. En los resultados observaron que los niños con el genotipo de APOE ϵ 2 positivo presentaron una preferencia manual zurda y diferencias significativas en el funcionamiento visoespacial, por lo que los autores concluyeron que una posible función de la APOE sea la regulación de la asimetría cerebral zurda que involucra interacciones complejas con otros genes y con la conectividad neural y plasticidad. Por otro lado, el gen de la proteína LRRTM1 y una variación del gen PCSK6 se han relacionado también con el aumento de las probabilidades de ser

zurdo (Corballis, 2014; Morange-Majoux y Devouche, 2014), no obstante, solo una cuarta parte de la variación en la lateralidad manual se atribuye a la expresión de genes, los cuales permiten el desarrollo diferencial de los circuitos neuronales del SNC, mientras que el 75% restante de la variación se explica por factores ambientales incluidos los factores prenatales (el estrés prenatal, las hormonas, entre otros), la experiencia temprana y la influencia sociocultural que en conjunto influyen en la preferencia manual (Brandler *et al.*, 2013).

Investigaciones recientes indican que la lateralidad manual presenta signos tempranos de preferencia durante el desarrollo humano, incluso antes del nacimiento. Ocklenburg *et al.* (2017) compararon la expresión génica en la médula espinal en diferentes ventanas temporales durante la embriogénesis y descubrieron diferencias significativas entre la médula espinal izquierda y derecha en los segmentos que inervan las manos y los brazos, mostrando mayor asimetría hacia la mano derecha, por lo que estos hallazgos sugieren que la asimetría manual comienza en la médula espinal y se transfiere a la corteza cerebral. Estudios con ultrasonido han corroborado esta preferencia manual al presentar el 85% de los fetos humanos conductas motoras lateralizadas como mover el brazo y succionar el pulgar derecho más que el izquierdo (Hepper, 2005; Annett, 2006; Williems *et al.*, 2014) y conservar esta preferencia después del nacimiento hasta la edad adulta (Vuoksima *et al.*, 2010; Corballis, 2014).

Dentro de los factores ambientales que contribuyen a mantener la preferencia manual diestra se ha observado que los objetos colocados en el hemisferio derecho conducen a un uso más frecuente de la mano derecha (Buckingham y Carey, 2015). Asimismo, se ha demostrado que el lado en el que se sostiene al bebé, el aprendizaje por modelado con base en la preferencia manual derecha por parte de padres diestros (Schmitz *et al.*, 2017), y que la preferencia neonatal por voltear la cabeza hacia el lado derecho permite una mejor coordinación ojo-mano en el lado derecho del

cuerpo y una manipulación preferencial del objeto en la mano derecha en la primera infancia (Ocklenburg *et al.*, 2018).

El desarrollo de la lateralidad manual también se ve influenciado por factores socioculturales. El aprendizaje de modelado a través del refuerzo implícito para usar la mano derecha hasta instrucciones explícitas y el castigo de los padres por usar la mano izquierda en algunas culturas, ha dado como resultado que en las sociedades tradicionales la proporción de diestros sea mayor por la presión social (Morange-Majoux y Devouche, 2014). Hasta hace relativamente pocos años ser zurdo era considerado un signo de inferioridad, por lo que desde la infancia se presentaba una presión social en el cambio de preferencia manual, principalmente en el género femenino, que coincide con algunos estereotipos negativos como que la zurdera haya sido asociada con la palabra “siniestro”, “sucio” etc., en diferentes países y culturas que prevalecen aún en dos tercios de la población mundial (Muñoz *et al.*, 2014; Schmitz *et al.*, 2017).

En cuanto a la prevalencia de zurdos en México, se presenta un porcentaje del 2,5%. Los países con una mayor tasa de población zurda (15-20%) son Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Europa, mientras que las tasas más bajas (.06-2.8%) se presentan en el Congo, China y Taiwan, que se relacionan con la influencia de la cultura en la preferencia manual y la permisividad existente para el uso manual izquierdo (Schmitz *et al.*, 2017).

Asimetría hemisférica funcional y lateralidad manual

A lo largo de los años se han realizado estudios sobre los correlatos cerebrales anatómicos y funcionales de las diferencias entre diestros y zurdos. La identificación de estos correlatos ha proporcionado vías para el estudio de las relaciones estructura-función del cerebro, así como la

posible relación de la especialización hemisférica de algunos procesos cognitivos y la lateralidad manual (Guadalupe *et al.*, 2014; Pietsch y Jansen, 2019).

En estudios de correlatos cerebrales anatómicos se ha encontrado una mayor profundidad en el surco central y precentral izquierdo en personas diestras y una mayor profundidad de los mismos surcos contralaterales en personas zurdas (Amunts *et al.*, 2000). Asimismo, se ha observado una mayor asimetría interhemisférica en el área del *planum temporale*, en el *pars triangularis* y *opercularis* en el área de Broca, en diestros en comparación con zurdos (Hervé *et al.*, 2006). A nivel subcortical, se ha encontrado que personas zurdas presenta un mayor volumen en los ganglios basales (globo pálido y putamen) en comparación con personas diestras. La capacidad de los zurdos al utilizar la mano derecha es ligeramente mejor que la de los diestros con la mano contraria, por lo que los zurdos presentan un mayor control motor general. Además, se ha encontrado que la velocidad de conducción motora y sensorial en los zurdos es significativamente más rápida que en los diestros y que podría deberse al mayor volumen de ganglios basales con base en la preferencia manual (Jang *et al.*, 2017).

Con respecto al estudio de la asimetría hemisférica funcional, el lenguaje ha sido la función lateralizada más explorada y se ha observado una marcada predominancia del hemisferio izquierdo para el procesamiento de la producción del habla, la integración de la información fonética, sintáctica y semántica principalmente. Además, en relación con la lateralidad manual el 96% de los sujetos diestros presenta una predominancia hemisférica izquierda para el lenguaje, así como el 73% de los zurdos presenta esta dominancia, en contraste, entre el 4-6% de diestros presentan un patrón atípico (bilateral o hemisferio derecho) y se ha encontrado que ésta incidencia de la lateralización aumenta en los zurdos aproximadamente 15-30% (Galán-López y del Río-Portilla, 2012; Perlaki *et al.*, 2013; Guadalupe *et al.*, 2014; Zago *et al.*, 2015).

Observaciones conductuales, neuropsicológicas y estudios de neuroimagen en sujetos sanos y con alguna alteración a nivel cerebral han establecido que algunas funciones visoespaciales son realizadas de manera equivalente por ambos hemisferios, mientras que otras presentan una especialización del hemisferio derecho (Corballis, 2003). Alrededor del 76% de los hombres diestros y el 59% de las mujeres diestras son dominantes del hemisferio derecho para el procesamiento visoespacial, sin embargo, este patrón de especialización cognitiva no es claro en la población zurda (Petit *et al.*, 2015). Badzakova-Trajkov *et al.* (2010) observaron la activación de ambos hemisferios al realizar tres tareas cognitivas, incluida una tarea de atención visoespacial, mediante la señal producida por los cambios dependientes del nivel de oxigenación sanguínea (contraste BOLD) de la IRMf con una muestra de 107 participantes diestros y 48 zurdos. Con respecto a la tarea de atención visoespacial, encontraron mayor activación del lóbulo parietal derecho independientemente de la preferencia manual. Además, Somers *et al.* (2015) realizaron un meta-análisis que incluyó 16 estudios con un total de 191,887 personas diestras y 26,464 personas zurdas. Los resultados de este análisis revelaron un efecto ligeramente significativo que favorece el desempeño de diestros al realizar tareas visoespaciales en comparación con los zurdos. Entre las pruebas visoespaciales evaluadas, la tarea de rotación mental fue la que presentó un efecto mayor en diestros en comparación con los zurdos.

Estos hallazgos sugieren que la preferencia manual podría ser un factor que afecte la asimetría hemisférica funcional de las funciones visoespaciales, sin embargo, la relación entre ellas y la naturaleza de la superioridad del hemisferio derecho continúa en investigación (Corballis, 2003).

II. Procesamiento visoespacial y atención visoespacial

El procesamiento visoespacial se relaciona con una amplia variedad de habilidades neurocognitivas como la ubicación en el espacio, la percepción de profundidad, la orientación de líneas, las habilidades constructivas, el esquema corporal, la orientación espacial, el movimiento, la atención visoespacial, la memoria espacial y la rotación mental (Galán-López y del Río-Portilla, 2012; Stiles, Akshoomoff y Haist, 2013). Las funciones visoespaciales representan el nivel más complejo de procesamiento visual realizado por el cerebro y trabajan en conjunto para proporcionar un análisis, comprensión y manejo del espacio en el que vivimos. La entrada visual proporciona información inmediata de las complejidades del mundo visual en varias dimensiones (segunda [2D] y tercera dimensión [3D]), la organización y estructura espacial incluidas la estructura de objetos y escenas, así como la ubicación o movimiento en el espacio (Ortega *et al.*, 2014).

Sistema del procesamiento visual

Para comprender las funciones visoespaciales es necesario recordar que la entrada visual es una fuente crítica de conocimiento sobre la organización y estructura del mundo espacial, al proporcionar información desde la estructura de objetos y escenas, hasta su ubicación o movimiento en el espacio. El sistema visual tiene dos grandes subsistemas corticales; el primero tiene como objetivo procesar información sobre las propiedades visuales de los objetos y patrones e identificar lo que vemos, denominado el sistema del “qué” y el segundo, proporcionar información espacial relacionada con la localización de lo que vemos denominado el sistema del “dónde”. Ambos sistemas se originan en el lóbulo occipital y tienen una terminación diferente en la corteza cerebral: las vías del primer sistema se dirigen del lóbulo occipital al lóbulo temporal

formando el sistema visual ventral, mientras que las vías del segundo sistema se dirigen del lóbulo occipital al lóbulo parietal formando la vía visual dorsal. Adicionalmente, se ha propuesto que desde el punto de vista anatómico la corteza visual incluye la corteza primaria (también conocida como corteza estriada o V1), que corresponde al área de Brodmann (AB) 17, y la corteza alrededor del área primaria llamada corteza visual extra estriada; esta última incluye las llamadas áreas V2, V3, V4, V5 y V6 (localizadas en las AB18 y AB19). La corteza visual V4 es funcional dentro del sistema de la vía visual ventral, mientras que las áreas V5 y V6 participan en el sistema de la vía visual dorsal. Las áreas V1, V2 y V3 (Figura 1) forman parte de las dos vías visuales (Roselli, 2015).

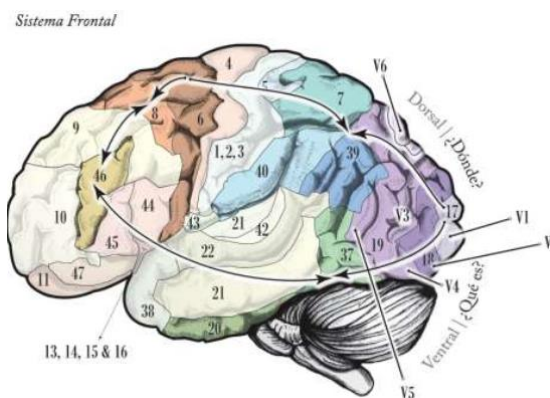


Figura 1. Los dos sistemas visuales ventral y dorsal. El área visual V1 corresponde a la corteza estriada (AB 17) y las áreas visuales V2, V3, V4, V5 y V6 que involucran a la corteza visual de asociación en donde V4 pertenece al sistema visual ventral y V5 y V6 al sistema visual dorsal. V2 y V3 participan en los dos sistemas (Tomado de Roselli, 2015).

Las vías dorsal y ventral se proyectan rostralmente hacia áreas comunes y distintas, aunque adyacentes de la corteza prefrontal. Los estudios de imagen sugieren que estas redes prefrontales están involucradas en una variedad de procesos espaciales y se han descrito al menos tres vías principales de proyección desde el lóbulo parietal: una vía prefrontal parietal que media el movimiento ocular y la memoria de trabajo espacial, una vía premotora parietal que media el

movimiento guiado visualmente (movimiento ocular, alcance y agarre) y una vía temporal medial parietal que procesa información espacial compleja para la navegación. Además, una variedad de procesos espaciales se han asociado con el procesamiento del flujo visual dorsal, entre ellos se encuentran la localización espacial, la atención espacial y la rotación mental. Existe evidencia sustancial de la independencia funcional y anatómica de estos procesos en el sistema dorsal, no obstante, algunos trabajan en conjunto con la vía ventral (Stiles, Akshoomoff y Haist, 2013).

Atención

La atención puede definirse como un mecanismo central de control del procesamiento de información que actúa de acuerdo con los objetivos del organismo, activando e inhibiendo procesos, y que puede orientarse hacia los sentidos, las estructuras de memoria y los sistemas de respuesta (Posner y Dehaene, 1994). El sistema atencional es un sistema complejo, no unitario, cuyas partes se concretan anatómicamente en un conjunto de tres redes de áreas específicas, la red de vigilancia, la red anterior y la red posterior. Aunque estas redes no son excluyentes mutuamente ni abarcan todos los aspectos de la atención, han sido la base para el estudio de los mecanismos atencionales del cerebro en animales y humanos (Posner, Petersen, Fox y Raichle, 1988; Posner *et al.*, 2006).

Red de vigilancia

Participa en el incremento y mantenimiento del estado de alerta, es dependiente del sistema reticular ascendente. Es el responsable de generar un nivel de alertamiento óptimo que permita el procesamiento de señales relevantes. Esta red de vigilancia influye en los sistemas atencionales

anterior y posterior de dos maneras: una, suprimiendo la actividad de base del sistema anterior y dos, incrementando la eficiencia en la orientación hacia los estímulos relevantes. La norepinefrina (NE) es el principal neurotransmisor implicado en el mantenimiento del estado de alerta, está formada por las proyecciones norepinefrinérgicas a la corteza cerebral procedentes del locus coeruleus y aumenta su actividad principalmente en el lóbulo frontal derecho proporcionando el tono atencional necesario para realizar cualquier actividad de forma óptima. Implica el estado generalizado de receptividad a la estimulación (alerta tónica o duradera) y a la preparación de respuestas (alerta fásica o de corta duración) (Rueda, Pozuelos y Cómbita, 2015).

Red de atención anterior (control ejecutivo)

El sistema de atención anterior (cingular y ganglios basales) está involucrado en el reclutamiento y control de áreas cerebrales para realizar tareas cognitivas complejas. Esta red también está involucrada en la selección de objetos visuales cuando las instrucciones enfatizan las propiedades del objeto y que requieren la selección de objetivos entre estímulos competidores. De aquí que se haya relacionado la función del cíngulo anterior con la experiencia de focalización en el objetivo y que esta red atencional también se conozca como red ejecutiva. La red ejecutiva está involucrada con nuestra experiencia subjetiva de atención y permite la regulación de los pensamientos, sentimientos y comportamientos. Además, presenta una activación durante tareas que requieren detectar estímulos visuales que han de ser discriminados a partir de su color, forma, movimiento o significado (Posner y Dehaene, 1994; Colmenero, Catena y Fuentes, 2001).

Red de atención posterior (orientación)

La red posterior (corteza parietal superior, pulvinar y colículo superior) se centra en la capacidad de priorizar la entrada sensorial seleccionando una modalidad o ubicación de un estímulo entre varios, así como pasar de un estímulo al siguiente. Está relacionada con la orientación de la atención, por lo que también se le ha llamado red de orientación. El término orientación hace referencia al alineamiento manifiesto (de los órganos sensoriales) o encubierto (de la atención) con una fuente de información sensorial o con un contenido de la memoria (Posner, 1980). La orientación puede ser provocada por un estímulo (exógena, de abajo hacia arriba) o deberse a un plan interno de búsqueda generado por el individuo (endógena, de arriba a abajo). La atención sostenida o tónica se basa en procesos voluntarios, mientras que la preparación fásica es automática y está vinculada a cambios en la estimulación (Colmenero, Catena y Fuentes, 2001; Rueda, Pozuelos y Cómbita, 2015).

La red de orientación a eventos sensoriales ha sido la más estudiada de estas redes y es ampliamente aceptado que las áreas parietales superiores e inferiores, como los ganglios basales, funcionan en conjunción con algunas áreas subcorticales, incluido el núcleo pulvinar del tálamo y el colículo superior, como parte de la red de atención posterior. Además, la mayoría de los estudios de esta red la han involucrado con propiedades visuales, como las características, superficies y objetos de forma aislada o en combinación con la selección espacial, y han indicado que las áreas frontal y posterior también están involucradas en la orientación: por ejemplo, los estudios en animales humanos y no humanos han implicado los campos oculares frontales (FEF) en este proceso (Posner *et al.*, 2006; Petersen y Posner, 2012).

Atención visoespacial

Con respecto al tipo de demandas de atención visual, una distinción en la investigación es entre la atención basada en objetos y la atención espacial. La atención basada en objetos se refiere a la atención selectiva de las características de un objeto (p. ej. atención al color o la forma de un objeto), mientras que la atención espacial, se refiere operacionalmente a la ventaja en velocidad y precisión de procesamiento de objetos que se encuentran en regiones del espacio atendidas en comparación con los objetos ubicados en regiones no atendidas (Posner, 1980; Bartolomeo, Thiebaut de Schotten y Chica, 2012; Balslev, Odoj y Karnath, 2013; Ickx, Bleyenheuft y Hatem, 2017).

La atención visoespacial se puede definir como la selección de una ubicación en el espacio visual que permite la orientación, procesamiento de estímulos preferenciales o relevantes (Posner y Petersen, 1990) y la adaptación exitosa de los organismos a entornos en constante cambio, manteniendo sus objetivos (Bartolomeo, Thiebaut de Schotten y Chica, 2012). En ella, se pueden distinguir diferentes marcos de referencia: egocéntricos y allocéntricos. La representación visoespacial egocéntrica es importante para la planificación del movimiento y el control motor durante la interacción directa entre el cuerpo y los objetos, mientras que la representación allocéntrica es importante para determinar las referencias espaciales en el entorno. Además, se sabe que los cambios de atención visoespacial son encubiertos cuando ocurren mientras se mantiene la fijación visual y endógenos cuando se activan voluntariamente por el individuo o una instrucción (Corbetta y Shulman, 2011).

Aspectos neuroanatomofuncionales de la atención visoespacial

Los datos de neuroimagen en sujetos sanos han inspirado un modelo anatómo-funcional de atención visoespacial relacionado con una red en las cortezas frontales, parietales y temporales, además de las estructuras subcorticales, como el tálamo y los colículos superiores (Balslev, Odoj y Karnath, 2013). Los lóbulos parietales forman alrededor del 20% de la corteza cerebral humana y participan principalmente en funciones cognitivas que involucran representaciones espaciales, como desvincular la atención de una ubicación y permitir un cambio de atención a otra ubicación. Además, combinan información espacial con un rango de factores no espaciales de orden superior, como la recompensa, las propiedades del objeto y las asociaciones semánticas (Corbetta y Shulman, 2011; Stiles, Akshoomoff y Haist, 2013). La corteza parietal posterior (PPC) desempeña un papel importante en la selección atencional en los seres humanos. La PPC se subdivide en tres regiones principales: el lóbulo parietal superior (SPL) que está ubicado dorsalmente, el lóbulo parietal inferior (IPL) que se encuentra más ventralmente, y la unión temporo-parietal (TPJ). Las regiones SPL/IPL están implicadas en el control voluntario de la atención (*top-down*) y se correlaciona con la velocidad de la detección de estímulos preferentes y que aumenta la actividad con la demanda de selección de atención espacial (Shomstein y Gottlieb, 2016), mientras que se piensa que TPJ es responsable de la captura de atención involuntaria (*bottom-up*) (Bartolomeo, Thiebaut de Schotten y Chica, 2012; Shomstein y Gottlieb, 2016).

Actualmente se sabe de un sistema de redes fronto-parietales para el control de la atención visoespacial, en los cuales se han diferenciado una red fronto-parietal ventral y una dorsal. La red fronto-parietal ventral incluye la TPJ y el giro frontal inferior y medio (IFG y MFG), y está involucrada en la detección de estímulos presentados en ubicaciones desatendidas o inesperadas que desencadenan cambios de atención (p. ej. cuando aparecen estímulos fuera del foco de atención

espacial) y se ha propuesto que este sistema ventral presenta una asimetría hemisférica funcional derecha en el cerebro (Kravitz *et al.*, 2011; Vossel, Geng y Fink, 2014). Por otro lado, la red fronto-parietal dorsal comprende el surco intraparietal medial (mIPS), el SPL, *precuneus*, campo ocular suplementario (SEF) y el FEF (Figura 2), los cuales tienen como función principal mediar la asignación voluntaria dirigida de arriba hacia abajo (*top-down*) de la atención a ubicaciones o características y el mapeo de estímulos (Balslev, Odoj y Karnath, 2013). Tanto mIPS como FEF contienen áreas con mapas retinotópicamente organizados del espacio contralateral que permiten el mantenimiento de mapas de prioridad espacial para la atención espacial, planificación de eventos sacádicos y memoria de trabajo visual). Además, la red fronto-parietal dorsal también se activa durante la atención basada en características (p. ej. cuando se previene el color de un estímulo objetivo) y proporciona una codificación espacial en múltiples marcos de referencia (Ickx, Bleyenheuft y Hatem, 2017). Asimismo, se ha observado que la corteza prefrontal lateral se activa cuando la atención está orientada hacia los objetos sobresalientes en el espacio en función de la relevancia de la tarea y la distinción sensorial, mientras que la corteza prefrontal dorsal presenta una activación durante los movimientos sacádicos guiados visualmente y con la reasignación de los movimientos oculares ante el cambio del estímulo sensorial (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011; Bartolomeo y Malkinson, 2019). Finalmente, la codificación egocéntrica y aloécéntrica del estímulo se ha observado en el surco intraparietal (IPS) y el SPL, mientras que, en reposo, varias de estas áreas presentan actividad altamente correlacionada con los sistemas sensoriales y motores (Corbetta y Shulman, 2011).

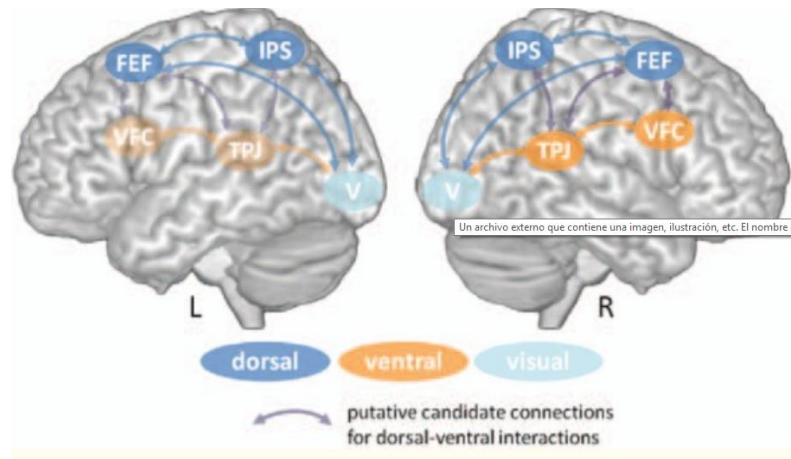


Figura 2. Ilustración esquemática de los componentes corticales del sistema de atención dorsal (azul) y ventral (naranja) en el cerebro humano. IPS (surco intraparietal), FEF (campo ocular frontal), TPJ (unión temporo-parietal) y VFC (corteza frontal ventral) (Tomado de Vossel, Geng y Fink, 2014).

Estas dos redes fronto-parietales están anatómicamente sustentadas por tractos de materia blanca que forman el fascículo longitudinal superior (SLF). En modelos animales se han identificado tres ramas SLF y en humanos se ha encontrado una arquitectura similar (Vossel, Geng y Fink, 2014). La rama más dorsal (SLF I) se origina en el precúneo y el lóbulo parietal superior (áreas de Brodmann, [BA] 5 y 7) y se proyecta hacia la circunvolución cingulada frontal y anterior superior (BA 8, 9, 32), conectando simétricamente la red fronto-parietal dorsal. En contraste, la rama intermedia (SLF II) se origina en el IPS y el giro angular (BA 39 y 40), y une las porciones posteriores del giro frontal superior y medio (BA 8 y 9), su función principal es conectar regiones cerebrales dentro de la red fronto-parietal ventral con el componente prefrontal de la red dorsal, así como permitir una comunicación directa entre ambas redes (Corbetta y Shulman, 2011). Esta rama presenta un mayor volumen y especialización en el hemisferio derecho correlacionada con los signos conductuales de la atención visoespacial y las asimetrías en la velocidad de detección entre el hemicampo derecho e izquierdo. Finalmente, la vía más ventral (SLF III) se origina en la TPJ (BA 40) y termina en la circunvolución frontal inferior (IFG, BA 44, 45 y 47), y también

presenta mayor volumen en el hemisferio derecho (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Hasta ahora se sabe que presentar un tracto más grande en el hemisferio derecho podría depender de varios factores, como un mayor diámetro axonal, mayor número de axones y una mayor mielinización que se correlacionan con la velocidad de conducción (Lunven y Bartolomeo, 2017) y que se ha relacionado con una especialización del hemisferio derecho para la atención visoespacial (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011).

Bases cognitivas de la atención visoespacial

Estudios clínicos en pacientes con lesiones cerebrales y pruebas neuropsicológicas en pacientes con cerebro dividido han corroborado que la atención visoespacial es una función del hemisferio derecho. La evidencia funcional principal que respalda esta afirmación es que el síndrome de heminegligencia es más común, severo y de mayor duración en este hemisferio en comparación con el daño al hemisferio izquierdo (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011; Lunven y Bartolomeo, 2017). La manifestación clínica representativa del síndrome es el deterioro lateralizado en la exploración y orientación de eventos en el espacio contralesional, a pesar de preservar la percepción visual y el rendimiento motor normal, así como presentar dificultades para reorientar su atención a eventos contralesionales inesperados (Newman, Loughnane, Kelly, O'Connell & Bellgrove, 2017; Zuanazzi y Cattaneo, 2017). El síndrome es causado principalmente por la interacción desequilibrada de la red fronto-parietal interhemisférica derecha y la interrupción del sistema de atención fronto-parietal dorsal (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). El daño a las regiones ventrales del hemisferio derecho (que deteriora la excitación, la reorientación y la detección) hipoactiva esta zona, reduciendo las interacciones entre la red de atención ventral-dorsal y entre las regiones de la red dorsal ipsilesional (derecha) (Vossel, Geng y Fink, 2014), dando

como resultado una actividad fisiológica interhemisférica desequilibrada en la red dorsal tanto en reposo como durante una tarea y que conduce a un aumento de la actividad de áreas visuales tempranas del hemisferio izquierdo (Corbetta y Shulman, 2011; Kravitz *et al.*, 2011).

El grado de asimetría hemisférica funcional en la atención visoespacial observado en el síndrome de heminegligencia espacial sugiere una ventaja cognitiva para segregar información potencialmente competitiva en dos diferentes redes atencionales (ventral y dorsal). Aunque los nodos principales de la red fronto-parietal (dorsal y ventral) y sus funciones ya no se debaten, quedan aún preguntas con respecto a la organización funcional cerebral, la lateralización hemisférica de cada red, la interacción de las dos redes entre sí, así como la relación que presentan con otras funciones cognitivas, por lo que su investigación en el área de las neurociencias continúa siendo una línea de investigación (Vossel, Geng y Fink, 2014).

III. Lateralidad manual y atención visoespacial

Una forma de explorar la asimetría hemisférica funcional de la atención visoespacial es estudiar la variabilidad hemisférica de las redes espaciales y la relación con la preferencia manual (Petit *et al.*, 2015). Dentro de este contexto en el 2013 Cai *et al.*, investigaron la lateralización de la atención visoespacial en participantes con dominancia del lenguaje normal y atípica mediante IRMf. En sus resultados encontraron que en los zurdos la atención visoespacial se lateraliza atípicamente cuando el lenguaje se representa atípicamente, debido a que 13 zurdos que mostraron una lateralización atípica del hemisferio derecho durante una tarea de generación de palabras, también presentaron una lateralización hacia la izquierda para la atención visoespacial predominantemente en la red fronto-parietal dorsal. Por otro lado, Petit *et al.* (2015) encontraron que los participantes zurdos de

su muestra presentaron una dominancia hemisférica derecha de la red de atención fronto-parietal dorsal, contrastando con estudios previos, en los cuales, se había encontrado una relación de dominancia derecha sólo en la red de atención fronto-parietal ventral en sujetos diestros. Los autores concluyeron que los zurdos posiblemente presentan una ventaja adaptativa al tener el mismo dominio hemisférico derecho en la mano dominante y en la atención visoespacial. Para corroborar la información previa, en el 2019 Bartolomeo y Malkinson reportaron que la actividad en la red fronto-parietal dorsal es simétrica a través de los hemisferios en diestros, no obstante, en el grupo zurdo observaron una fuerte lateralización hacia la derecha de esta red. Finalmente, también encontraron que la red fronto-parietal ventral está lateralizada al hemisferio derecho en ambos grupos, por lo que confirmaron que la variabilidad en el dominio hemisférico para la atención visoespacial se podría relacionar con la preferencia manual.

Con respecto al desempeño en tareas de atención visoespacial entre diestros y zurdos Galán-López y del Río-Portilla (2012) reportaron que los diestros obtuvieron un mayor número de aciertos totales, demostrando mayor eficiencia para localizar estímulos. Además, realizaron un análisis por hemicampo visual y observaron predominio en diestros para la localización en el hemicampo visual izquierdo, así como mayor rapidez para responder en el hemicampo visual derecho y menor número de omisiones respecto al grupo zurdo, por lo que concluyeron que la localización de estímulos, un proceso básico del funcionamiento visoespacial, presenta una asimetría significativa y que la lateralidad manual está diferencialmente relacionada a distintos tipos de habilidades visoespaciales, incluida la atención visoespacial.

Una hipótesis derivada de estas investigaciones es que la población zurda obedece a diferentes reglas de asimetría hemisférica funcional para distintas funciones cognitivas en comparación con los diestros. Para validar esta hipótesis, futuras investigaciones con enfoque de

organización inter- e intrahemisférica cerebral podrían implementar una condición de reposo y al realizar alguna tarea de una función cognitiva, como la atención visoespacial, que permitan explorar los mecanismos que controlan la lateralización cerebral y las relaciones entre los patrones de lateralización cerebral y el rendimiento cognitivo (Zago *et al.*, 2015).

IV. Actividad eléctrica cerebral

El electroencefalograma (EEG) es una técnica electrofisiológica para el registro de la actividad eléctrica que surge del cerebro humano. Debido a la sensibilidad temporal que presenta, la principal utilidad del EEG está en la evaluación del funcionamiento cerebral dinámico, que en el área de las neurociencias permite un análisis de la actividad cognitiva. La actividad eléctrica cerebral se genera principalmente, por neuronas piramidales corticales en la corteza cerebral (principalmente en las capas tres y cinco) que están orientadas perpendicularmente a la superficie del cerebro (Britton *et al.*, 2016). La actividad neuronal detectable por el EEG es la suma de los potenciales postsinápticos excitadores e inhibitorios de grupos relativamente grandes de neuronas, que se disparan sincrónicamente. La actividad cerebral registrada proviene de señales eléctricas (microvolts) que se amplifican y se filtran para obtener su registro. La actividad cortical que se muestra en el EEG se relaciona a un rango de frecuencia entre los 0.5 y alrededor de los 50 Hz, con una amplitud entre 5 y 200 microvolts (Fellrath *et al.*, 2016). Solo a través de la medición de las diferencias en el potencial eléctrico se generan formas de onda EEG discernibles clasificadas en cinco bandas principales con base en su frecuencia, morfología, amplitud y el estado funcional en que aparecen: Delta (δ) de 0.5-3.5 ciclos por segundo (Hz), Theta (θ) de 4 a 7.5 Hz, Alfa (α) de 8 a 12.5 Hz y Beta (β) de 13-25 Hz. Frecuencias superiores a 25 Hz pueden verse durante las grabaciones intracraneales; estas frecuencias se denominan Gamma (γ) y se dividen en gamma

baja (25–70 Hz) y gamma alta (> 70 Hz) (Marcuse, Fields y Yoo, 2016). Las bandas de frecuencia permiten obtener información sobre el funcionamiento y procesamiento cerebral en diversas situaciones, además ha demostrado utilidad en el ámbito de la investigación para conocer la base neurofisiológica que subyace a la actividad cognitiva (Prost, Villanueva, Morikone, Polo, y Bosch, 2000).

El EEG mide un amplio espectro de oscilaciones neuronales y por lo tanto puede capturar información adicional sobre la organización funcional del cerebro. Además, el EEG cuantitativo (qEEG) ha demostrado ser útil para identificar la actividad de EEG relacionada con las funciones cognitivas, el comportamiento y la patología (Fellrath *et al.*, 2016). Actualmente, el análisis cuantitativo de EEG ha alcanzado un alto nivel de desarrollo con métodos sofisticados que permiten la construcción de mapas corticales y la ubicación de la fuente actual. A través de la cuantificación y el análisis del contenido de frecuencia de las ondas cerebrales, la señal se deconstruye en sus frecuencias de sub-banda y/o se obtiene un espectro de potencia que reflejan la activación cerebral funcional continua durante un lapso en una determinada condición (Houston y Ceballos, 2013). Dentro del análisis de qEEG, el análisis de potencia espectral es el más utilizado y se obtiene mediante la Transformada de Fourier (FT) que proporciona información acerca de la energía o potencia (cuadrado de la amplitud de los componentes de la señal) de cada frecuencia. La potencia se expresa típicamente en unidades absolutas o relativas y ha permitido identificar ensamblajes neurales ante una condición (Guevara *et al.*, 2003). Además, a partir de estos algoritmos computacionales se comenzaron a utilizar diferentes métodos matemáticos como el espectro de correlación (inter- e intrahemisférica), el cual proporciona información como el grado de sincronía entre dos o más regiones cerebrales respecto a sus valores de frecuencia, por lo que se ha incluido

en diferentes campos de investigación, como es en el caso de trastornos psiquiátricos y funciones cognitivas (Guevara y Corsi-Cabrera, 1996).

La correlación interhemisférica mide el grado de similitud entre dos señales EEG obtenidas en canales homólogos situados entre ambos hemisferios cerebrales, mientras que la correlación intrahemisférica mide el grado de similitud entre dos señales EEG obtenidas en canales homólogos situados en el mismo hemisferio cerebral. Ambas medidas proporcionan información sobre las interacciones funcionales de circuitos neuronales entre las diferentes áreas cerebrales subyacentes al par de electrodos de registro en reposo y/o en el procesamiento funcional cognitivo (Fellrath *et al.*, 2016).

Lateralidad manual y actividad eléctrica cerebral

Dentro de los estudios de conectividad funcional Gálvez *et al.* (2004) analizaron cómo el acoplamiento inter- e intrahemisférica está relacionado con la predominancia manual bajo dos condiciones de respuesta (mano dominante y no dominante). Los resultados en el grupo de zurdos mostraron significativamente mayor actividad intrahemisférica y menor actividad coherente interhemisférica en comparación con los diestros en la condición mano dominante. El uso de la mano no dominante fue asociado con menor actividad interhemisférica en zurdos, por lo que los autores concluyeron que los zurdos requieren de una mayor participación intrahemisférica durante el movimiento.

Atención visoespacial y actividad eléctrica cerebral

Estudios con respecto a la conectividad funcional en las redes atencionales dorsal y ventral han demostrado que las oscilaciones en la banda beta están involucradas en el proceso de alertamiento, así como en mecanismos anticipatorios del proceso atencional (Kamiński *et al.* 2012). Asimismo, en un estudio realizado con una muestra de sujetos sanos diestros al realizar una tarea de atención visoespacial, se encontró una conectividad funcional de la banda theta en la corteza prefrontal dorsolateral derecha (rDLPC) y la corteza parietal superior derecha (rSPC), demostrando la implicación de ésta banda en la modulación de la atención visoespacial a cargo de la red fronto-parietal dorsal (Fellrath *et al.*, 2016).

Respecto a otras bandas de frecuencia involucradas en la atención visoespacial, se ha encontrado la atenuación del ritmo alfa, específicamente en la red fronto-parietal dorsal, para la asignación de atención correspondiente a la anticipación de estímulos visuales y las ubicaciones desatendidas por lo que se ha relacionado con el éxito de la supresión de distractores (Doesburg, Bedoc y Ward, 2016). Además, la sincronización de esta banda podría coordinar y regular el procesamiento neuronal a través de la red fronto-parietal dorsal y contribuir al dominio del hemisferio derecho en la atención visoespacial (Lobier, Palva y Palva, 2018). Finalmente, también se ha encontrado que las oscilaciones gamma presentan una activación en tareas de atención visoespacial y que incluso, la atención puede modular el perfil espectral de la respuesta gamma inducida por la estimulación visual a través de la jerarquía visual cortical humana, tanto en la corteza visual temprana como en las áreas que involucran la red fronto-parietal ventral (Magazzini y Singh, 2018).

Atención visoespacial, lateralidad manual y actividad eléctrica cerebral

Una gran cantidad de estudios han investigado y revelado diferencias entre los diestros y los zurdos en el desempeño de diversas tareas cognitivas por medio de la valoración de la actividad eléctrica cerebral. En el 2015, Galán evaluó una gama de habilidades visoespaciales, incluida la atención visoespacial y exploró la organización funcional en diestros y zurdos. Los resultados con respecto a detectar la ubicación del estímulo en la tarea de atención visoespacial, mostraron que los diestros presentaron mayor potencia absoluta (PA) de gamma y mayor acoplamiento temporal interhemisférico entre regiones frontales derechas respecto a los zurdos en la banda theta. De forma general, la autora concluyó que los diestros presentaron mayor especialización hemisférica en comparación con los zurdos sobre la atención visoespacial, por lo que los zurdos podrían presentar un patrón de organización funcional diferente.

La idea de que la lateralidad manual y la asignación de atención están interrelacionadas no es reciente. Estudios anteriores han mostrado diferencias entre los diestros y los zurdos en las tareas relacionadas con la asignación de atención y el procesamiento visoespacial que respaldan la presencia de un sesgo atencional hacia una mano dominante, sin embargo, existen contradicciones entre ellos (Le Bigot y Grosjean, 2012). La descripción de los trabajos previos pone de manifiesto que el estudio de la atención visoespacial y la lateralidad manual, desde la perspectiva neurofisiológica, es aún no concluyente, lo que señala la necesidad de explorar la organización funcional cerebral a nivel de procesamiento cognitivo.

V. Planteamiento del problema

Justificación

La lateralidad manual es la mayor evidencia conductual de especialización hemisférica. Estudios específicos con población zurda han reportado nuevos conocimientos neuroanatomofuncionales principalmente en relación con la lateralización cerebral de algunas funciones cognitivas, como el procesamiento del lenguaje, que no coinciden con la organización neuronal de personas diestras. Además, las personas zurdas presentan funciones cerebrales lateralizadas atípicamente, lo que permite estudiar la presencia o ausencia de lateralización en diferentes funciones cognitivas, específicamente en aquellas para las que se ha descrito un componente de asimetría hemisférica, como es el caso de la atención visoespacial (Hepper, 2013; Guadalupe *et al.*, 2014; Willems *et al.*, 2014). Esta particularidad del comportamiento y la lateralización hemisférica funcional del cerebro, apoyan firmemente la idea de que la organización lateralizada del sistema nervioso central proporciona una ventaja evolutiva (Ocklenburg *et al.*, 2013), debido a que evita la duplicación innecesaria de la actividad neuronal en ambos hemisferios, permitiendo así procesamiento neuronal más rápido en un solo hemisferio y una mejor coordinación de los comportamientos unilaterales en seres humanos y no humanos (Badzakova-Trajkov *et al.*, 2010; Ocklenburg *et al.*, 2017).

Aunque ahora existe una vasta información acerca de la especialización hemisférica para el lenguaje, la preferencia manual y el procesamiento visoespacial de forma aislada, el componente central de las investigaciones radica en saber cómo la lateralización funcional de una modalidad puede interactuar con asimetrías para otras funciones cognitivas en los seres humanos y en otras especies. Dentro de esta área de investigación el procesamiento visoespacial se ha abordado de manera individual para algunas habilidades (memoria de trabajo, rotación mental y atención

visoespacial) y se han encontrado inconsistencias en los resultados entre personas diestras y zurdas (Cai *et al.*, 2013; Willems *et al.*, 2014; Galán, 2015; Uomini y Ruck, 2018). Con respecto al estudio de la asimetría hemisférica funcional de la atención visoespacial, se ha sugerido la hipótesis sobre el origen de la dominancia hemisférica derecha a través de una relación directa con la lateralidad manual, mediante la cual se mapea un contexto espacial perceptivo y de actividades motoras, incluida la exploración del entorno espacial con ojos y manos, que permiten la función atencional visoespacial (Cochet, 2015; Petit *et al.*, 2015).

Una forma de explorar esta interacción es estudiar la variabilidad hemisférica de las redes espaciales (fronto-parietal ventral y dorsal), en relación con la lateralización motora, mediante el examen de los patrones de conectividad funcional en participantes sanos y con lesiones cerebrales que permitan la comprensión de la atención visoespacial (Fellrath *et al.*, 2016). Las imágenes electrofisiológicas cuantifican estadísticamente la interdependencia entre señales en diferentes regiones en lugar de tratar cada área de forma independiente, lo cual proporciona información más detallada sobre las interacciones de la red atencional espacial. Adicionalmente, a diferencia de los estudios con IRMf, el EEG cuantifica un amplio espectro de oscilaciones neuronales que permiten capturar información adicional sobre la organización funcional del cerebro (Doesburg *et al.*, 2016).

La tarea de atención visoespacial propuesta permite investigar la interacción entre las representaciones visoespaciales alocéntricas y egocéntricas, así como los sistemas cerebrales involucrados cuando la atención debe cambiar a una nueva ubicación que en conjunto, permiten el procesamiento espacial. Asimismo, la exploración de la organización funcional cerebral de la atención visoespacial en relación con la lateralidad manual pertenece a una línea de investigación aún por explorar.

Preguntas de investigación

¿Cómo es la organización funcional cerebral de personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial en términos de la actividad electroencefalográfica?

¿Existen diferencias en la organización funcional cerebral entre personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial?

¿Existen diferencias en el desempeño entre personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial?

Objetivos

General: Conocer la organización funcional, en términos de la actividad electroencefalográfica, de personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial.

Específicos:

Analizar la organización funcional cerebral inter-, intrahemisférica y potencia absoluta obtenida de la actividad electroencefalográfica de personas zurdas y diestras durante la realización de una tarea de atención visoespacial.

Comparar la organización funcional cerebral inter-, intrahemisférica y potencia absoluta obtenida de la actividad electroencefalográfica entre personas zurdas y diestras durante la realización de una tarea de atención visoespacial.

Comparar la conducta (respuestas correctas y tiempos de reacción) entre personas zurdas y diestras durante la realización de una tarea de atención visoespacial.

Hipótesis

La organización funcional cerebral durante una tarea de atención visoespacial presenta una organización distinta en personas zurdas respecto a diestras.

Las personas zurdas presentarán mayor actividad intrahemisférica durante la realización de la tarea de atención visoespacial.

Las personas diestras presentarán mayor actividad interhemisférica durante la realización de la tarea de atención visoespacial.

Las personas zurdas mostrarán mayor número de respuestas correctas y menor tiempo de reacción que las personas diestras al realizar una tarea de atención visoespacial.

Tipo de estudio

Estudio descriptivo comparativo.

VI. Método

Variables

Variable Organísmica

Lateralidad Manual. Se define como la preferencia para utilizar una mano sobre la otra en la mayoría de las actividades reflejada en una mayor habilidad y fuerza. Para este trabajo se identificó una consistencia en el uso unimanual (derecha o izquierda), con base en el Inventario de Edimburgo (Oldfield, 1971) y el Cuestionario de Annet (Annett, 1967) descritos en el apartado de instrumentos.

Variables Dependientes

Atención Visoespacial. Definida como la capacidad de asignar recursos cognitivos a una ubicación en el espacio visual que permite la orientación, procesamiento de estímulos preferenciales o relevantes y la adaptación exitosa de los organismos a entornos en constante cambio manteniendo sus objetivos (Posner y Petersen, 1990). Para este trabajo la atención visoespacial se estudió utilizando una tarea con paradigma *Go/No-Go* modificada de Wauschkuhn *et al.* (1998) descrita en el apartado de instrumentos.

Actividad eléctrica cerebral. Se refiere a la señal de potencial de campo local proveniente de la suma de potenciales excitatorios e inhibitorios de grupos neuronales medida a nivel del cuero cabelludo a través de un amplificador o electroencefalógrafo en una ventana temporal (Grave-de Peralta *et al.*, 2004). Se consideró para el análisis las medidas espectrales de potencia absoluta y acoplamiento temporal inter- e intrahemisférico.

Variables Independientes

Condición. Para este estudio se presentó una condición: el registro electroencefalográfico simultáneo al realizar la tarea de atención visoespacial. Adicionalmente, se registró la actividad de ojos abiertos sin parpadear (actividad espontánea) como línea base previa a realizar la tarea, debido a que la conectividad funcional en reposo proporcionó información adicional diferente a la obtenida en la activación (Fellrath *et al.*, 2016).

Participantes

Se utilizó una muestra intencional no probabilística, conformada por 20 personas zurdas y 20 diestras (20 mujeres y 20 hombres), reclutadas por invitación y carteles colocados en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Con base en la lateralidad manual, se conformaron dos grupos con el mismo número de mujeres y hombres. Además, se entregó un consentimiento informado por escrito con base en los criterios éticos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2015).

Como criterios de inclusión, los participantes debían contar con un rango de edad en años 21-30, contar con un mínimo de 12 años de educación formal y demostrar una consistencia unimanual acorde a las pruebas de lateralidad manual (mayor al 80%), presentar visión normal o corregida y para el caso de las mujeres, estar en fase pre-ovulatoria (cuando los niveles hormonales están con mayor probabilidad equiparables con los hombres; Solis *et al.*, 1992) al momento del estudio.

Se descartaron del estudio participantes con preferencia manual ambidiestra y que en la entrevista reportaran diagnóstico de alteraciones neurológicas o psiquiátricas y/o que estuvieran

bajo tratamiento psicofarmacológico. Asimismo, aquellos que no terminaron las evaluaciones y que presentaron en el registro electroencefalográfico contaminación por artefactos.

Instrumentos

Inventario de Lateralidad de Edimburgo. (Oldfield, 1971). Inventario de autoinforme que evaluó el grado de preferencia manual mediante 10 reactivos de tareas manuales cotidianas (escribir, dibujar, lanzar un objeto, cepillarse los dientes, manipular tijeras, cuchillo, cuchara y escoba, encender un cerillo y abrir una caja), con un rango de valor de 1 a 5 (siendo el 1 derecha muy preferente, 2 derecha preferente, 3 mano indiferente, 4 izquierda preferente, 5 izquierda muy preferente). Al final de la prueba se obtuvo un cociente de lateralización indicando el grado de preferencia manual. El instrumento cuenta con valores normativos en población mexicana (Cuencas *et al.*, 1990).

Cuestionario de Annett. (1967). Cuestionario que evaluó la preferencia del uso de una mano sobre la otra a través de preguntas y realización de acciones unimanuales (escribir, lanzar, tomar un martillo etc.). Se otorgó un puntaje con base a la mano empleada y éste determinó la preferencia manual.

Tarea de Atención Visoespacial. Se utilizó el paradigma *Go/No-Go* de atención visoespacial modificado de Wauschkuhn *et al.* (1998). Mediante el *software* E-Prime® se presentó un círculo en cada hemisferio visual (total dos círculos [diámetro 2.5 cm y 10° de separación entre ellos]), con diferente color: un círculo gris (estímulo constante) y el otro círculo rojo, azul o verde (estímulo objetivo) (**Figura 3**). La tarea consta de dos fases con un componente de control inhibitorio: Fase 1) observar el color del estímulo objetivo e inmediatamente después dirigir la

mirada con base a las siguientes indicaciones: dirigir hacia la izquierda ante la presencia de un círculo rojo, hacia la derecha ante la presencia de un círculo azul y mantener la mirada fija al centro de la pantalla ante la presencia de un círculo verde (esta última instrucción fue el componente inhibitorio). Los estímulos considerados como error por comisión fueron los que la instrucción no coincidió con la dirección de mirada (p. ej., dirigir la mirada hacia la izquierda ante la presencia de un círculo azul) y de omisión aquellos en los que no se siguió la instrucción (p. ej., no dirigir la mirada hacia ningún lado ante la presencia del estímulo objetivo).

Fase 2) reportar la ubicación del estímulo objetivo mediante una botonera con la mano dominante (p. ej. botón 1 para señalar que el estímulo objetivo estaba en el hemisferio visual izquierdo y botón 2 para señalar que se encontraba en hemisferio visual derecho). Ante los círculos verdes no se registró la respuesta (componente inhibitorio). Los estímulos considerados como error por comisión fueron los que la ubicación no coincidió con la respuesta (p. ej., señalar con el botón 1 que el estímulo objetivo estaba en el lado izquierdo cuando se presentó en el lado derecho) y de omisión aquellos en los que no se respondió ante la presencia del estímulo objetivo (rojo y azul).

Un total de 150 estímulos objetivos se presentaron de forma aleatoria (50 círculos rojos, 50 círculos azules y 50 círculos verdes). El intervalo de fijación (cruz al centro de la pantalla) fue de 500 milisegundos (ms), la fase 1 tuvo una duración de 1500 ms, y el lapso para la fase 2 fue de 1000 ms; no obstante, si en el tiempo establecido no se emitía alguna respuesta se presentaba una pantalla en blanco que indicaba el comienzo de un nuevo ensayo. En total la tarea tuvo una duración aproximada de 15 minutos.

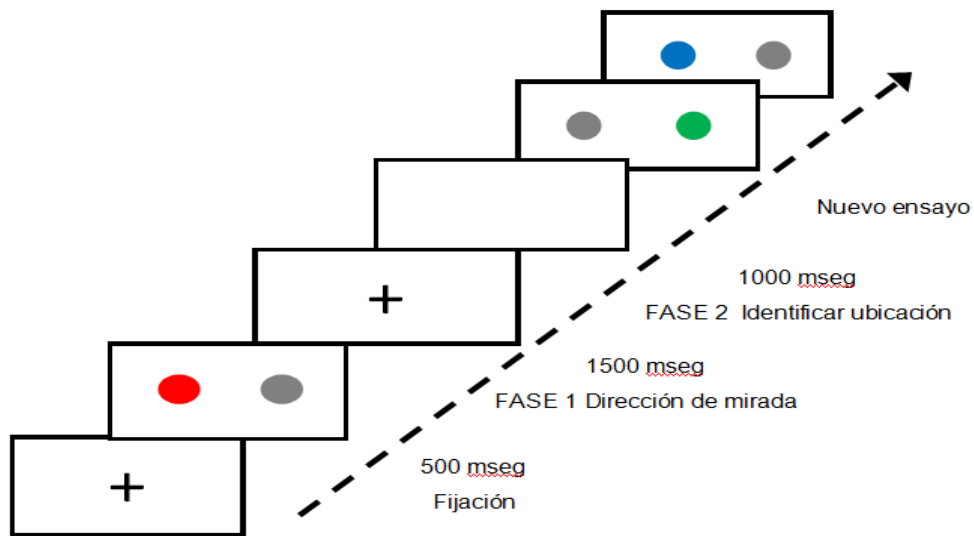


Figura 3. Esquema de la tarea de atención visoespacial (Tomado y modificado de Galán, 2015).

Materiales

Para la presente investigación se utilizaron dos computadoras con procesador Pentium IV. La primer computadora con *software* E-prime® permitió la presentación de los estímulos y registró la ejecución conductual de la tarea de atención visoespacial. La segunda computadora se utilizó para la captura de la señal eléctrica cerebral, tanto de los estímulos, como del EEG, con el *software* GAMMA versión 4.4. Finalmente, el registro de la señal de EEG se realizó mediante un polígrafo Grass modelo 20E sincronizado con ambas computadoras.

Procedimiento

La investigación consistió en una única sesión, en la cual se explicó el proyecto al participante con previa entrega de carta de consentimiento informado. Se determinó la lateralidad manual con una consistencia en el uso unimanual ya sea derecha o izquierda superior al 80% por medio de los instrumentos de Annett (1970) y Oldfield (1971). Porcentajes menores a este valor se relacionaron

con ambidiestros que no se incluyeron dentro de la muestra. Subsiguientemente, se realizó la asignación a los grupos zurdos y diestros. Finalmente, se llevó a cabo la aplicación del paradigma computarizado (tarea de atención visoespacial) en forma simultánea al registro de EEG que se describe a continuación:

Tarea de atención visoespacial

Para la presente investigación únicamente se analizó la fase 2 de la tarea de atención visoespacial, descrita previamente en el apartado de instrumentos. Durante la fase se registraron los tiempos de reacción (TR), las respuestas correctas, los errores y las omisiones.

Registro electroencefalográfico

El registro del EEG se realizó con un filtro de 1 a 70 Hz y 50 microVolts (mV) de ganancia para los canales. La señal fue digitalizada con una frecuencia de muestreo fue de 1024 Hertz (Hz) utilizando un convertidor analógico-digital de 12 bits de resolución. Los electrodos empleados fueron de copa de oro dispuestos en un montaje monopolar (referido al auricular ipsilateral) con base al Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958), y las impedancias se mantuvieron por debajo de los 10 kilo-ohms. Los movimientos oculares se registraron con dos electrodos colocados en el canto exterior izquierdo y derecho respectivamente.

Ya colocados los electrodos, se inició la sesión de registro de EEG con la instrucción a los participantes de permanecer relajados y despiertos. Se realizó un registro inicial de tres minutos y se solicitó al participante permanecer con los ojos abiertos mirando el punto de fijación para la

calibración fisiológica. Posteriormente, se explicó a los participantes la tarea de atención visoespacial tanto verbal como visualmente previo al registro del EEG. La presentación de los estímulos se realizó dentro de una cámara sonoamortiguada con el participante sentado en una posición confortable a una distancia de 60 cm de la pantalla de exposición.

Análisis de datos

Análisis de la señal. Fuera de línea se analizaron y seleccionaron las señales obtenidas del EEG. Se analizó 1 segundo previo a la presentación de los estímulos objetivo (condición de línea base) y 1 segundo posterior a emitir la respuesta de dicho estímulo (actividad al realizar la tarea de atención visoespacial). Los ensayos incluidos fueron todos los correctos y libres de artefactos, y se analizaron con los programas CHECAsEN y RECORSEN (Guevara *et al.*, 2010).

Para el análisis espectral se utilizó la transformada de Fourier por medio del programa POTENCOR (Guevara *et al.*, 2003), y se obtuvieron los valores de correlación que determinó el acoplamiento (inter- [áreas homólogas de ambos hemisferios] e intrahemisférico [áreas del mismo hemisferio]) de todos los posibles pares de electrodos, y la potencia absoluta (PA) de cada electrodo para los segmentos correspondientes a cada condición (línea base y actividad al realizar la tarea) en las siguientes bandas: Delta (1-3 Hz), Theta 1 (4-5 Hz), Theta 2 (6-7 Hz), Alfa 1 (8-10 Hz), Alfa 2 (11-13 Hz), Beta 1 (14-19 Hz) Beta 2 (20-25 Hz) y Gamma (31-50 Hz). El análisis de Fourier se utiliza para separar la media de los componentes de frecuencia y posteriormente determina el espectro de correlación cruzada en el dominio del tiempo calculando el coeficiente producto-momento de Pearson utilizando los valores de voltaje de cada canal, después de haber filtrado las señales para las bandas de frecuencia de interés (Guevara *et al.*, 2003). Debido a que

ambas medidas espectrales del EEG deben normalizarse antes del análisis estadístico, los valores de PA fueron transformados a logaritmos (Gasser, Bächer y Möcks, 1982) y los valores de acoplamiento (inter- e intrahemisférica) fueron transformados a puntajes Z de Fisher (John *et al.*, 1980) para aproximarlos a una distribución normal.

Análisis estadístico. La descripción de los datos demográficos se realizó utilizando medidas de tendencia central y dispersión. Se utilizó la prueba *t* de *Student* para muestras independientes para identificar las diferencias entre los grupos en los instrumentos de lateralidad, las variables de edad, número de años de escolaridad y los puntajes de la prueba de atención visoespacial.

Los valores de las derivaciones de la PA como los valores de correlación (inter- e intrahemisférica) fueron promediados por sujeto, para cada condición previamente al análisis estadístico. Para estudiar las características de la actividad electroencefalográfica (PA y correlación inter- e intrahemisférica) se realizaron análisis de varianza mixto (ANOVA) con el factor lateralidad manual (diestro-zurdo) como factor entre grupos; y condición (línea base-tarea de atención visoespacial) como factor para medidas repetidas. Para las pruebas *post hoc* de la PA y correlación (inter- e intrahemisférica), se utilizó la prueba Bonferroni con un nivel de significancia para todas las comparaciones ≤ 0.05 . Para mayor claridad en la descripción de los resultados obtenidos solamente se describen los que presentaron diferencias significativas.

Adicionalmente para reducir el número de variables e identificar redes funcionales en la PA, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) para cada banda de interés en ambas condiciones, con un nivel de significancia para todos los valores de correlación > 0.06 .

VII. Resultados

Características demográficas

La **Tabla 1** resume los datos demográficos y conductuales recabados en la muestra. Los grupos no difirieron en edad pero sí en el número de años de escolaridad: los diestros presentaron significativamente mayor número de años de escolaridad que los zurdos. Las dos pruebas de lateralidad demostraron diferencias significativas entre los grupos, principalmente el Inventario de Lateralidad de Edimburgo y en ambos instrumentos los diestros presentaron mayor consistencia manual. Finalmente, con respecto al número de aciertos en la tarea de atención visoespacial no mostraron diferencias en la lateralidad manual.

Tabla 1. Características de la muestra.

	<i>Diestros</i>		<i>Zurdos</i>		$t^{(38)}$	<i>P</i>
	<i>M</i>	<i>DE</i>	<i>M</i>	<i>DE</i>		
Edad	25.32	2.9	24	3.6	1.31	0.19
Años de Escolaridad	17.06	1.3	15.77	2	2.47	0.01
Inventario de Lateralidad de Edimburgo	10.36	1.02	47.45	3.09	-53.44	0.001
Cuestionario de Annett	98.50	3.86	93.68	8.93	2.32	0.02
Aciertos en tarea Atención Visoespacial	86%	20.04	83.3%	22.18	0.73	0.46
Errores por comisión	6.6%	17.20	9.4%	21.84	0.59	0.56
Errores por omisión	7.2%	12.19	7%	9.17	0.09	0.93

Media (*M*) y desviación estándar (*DE*) de las características de la muestra en lateralidad manual y demográficas. Se probaron las diferencias entre grupos mediante la prueba *t* de *Student* para muestras independientes.

Dado que no se encontraron diferencias entre diestros y zurdos en las respuestas correctas de la tarea, se decidió comparar los tiempos de reacción, errores y omisiones, utilizando la prueba *t*. No se identificaron diferencias de lateralidad manual en el número de errores, omisiones ni en los tiempos de reacción generales.

Resultados de la actividad eléctrica cerebral

Potencia absoluta

Para analizar los cambios de la potencia absoluta, se realizó un ANOVA mixto donde se comparó el factor inter-grupo de lateralidad manual y el factor intra-grupo de condición. En la **Tabla 2** se presentan los resultados significativos con la prueba Bonferroni en la derivación O1 para la banda Delta. El efecto principal fue en la lateralidad manual donde el grupo diestro presentó mayor PA ($M = 4.99$, $SE = 0.77$) en comparación que el grupo zurdo ($M = 4.68$, $SE = 0.10$) asimismo, la condición tarea presentó mayor PA ($M = 5.18$, $SE = 0.12$) que en línea base ($M = 4.49$, $SE = 0.08$). No observándose diferencias en la interacción.

Tabla 2. Diferencias en la potencia absoluta en la banda Delta.

Banda	Derivación	Lateralidad manual df= 1		Condición df= 1		Interacción df= 1	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Delta	O1	4.18	0.04	25.91	0.0001	1.15	0.289

ANOVA mixto para la potencia absoluta PA en la derivación O1 de la banda Delta. Lateralidad manual (Diestro y Zurdo); Condición LB (línea base) y Tarea (atención visoespacial). df (grados de libertad).

Como se mencionó previamente, se realizó un Análisis de Componentes Principales, las redes identificadas en línea base para ambos grupos (diestro-zurdo) (**Figura 4**), se tomaron para conocer los cambios de la actividad cerebral sobre el acoplamiento temporal durante la tarea. La varianza explicada para cada banda de interés se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Porcentaje de la varianza total y la varianza explicada para la potencia absoluta por cada componente en línea base.

<i>Banda</i>	<i>Varianza explicada</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
Theta1	83.4	43.38	33.85	6.17
Theta2	84.9	52.09	32.87	---
Alfa1	85.42	78.49	6.93	---
Beta1	83.91	39.28	19.1	25.53
Beta2	81.74	42.6	24.38	14.72

Componente principal (C) obtenido de la Rotación Varimax.

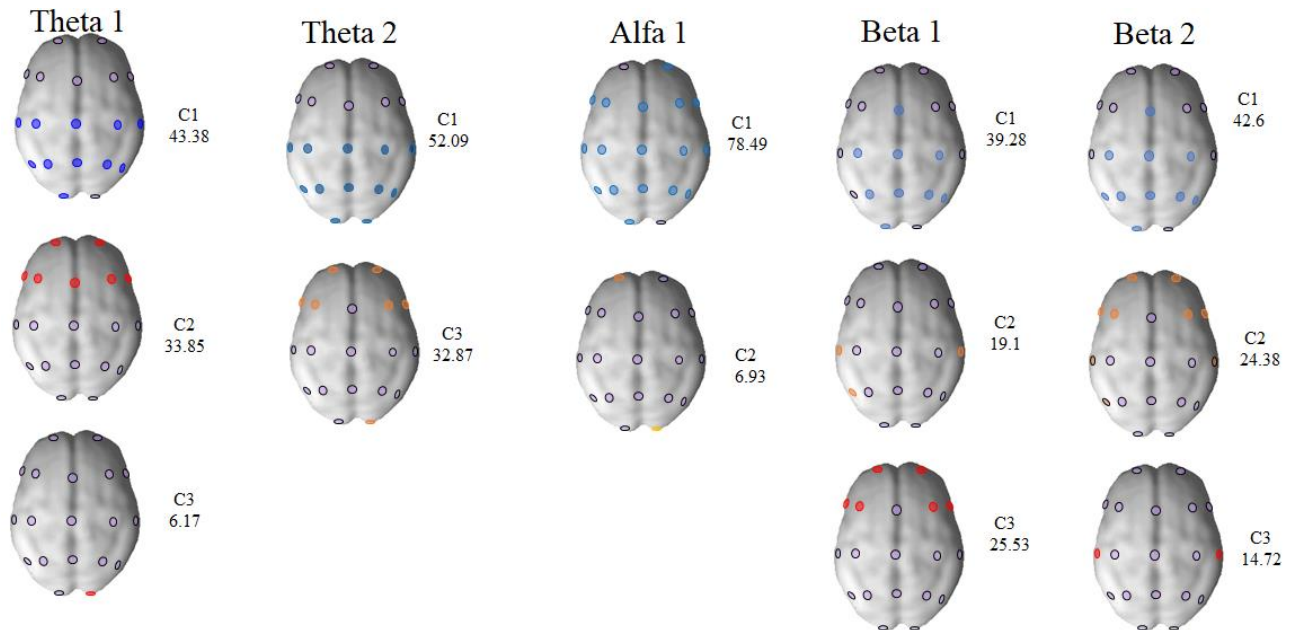


Figura 4. Potencia Absoluta en línea base. Electrodo azul (C1), rojo (C2) y amarillo (C3) indican las agrupaciones que se formaron en cada componente para cada banda. La localización de los electrodos de superficie fue tomado de la distribución del cerebro promedio de Okamoto *et al.*, (2004).

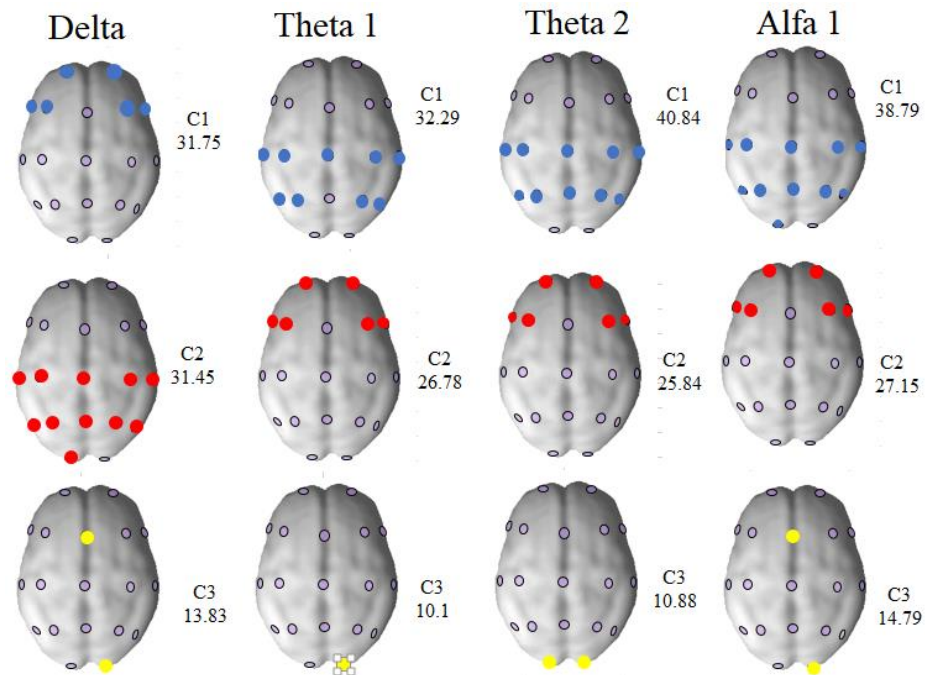
Ya obtenidos los componentes principales, se realizaron análisis de diferencias de lateralidad manual mediante una *t* de *Student* para muestras independientes. Al realizar las comparaciones estadísticas, no se encontraron diferencias significativas.

Para identificar los electrodos con activación durante la tarea en ambos grupos (diestro-zurdo) (**Figura 5**), se realizó un Análisis de Componentes Principales. La varianza explicada para cada banda de interés se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Porcentaje de la varianza total y la varianza explicada para la potencia absoluta por cada componente durante la tarea.

<i>Banda</i>	<i>Varianza explicada</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
Delta	76.85	31.57	31.45	13.83
Theta1	69.16	32.29	26.78	10.1
Theta2	77.15	40.84	25.44	10.88
Alfa1	80.73	38.79	27.15	14.79
Alfa2	72.43	38.92	22	11.51
Beta1	71.26	31.14	25.2	14.93
Beta2	74.21	41.54	23.85	8.28
Gamma	72.85	40.88	23	8.97

Componente principal (C) obtenido de la Rotación Varimax.



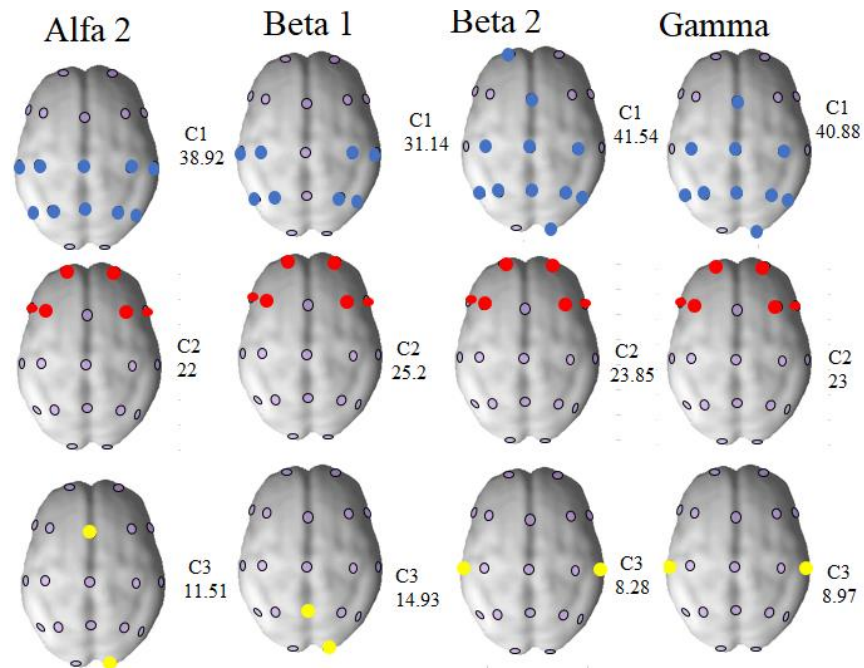


Figura 5. Potencia Absoluta durante la tarea. Electrodo azul (C1), rojo (C2) y amarillo (C3) indican las agrupaciones que se formaron en cada componente para cada banda. La localización de los electrodos de superficie fue tomado de la distribución del cerebro promedio de Okamoto *et al.*, (2004).

Ya obtenidos los componentes principales, se realizaron análisis de diferencias de lateralidad manual mediante una *t* de *Student* para muestras independientes. Al realizar las comparaciones estadísticas, únicamente el componente 2 para la banda Delta (peso = 5.97; 31.45% de varianza explicada) mostró diferencias significativas en el grupo diestro (**Tabla 5**). Este componente estuvo integrado por las derivaciones ubicadas en áreas centrales, temporales, parietales y occipitales (**Figura 5**).

Tabla 5. Efecto de la lateralidad manual sobre la correlación de los componentes principales identificados en la banda Delta.

Banda	Componente	Diestro df= 1		Zurdo df= 1		$t^{(38)}$	P
		M	DE	M	DE		
Delta	C1	0.32	6.95	0.21	7.92	0.28	0.78
	C2	9.21	4.23	0.71	2.89	1.24	0.005

C3	8.9	4.23	0.71	2.76	2.14	0.05
----	-----	------	------	------	------	------

Media (M) y desviación estándar (DE) de los componentes (C) obtenidos en la banda Delta. Se probaron las diferencias entre grupos mediante la prueba t de *Student* para muestras independientes.

Correlación interhemisférica

Con respecto al análisis de correlación interhemisférica, se realizaron ANOVAS mixtos para las bandas anchas en los pares de derivaciones previamente descritos. En la **Tabla 6** se presentan los resultados significativos con la prueba Bonferroni entre las derivaciones C3-C4 (**Figura 6A**) para la banda Delta. El efecto principal fue en la lateralidad manual donde el grupo zurdo presentó mayor correlación interhemisférica ($M = 1.04$, $SE = 0.06$) en comparación con el grupo diestro ($M = 0.87$, $SE = 0.04$) (**Figura 6B**). Asimismo, la condición línea base presentó mayor correlación interhemisférica ($M = 5.18$, $SE = 0.10$) que la tarea ($M = 4.49$, $SE = 0.05$) (**Figura 6C**). No observándose diferencias en la interacción.

Tabla 6. Diferencias en la correlación interhemisférica en la banda Delta.

Banda	Derivación	Lateralidad Manual df= 1		Condición df= 1		Interacción df= 1	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Delta	C3-C4	5.04	0.02	2.76	0.01	2.92	0.06

ANOVA mixto para los pares de derivaciones en la correlación interhemisférica en la banda Delta. Lateralidad manual (Diestro y Zurdo); Condición LB (línea base) y Tarea (atención visoespacial). df (grados de libertad).

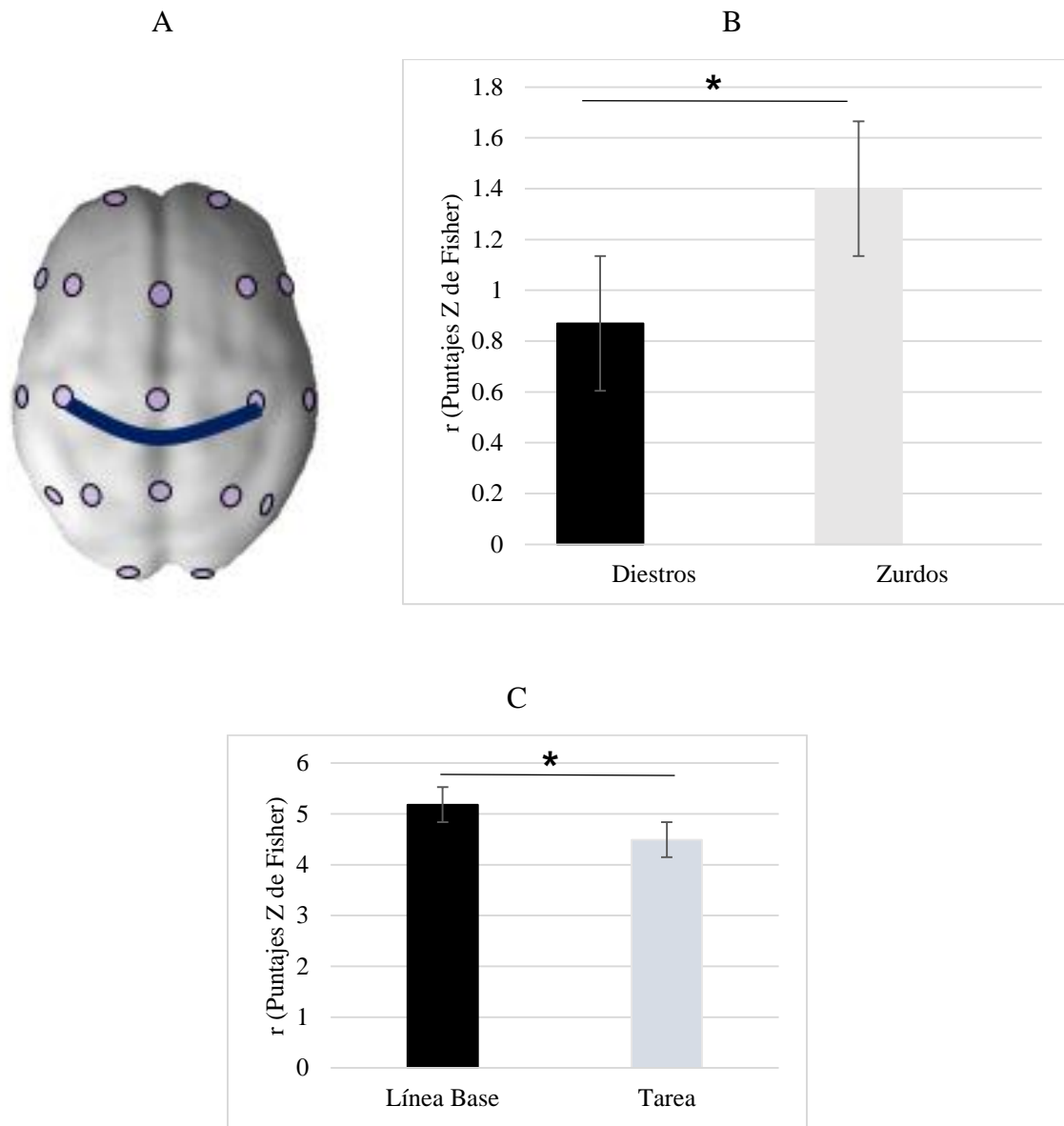


Figura 6. Correlación interhemisférica en la banda Delta. A: muestra la ubicación de las derivaciones C3-C4. La línea azul muestra las derivaciones significativas. B: El efecto principal de lateralidad manual se muestran la media y error estándar (Puntajes Z de Fisher). C: El efecto principal para la condición. *Indica diferencias significativas $p < 0.05$. La localización de los electrodos de superficie fue tomado de la distribución del cerebro promedio de Okamoto *et al.*, (2004).

Correlación intrahemisférica

Finalmente, para analizar los cambios de la correlación intrahemisférica se realizaron ANOVAS mixtos para las bandas anchas en los pares de derivaciones de interés. En la **Tabla 7** se presentan los resultados significativos con la prueba Bonferroni entre las derivaciones F4-T4 para la banda Delta. El efecto principal fue en la lateralidad manual donde el grupo diestro presentó una mayor correlación intrahemisférica en el hemisferio derecho ($M = 0.89$, $SE = 0.04$), en comparación con el grupo zurdo ($M = 0.77$, $SE = 0.03$). Asimismo, la condición línea base presentó mayor correlación intrahemisférica ($M = 0.93$, $SE = 0.05$) que la tarea ($M = 0.81$, $SE = 0.03$).

Por otro lado, se encontraron efectos significativos en la interacción y se realizaron dos ANOVAS simples para comparar la correlación intrahemisférica de diestros y zurdos por separado durante la línea base y tarea. Durante la línea base se presentaron diferencias significativas, el grupo diestro presentó mayor correlación intrahemisférica ($M = 0.89$, $SE = 0.07$) comparado con el zurdo ($M = 0.77$, $SE = 0.03$). No observándose diferencias durante la tarea.

Tabla 7. Diferencias en la correlación intrahemisférica en la línea base para la banda Delta.

Banda	Derivación	Lateralidad manual df= 1		Condición df= 1		Interacción df= 1	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Delta	F4-T4	5.37	0.02	3.09	0.03	8.05	0.007

ANOVA mixto para los pares de derivaciones en la correlación intrahemisférica en la banda Delta. Lateralidad manual (Diestro y Zurdo); Condición LB (línea base) y Tarea (atención visoespacial). df (grados de libertad).

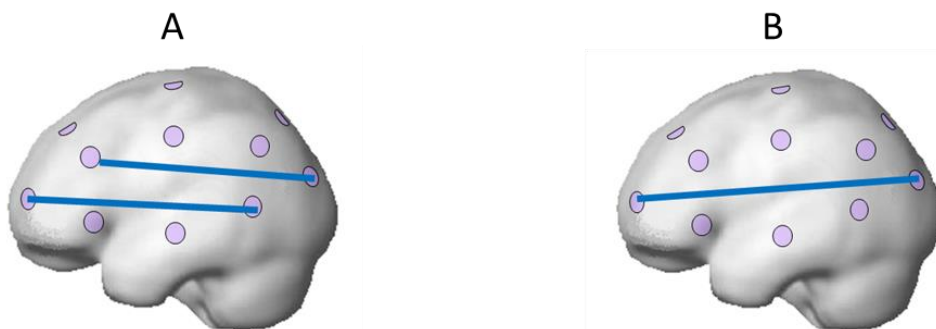
En el hemisferio izquierdo, se encontraron efectos significativos con la prueba Bonferroni en el factor de lateralidad manual para las siguientes bandas: Beta1 para el par de derivaciones F1-

T5 y F3-O1, asimismo para Beta2 en F1-O1 en el hemisferio izquierdo (**Tabla 8, Figura 7A y B**). El efecto principal fue en la lateralidad manual donde el grupo diestro presentó una mayor correlación intrahemisférica en la banda Beta1 en el hemisferio izquierdo en comparación con el grupo zurdo para el par de derivaciones F1-T5 ($M = 0.83$, $SE = 0.03$ diestro y $M = 0.06$, $SE = 0.01$ zurdo) y F3-O1 ($M = 0.18$, $SE = 0.03$ diestro y $M = 0.07$, $SE = 0.02$ zurdo) (**Figura 7C**) y en la banda Beta2 en el par de derivaciones F1-O1 ($M = 0.13$, $SE = 0.04$ diestro y $M = -0.16$, $SE = 0.02$ zurdo). No observándose diferencias en la condición e interacción.

Tabla 8. Diferencias en la correlación intrahemisférica para la banda Beta1 y Beta2 en el hemisferio izquierdo.

<i>Banda</i>	<i>Derivación</i>	<i>Lateralidad manual</i> df= 1		<i>Condición</i> df= 1		<i>Interacción</i> df= 1	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Beta1	F1-T5	11.68	0.0007	3.23	0.07	3.48	0.17
	F3-O1	4.6	0.002	0.48	0.06	0.71	0.58
Beta2	F1-O1	5.14	0.02	1.08	0.18	0.25	0.62

ANOVA mixto para los pares de derivaciones en la correlación intrahemisférica en las bandas Beta1 y Beta2. Lateralidad manual (Diestro y Zurdo); Condición LB (línea base) y Tarea (atención visoespacial). df (grados de libertad).



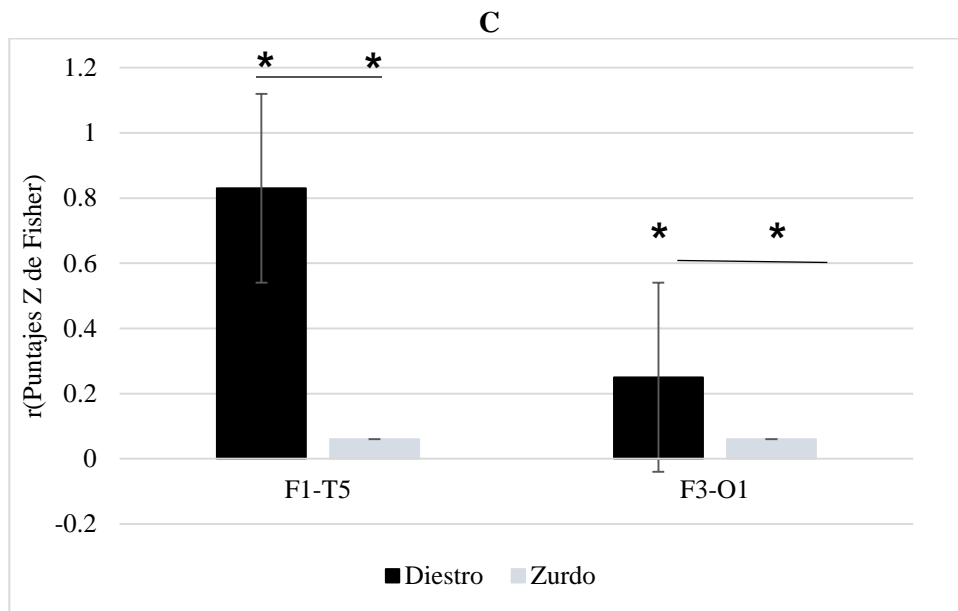


Figura 7. Correlación intrahemisférica en las bandas Beta 1 y Beta 2 del hemisferio izquierdo. A: Beta 1 muestra la ubicación de las derivaciones F1-T5 y F3-O1. B: Beta 2 ubicación de las derivaciones F1-O1. La línea azul muestra las derivaciones significativas. C: El efecto principal de lateralidad manual en la banda Beta 1, se muestran la media y error estándar de la correlación intrahemisférica (Puntajes Z de Fisher). *Indica diferencias significativas $p < 0.05$. La localización de los electrodos de superficie fue tomado de la distribución del cerebro promedio de Okamoto *et al.*, (2004).

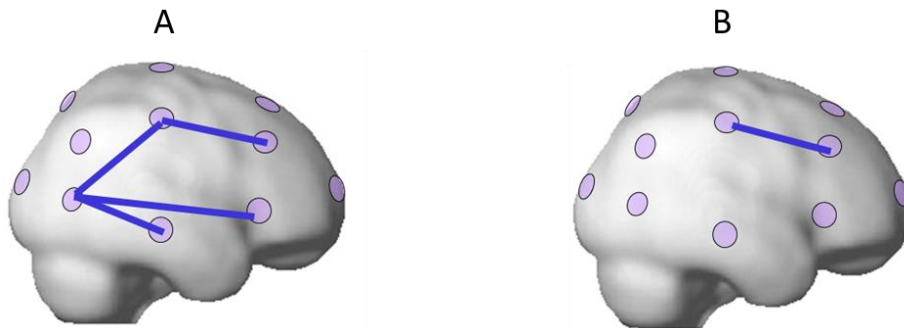
Con respecto al hemisferio derecho también se encontraron efectos significativos con la prueba Bonferroni en el factor de lateralidad manual para las siguientes bandas: Theta2 para el par de derivaciones F4-C4, F8-T6, C4-T6, T4-T6 y en la banda Alfa1 para el par de derivaciones F4-C4 (**Tabla 9, Figura 8A y B**). El grupo zurdo presentó una mayor correlación intrahemisférica en el hemisferio derecho en comparación con los diestros para el par de derivaciones; F4-C4 ($M = 0.85$, $SE = 0.04$ zurdo y $M = 0.65$, $SE = 0.09$ diestro), F8-T6 ($M = 0.16$, $SE = 0.03$ zurdo y $M = 0.007$, $SE = 0.03$ diestro), C4-T6 ($M = 0.53$, $SE = 0.04$ zurdo y $M = 0.48$, $SE = 0.03$ diestro), T4-T6 ($M = 0.51$, $SE = 0.04$ zurdo y $M = 0.38$, $SE = 0.04$ diestro) (**Figura 8C**) y para la banda Alfa1

en el par de derivaciones F4-C4 ($M = 0.87$, $SE = 0.04$ zurdo y $M = 0.62$, $SE = 0.08$ diestro) (**Figura 8D**). No observándose diferencias en la condición e interacción.

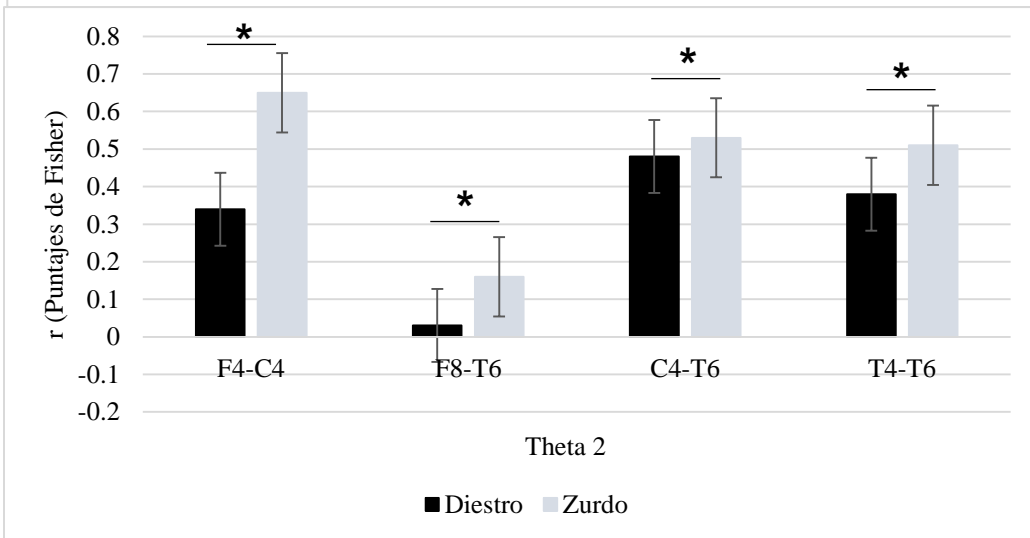
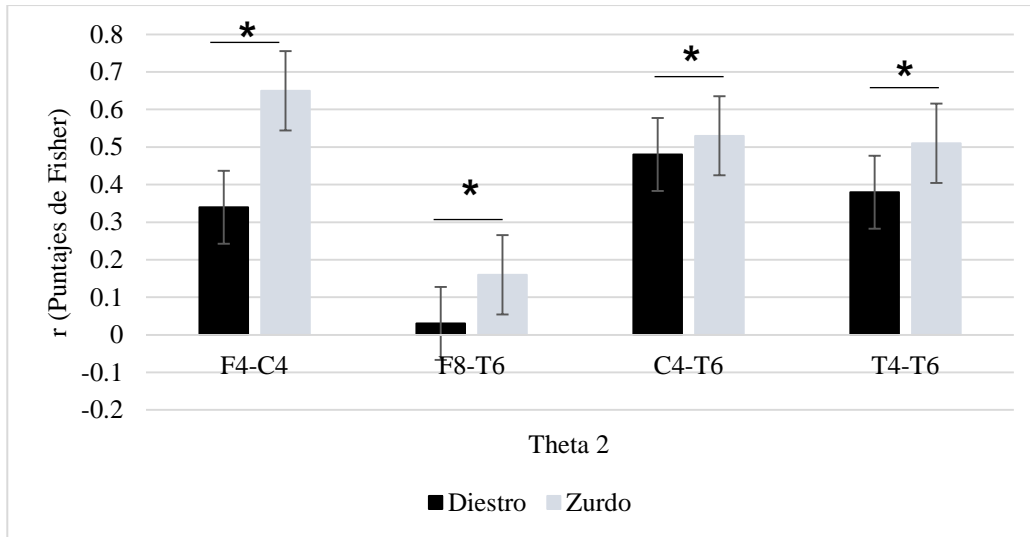
Tabla 9. Diferencias en la correlación intrahemisférica para la banda Theta2 y Alfa1 en el hemisferio derecho.

<i>Banda</i>	<i>Derivación</i>	<i>Lateralidad manual</i> df= 1		<i>Condición</i> df= 1		<i>Interacción</i> df= 1	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Theta2	F4-C4	7.76	0.008	34.6	0.06	32.19	0.06
	F8-T6	4.26	0.04	0.04	0.82	1.32	0.25
	C4-T6	4.42	0.04	0.24	0.63	0.45	0.51
	T4-T6	11.09	0.002	0.47	0.5	0.4	0.53
Alfa1	F4-C4	10.39	0.003	4.56	0.14	6.21	0.06

Análisis con la prueba ANOVA para los pares de derivaciones en el acoplamiento temporal intrahemisférico para las bandas Theta2 y Alfa1.



C



D

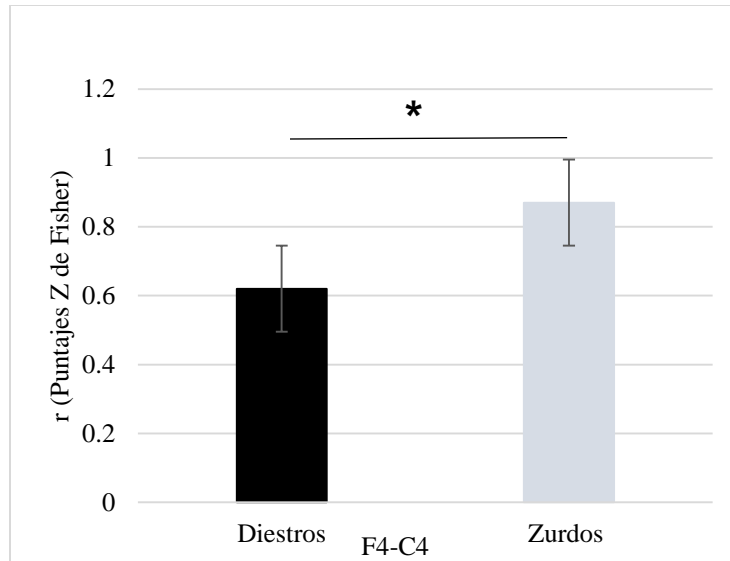


Figura 8. Correlación intrahemisférica en las bandas Theta 2 y Alfa 1 del hemisferio derecho. A: Theta 2 muestra la ubicación de las derivaciones F4-C4, F8-T6, C4-T6 y T4-T6. B: Alfa 1 ubicación de las derivaciones F4-C4. La línea azul muestra las derivaciones significativas. C: El efecto principal de lateralidad manual en la banda de Theta 2, se muestran la media y error estándar de la correlación intrahemisférica (Puntajes Z de Fisher). D: El efecto principal de lateralidad manual en la banda Alfa 1. *Indica diferencias significativas $p < 0.05$. La localización de los electrodos de superficie fue tomado de la distribución del cerebro promedio de Okamoto *et al.* (2004).

Debido a que la muestra se constituyó de hombres y mujeres y que no se encontraron diferencias de la lateralidad manual en el desempeño, adicionalmente se realizó un ANOVA mixto de dos factores incluyendo el factor sexo. Estudios han reportado diferencias en las estrategias de procesamiento visoespacial que utiliza cada sexo y la finalidad del análisis previamente descrito fue tener una mayor precisión de los datos obtenidos.

El factor entre grupo fue la lateralidad manual (diestros y zurdos) y el sexo durante la tarea en cada uno de los aspectos conductuales (número de aciertos, errores por comisión y omisión, así como los TR). Únicamente se encontraron diferencias en el número de aciertos en la interacción. No observándose diferencias en la lateralidad y sexo (**Tabla 10**).

Tabla 10. Análisis estadístico de la tarea de atención visoespacial.

	<i>Lateralidad</i>		<i>Sexo</i>		<i>Interacción</i>	
	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Aciertos	0.05	0.81	0.17	0.68	6.27	0.01

ANOVA mixto de dos factores para número de aciertos, errores, omisiones y TR.

Para observar las diferencias significativas para el número de aciertos en la interacción, se realizaron dos ANOVAS simples para comparar el número de aciertos de diestros y zurdos por separado para cada sexo (hombre y mujer). Los resultados se esquematizan en la **Figura 9** en la que se observa mayor puntaje de aciertos para el grupo mujer zurda ($M = 135$, $SE = 5.04$) en comparación con el grupo hombre zurdo ($M = 111.36$, $SE = 8.67$). No observándose diferencias en la lateralidad manual.

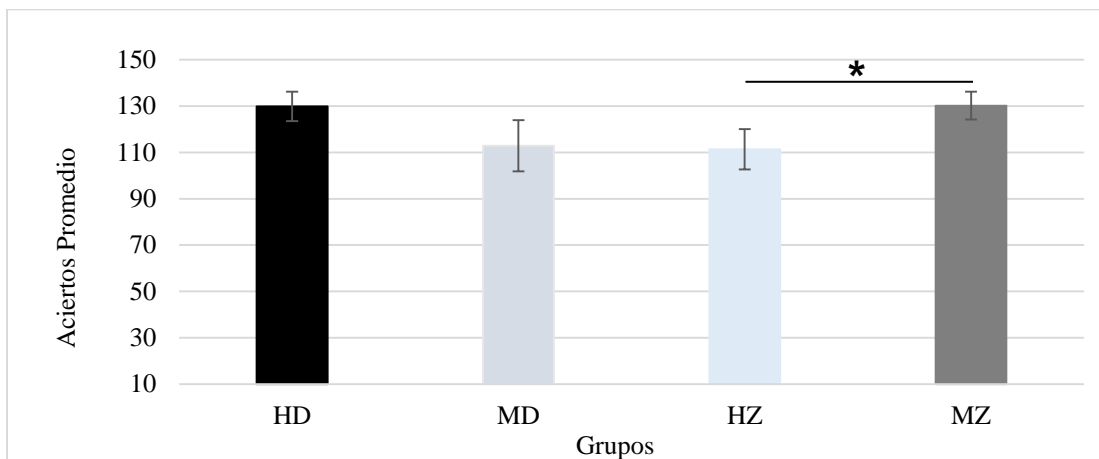


Figura 9. Aciertos totales promedio de la tarea de atención visoespacial. El grupo zurdos presentó diferencias en el desempeño entre mujeres y hombres. Grupo Hombres Diestros (HD), Mujeres Diestras (MD), Hombres Zurdos (HZ) Mujeres Zurdas (MZ). *Indica diferencias significativas $p < 0.05$.

VIII. Discusión

El objetivo del presente trabajo fue conocer la organización funcional, en términos de la actividad electroencefalográfica, de personas zurdas y diestras al realizar una tarea de atención visoespacial. Teniendo en cuenta tanto la asimetría hemisférica manual como de las redes de la atención visoespacial, los resultados mostraron que ambos grupos difirieron en la organización funcional cerebral antes de realizar la tarea (línea base) y al realizarla.

Como resultado del desempeño al realizar la tarea de atención visoespacial no se encontraron diferencias significativas con respecto a la lateralidad manual, sin embargo al incluir la variable sexo el grupo zurdo, específicamente en el sexo mujer, presentaron un mayor número de aciertos en comparación con los hombres del mismo grupo. Butler *et al.*, (2006) en un estudio de diferencias sexuales encontraron que las mujeres presentaron mayor desempeño en una tarea de memoria de trabajo espacial, así como activación *top-down*, mientras que los hombres presentaron menor desempeño y un procesamiento *bottom-up*. Por otro lado, en el 2013 Liu *et al.*, encontraron en un estudio de diferencias sexuales mayor puntuación en la orientación en el grupo mujeres en comparación con los hombres específicamente, las mujeres fueron más rápidas en la orientación encubierta hacia una ubicación con claves espaciales. Si bien las diferencias entre sexos no eran parte de los objetivos de ésta investigación, los resultados obtenidos muestran un mejor desempeño de las mujeres zurdas que puede servir como guía para considerar el sexo como variable de interés en futuros estudios.

Con respecto a los resultados obtenidos de la actividad eléctrica cerebral, el efecto principal se encontró en la lateralidad manual para la correlación intrahemisférica. El grupo zurdo presentó un incremento significativo en la actividad electroencefalográfica en la banda Theta 2, entre los electrodos colocados en las regiones frontales, centrales y temporales del hemisferio derecho, así

como en la banda Alfa 1 en estas mismas áreas en comparación con los diestros. Estudios previos han reportado que la red de atención visoespacial presenta una asimetría hemisférica hacia la derecha independientemente de la lateralidad manual (Cai *et al.*, 2013), no obstante, se ha observado que en los zurdos esta lateralización del hemisferio derecho es mayor (Bartolomeo y Malkinson, 2019), así como el procesamiento intrahemisférico (Petit *et al.*, 2015).

De la misma forma, el grupo diestro presentó mayor activación intrahemisférica en las bandas Beta 1 y Beta 2 entre las regiones frontales, temporales y occipitales del hemisferio izquierdo. Además, en la condición de línea la banda Delta mostró un mayor incremento para las mismas regiones en el hemisferio derecho. La lateralización de la atención visoespacial podría estar impulsada por la presencia de sincronía de fase entre la corteza frontal derecha y la red de atención dorsal o sistemas sensoriales, favorecida por la velocidad de conducción en la conectividad estructural en el hemisferio derecho (Marshall *et al.*, 2015). Los resultados de la presente investigación corroboran la especialización del hemisferio derecho en la atención visoespacial y que predomina en áreas similares sin importar la lateralidad manual.

Estudios electrofisiológicos recientes han demostrado que la selección atencional de arriba hacia abajo depende de la sincronización de largo alcance en frecuencias de la banda Theta (Fellrath *et al.*, 2016), y se ha implicado en la transferencia de información del procesamiento de la atención visual intrahemisférico (Mock *et al.*, 2015). Además, estudios indican que las frecuencias Theta en la corteza frontal predicen la cantidad de información mantenida activamente en la memoria de trabajo y que, específicamente, la activación en la región frontal superior permite dirigir la atención a ubicaciones específicas del campo visual (Shomstein y Gottlieb, 2016), así como en la selección de respuesta asociada con procesos de control atencional (Wiesman *et al.*, 2018). Los resultados de la presente investigación apoyan la idea de que la distribución entre regiones frontales y

temporales de la conectividad funcional de la banda Theta refleja la participación de la atención de arriba hacia abajo. Sin embargo, este hallazgo no debe interpretarse como una contradicción con la importancia de otras bandas de frecuencia en la atención visoespacial.

Estudios han demostrado que la sincronización en la banda Alfa entre las regiones frontal y parietal permite la exploración y anticipación de estímulos visuales (Fellrath *et al.*, 2016). Por su parte, en la corteza occipital somatosensorial primaria y la corteza prefrontal derecha, la banda Alfa tiene como función principal inhibir la información visual entrante no relevante (Wiesman *et al.*, 2018), que permite el mantenimiento atencional subsiguiente a los estímulos presentados en diferentes paradigmas de atención visoespacial mediante la red fronto-parietal dorsal distribuida de forma bilateral (Corbetta y Shulman, 2011; Marshall *et al.*, 2015). Recientemente se descubrió que la oscilación de la banda Alfa comienza en ambos hemisferios y que gradualmente se lateraliza hacia el lado derecho, por lo que se ha sugerido que la sincronización de la banda alfa podría apoyar un papel dominante del hemisferio derecho en los mecanismos de atención, al tener como función coordinar y regular el procesamiento neuronal a través de sistemas fronto-parietales y visuales (Lobier, Palva y Palva, 2018). Por lo consiguiente, en los resultados obtenidos el grupo zurdo mostró un incremento de la banda Alfa en el hemisferio derecho, y que podría indicar un mayor control inhibitorio que permita el mantenimiento a estímulos visuales relevantes en tareas de atención visoespacial.

En lo que respecta a la banda Beta, también se observó un mayor incremento intrahemisférico en el grupo diestro en comparación con el zurdo sin importar la condición. Estudios en animales humanos y no humanos han demostrado que el incremento de la conectividad en la banda de Beta entre áreas asociativas y áreas sensoriales podría traducirse en un estado de hiper-reactividad y vigilancia exacerbada hacia estímulos externos (Wiesman *et al.*, 2018). Además, también se ha

relacionado la sincronización Alfa y Beta entre las áreas somatosensoriales primarias y la corteza prefrontal derecha para la inhibición funcional (Doesburg, Bedoc y Ward, 2016). De tal forma que la integración de redes que presentaron los diestros al realizar la tarea podría reflejar un estado de mayor reactividad, en comparación con los zurdos.

Respecto a la integración de la correlación interhemisférica los zurdos presentaron mayor actividad interhemisférica en la banda Delta en regiones centrales, en comparación con los diestros sin importar la condición. Estudios con tareas de memoria de trabajo, cálculo mental y atención sostenida, han encontrado que los aumentos de potencia de las oscilaciones Delta están asociadas con la inhibición de las aferencias sensoriales que interfieren con la concentración y resolución de la tarea incluidas aquellas con paradigma *Go/No-Go* (Harmony, 2013). Con base en los resultados obtenidos, el grupo zurdo presentó actividad de frecuencia baja Delta que podría sugerir una activación bilateral mayor para la concentración e inhibición de estímulos sensoriales, en comparación con los diestros que podrían afectar el desempeño de la tarea.

Finalmente, los resultados de esta investigación respecto al análisis de la actividad cerebral para la potencia absoluta (PA), mostraron en el grupo diestro la implicación de la banda Delta en regiones temporales, parietales y occipitales en la resolución de la tarea de atención visoespacial. Estudios recientes sugieren que oscilaciones en la banda Delta se correlaciona tanto con la magnitud de una respuesta sensorial como con el tiempo de reacción a un estímulo, es decir, con el nivel de excitabilidad neuronal local (Hamel-Thibault *et al.*, 2018), y que modula la amplitud de la banda Gamma en la red fronto-parietal dorsal, en áreas sensoriomotoras y en áreas visuales a través del acoplamiento de frecuencia cruzada, lo que permite mantener la atención a la ubicación con claves (Magazzini y Singh, 2018), seleccionar poblaciones neuronales sincronizadas en ubicaciones específicas, así como generar cambios en la dinámica de la actividad cerebral y

disminuir la respuesta de neuronas corticales ante estímulos provenientes de la periferia (Daitch *et al.*, 2013).

Las investigaciones previas y los resultados obtenidos de la presente investigación sugieren colectivamente que la asignación y el procesamiento de la atención visoespacial se basan en una amplia gama de frecuencias oscilatorias regionales y funcionalmente específicas, que interactúan a través de escalas locales y de larga distancia para el procesamiento y la transmisión de información relevante para la tarea (Doesburg *et al.*, 2016). Por otro lado, a pesar de la alta variabilidad individual en los patrones de conectividad entre diestros y zurdos causada tanto por consideraciones de desarrollo como por plasticidad, se puede encontrar un patrón general de lateralización derecho para la red de atención visoespacial en ambos grupos.

IX. Alcances y limitaciones

El presente trabajo propone la existencia de diferencias en la organización funcional cerebral entre personas zurdas y diestras asociadas a la atención visoespacial.

Una de las principales críticas hacia los trabajos de lateralidad manual es el temor a la variabilidad de los datos y los resultados presentes en la literatura que no coincide con las personas diestras (Ocklenburg, Beste y Güntürkün, 2013; Willems *et al.*, 2014). Incluir a personas zurdas podría ser un componente importante que permita entender la naturaleza (biológica, genética y/o ambiental) de los mecanismos subyacentes a las asimetrías cerebrales y cómo se relaciona con las funciones cognitivas que presentan lateralización en alguno de los dos hemisferios, como es el caso de la atención visoespacial (Zago *et al.*, 2015). Además, si los zurdos presentan un déficit o beneficio cognitivo específico podría generar algunas implicaciones; por ejemplo, en entornos educativos al

construir estructuras de apoyo para ayudar a los niños zurdos a fortalecer ciertas habilidades (Somers *et al.*, 2015).

Una posible hipótesis derivada de los resultados obtenidos en la investigación, sería que la población zurda puede obedecer a diferentes reglas de asimetría hemisférica funcional en comparación con los diestros, por lo que estudios futuros podrían considerar incluir en sus investigaciones a la población zurda, esclarecer la relevancia de la existencia de un grupo reducido (en comparación con la población general) con diferente preferencia manual, así como conocer la relación de las funciones cognitivas lateralizadas con la lateralidad manual y el desarrollo e interacción de estas en diestros y zurdos que permitiría esclarecer el conocimiento de la organización cerebral y el desempeño en diferentes funciones cognitivas, incluida la atención visoespacial.

Dentro de las limitaciones del presente estudio se incluye el nivel de escolaridad de la muestra, así como experiencia en paradigmas cognitivos que involucren la atención visoespacial, lo que implica a su vez un grado de variabilidad con respecto al desempeño en la resolución de la tarea por lo que se sugiere un mejor control en la selección de participantes para futuras investigaciones.

Con respecto en el desempeño para ambos sexos se podría realizar un análisis para estudiar si existencias diferencias en las medidas espectrales (PA y correlación intra- e interhemisférica) entre hombres y mujeres dependientes de la lateralidad manual que podría indicar si la diferencia de sexo se relaciona con una organización funcional cerebral distinta en cuanto a las redes funcionales de la atención visoespacial.

En el presente paradigma experimental se optó por analizar los estímulos correctos sin distinguir la respuesta emitida en función del hemicampo visual. La desventaja que presentó el análisis reside

en que se pudo obtener información adicional con respecto a la posible relación entre la lateralidad manual y lateralidad visual. Además, también se presentaron estímulos inhibitorios que en futuras investigaciones podrían indicar si existen diferencias en la organización funcional cerebral entre diestros y zurdos.

A pesar de las limitaciones enunciadas, el presente trabajo propone la existencia de diferencias en los mecanismos cerebrales asociados a la atención visoespacial con base en la preferencial manual.

X. Conclusión

Los resultados de la presente investigación apoyan la existencia de un patrón de organización funcional diferente con base en la lateralidad manual para la atención visoespacial. El incremento en la actividad eléctrica cerebral intrahemisférica para el hemisferio derecho observado en los zurdos difiere con el patrón de activación en el hemisferio izquierdo de diestros. Asimismo, el incremento de actividad interhemisférica presentó diferencias en la lateralidad manual zurda. Finalmente, la potencia absoluta presentó mayor activación en áreas occipitales para el grupo diestro por lo que los cambios en la actividad electroencefalográfica obtenidos podrían sugerir que la organización funcional, en términos de la actividad electroencefalográfica, difiere con base en la lateralidad manual en la atención visoespacial.

Trabajo parcialmente financiado DGAPA-UNAM IN228409.

X. Referencias

- Amunts, K., Jäncke, L., Mohlberg, H., Steinmetz, H. y Zilles, K. (2000). Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender. *Neuropsychologia*, 38(3), 304-312. doi: [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00075-5).
- Annett, M. (1967). The binomial distribution of right mixed and left handedness, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(4), 327-333, doi: 10.1080/14640746708400109.
- Annett, M. (1975). Hand Preference and the Laterality of Cerebral Speech. *Cortex*, 11(4), 305-328. doi: [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(75\)80024-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(75)80024-4).
- Annett, M. (2004). Hand preference observed in large healthy samples: Classification, norms and interpretations of increased non-right-handedness by the right shift theory. *British Journal of Psychology*, 95, 339–353.

- Annett, M. (2006). The right shift theory of handedness and brain asymmetry in evolution, development and psychopathology. *Cognition, Brain & Behavior*, 10(2), 235-250. ISSN: 1224-8398.
- Badzakova-Trajkov G, Häberling IS, Roberts, R. y Corballis, M. (2010). Cerebral Asymmetries: Complementary and Independent Processes. *PLoS ONE*, 5(3): e9682. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.000968>.
- Balslev, D., Odoj, B. y Karnath, H. (2013). Role of Somatosensory Cortex in Visuospatial Attention. *The Journal of Neuroscience*, 33(46), 18311–18318. doi: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1112-13.2013>.
- Bartolomeo, P., Thiebaut de Schotten, M. y Chica, A. (2012). Brain networks of visuospatial attention and their disruption in visual neglect. *Front Hum Neurosci*, 6(110), 1-10. doi: 10.3389/fnhum.2012.00110.
- Bloss, S., Delis, D., Salmon, D. y Bondi, M. (2010). APOE genotype is associated with left handedness and visuospatial skills in children. *Neurobiology of Aging*, 31, 787–795. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2008.05.021.
- Brandler, W., Morris, A., Evans, D., Scerri, T., Kemp, J., Timpson, N., Pourcain, B., Smith, G., Ring, S., Stein, J. Monaco, A., Talcott, J., Fisher, S., Webber, C. y Paracchini, S. (2013). Common Variants in Left/Right Asymmetry Genes and Pathways Are Associated with Relative Hand Skill. *Plos Genetics*, 9(9), e1003751. doi: 10.1371/journal.pgen.1003751.
- Britton, J., Frey, L., Hopp, J., Korb, P., Koubeissi, M., Lievens, W., Pestana-Knight, E. y Louis, E. (2016). *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and*

- Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants. Chicago: American Epilepsy Society.
ISBN-13: 978-0-9979756-0-4.
- Brusasca, M., Mabel L. y Portellano, J. (2007). Neuropsicología de la lateralidad: evaluación de preferencia y desempeño manual. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 8(5), 500-505.
- Buckingham, G. y Carey, D. (2015). Attentional asymmetries—cause or consequence of human right handedness? *Frontiers in psychology*, 5(1587), 22-26. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01587.
- Butler, T., Imperato-McGinley, J., Pan, H., Voyer, D., Cordero, J., Zhu, S., Stern, E. & Silbersweig, D. (2006). Sex differences in mental rotation: Top-down versus bottom-up processing. *Neuroimage*, 32, 445-456.
- Cai, Q., Van der Haegen, L. y Brysbaert, M. (2013). Complementary hemispheric specialization for language production and visuospatial attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110(4), E322–E330. doi: 10.1073/pnas.1212956110.
- Cochet, H., (2015). Manual asymmetris and hemispheric specialization: Insight from developmental studies. *Neuropsychologia*, 93(parte B), 335-341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.019>.
- Colman, H., Remington, R. y Kritikos, A. (2017). Handedness and Graspability Modify Shifts of Visuospatial Attention to Near-Hand Objects. *PLoS One*, 12(1), e0170542. doi: 10.1371/journal.pone.0170542.
- Colmenero, J., Catena, A. & Fuentes, L. (2001). Atención visual: Una revisión sobre las redes atencionales del cerebro. *Anales de psicología*, 17(1), 45-67. ISSN: 0212-9728.

- Corballis, M. C. (2003). Visuospatial processing and the right-hemisphere interpreter. *Brain and cognition*, 53(2), 171–176. doi: [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00103-9](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00103-9).
- Corballis, M. C. (2014). Left Brain, Right Brain: Facts and Fantasies. *PLOS Biology*, 12(1), 1-6.
- Corbetta, M. y Shulman, G. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annu Rev Neurosci*, 34, 569–599. doi: 10.1146/annurev-neuro-061010-113731.
- Corsi-Cabrera, M., Guevara, M. y Ramos-Loyo, J. (2008). Patterns of Covariant Power and Coherent EEG Activity During Rest in Young Adults. *International Journal of Neuroscience*, 118, 821–837. doi: 10.1080/00207450701750448.
- Cuencas, R., Von Seggern, B., Toledo, R., y Harrell, E. (1990). El inventario de Edimburgo: Evaluación de la lateralidad cerebral en una población mexicana. *Salud Mental*, 13(2), 11-17.
- Daitch, A., Sharma, M., Roland, J., Astafiev, S., Bundy, D., Gaona, C., Snyder, A., Shulman, G., Leuthardt, E. & Corbetta, M. (2013). Frequency-specific mechanism links human brain networks for spatial attention. *Proc Natl Acad Sci Estados Unidos*, 110(48), 19585–19590. doi: 10.1073 / pnas.1307947110.
- Doesburg, S., Bedoc, N. y Ward, L. (2016). Top-down alpha oscillatory network interactions during visuospatial attention orienting. *NeuroImage*, 132, 512-519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.02.076>.
- Fellrath, J., Mottaz, A., Schinder, A., Guggisberg, A. y Ptak, R. (2016). Theta-band functional connectivity in the dorsal fronto-parietal network predicts goal-directed attention.

Neuropsychologia, 92, 20-30. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.012>.

Galán, I. (2015). *Diferencias de la lateralidad manual en el procesamiento visoespacial: estudio con EEG*. (Tesis doctoral). Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Galán-López, I. y del Río-Portilla, I., (2012). Influencia de lateralidad manual sobre habilidades visoespaciales. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 38(3), 27-44.

Gálvez, B., Arce, C., Guevara, M., del Río, Y. y Corsi-Cabrera, M., (2004). Increased Intra-Hemispheric coherent activity in Left-handers perievent-related EEG while using dominant and non-dominant hand. Presentado en la 34^a Reunión Anual de la Society for Neuroscience. Program 202.13. Washington, DC.

Gasser, T., Bächer, P. y Möcks, J. (1982). Transformations towards the normal distribution of broad band spectral of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 53(1), 119. doi: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(82\)90112-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(82)90112-2).

Gazzaniga, M. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus callosum enable the human condition?, *Brain*, 123(7), 1293–1326. doi: <https://doi.org/10.1093/brain/123.7.1293>.

Geschwind, N. y Galaburda, A. (1985). Cerebral Lateralization: Biological mechanisms, associations and pathology: II A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42, 428-459. doi:10.1001/archneur.1985.04060050026008

- Grave-de Peralta, R., González-Andino, S. y Gómez-González, C. (2004). Bases biofísicas de la localización de los generadores cerebrales del electroencefalograma. Aplicación de un modelo de tipo distribuido a la localización de los focos epilépticos. *Revista de Neurología*, 39, 748-756.
- Guadalupe, T., Willems, R., Zwiers, M., Arias, A., Hoogman, M., Hagoort, P., Fernandez, G., Buitelaar, J., Franke, B., Fisher, S., y Francks, C. (2014). Differences in cerebral cortical anatomy of left- and right-handers. *Frontiers in Psychology*, 5(251), 1-8. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00261.
- Guevara, M. y Corsi-Cabrera, M. (1996). EEG coherence or EEG correlation? *International Journal of Psychophysiology*, 23(3), 145-153. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00038-4).
- Guevara, M., Ramos, J., Hernandez-Gonzalez, M., Zaraboso, D. y Corsi-Cabrera, M. (2003). Potencor: a program to calculate power and correlation spectra of EEG signals. *Comput Methods Programs Biomed*, 72(3), 241-50. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-2607\(02\)00128-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2607(02)00128-1).
- Guevara M., Sanz-Martín A., Corsi-Cabrera M., Amezcua-Gutiérrez C. y Hernández-González M. (2010). CHECAsEN: programa para revisar señales EEG fuera de línea. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 31(2), 135-141. ISSN 2395-9126.
- Hamel-Thibault, A., Thénault, F., Whittingstall, K. & Bernier, P. (2018). Delta-Band Oscillations in Motor Regions Predict Hand Selection for Reaching. *Oxford*, 28, 574–584. doi: 10.1093/cercor/bhw392.

- Hampson, E. y Sankar, J. (2012). Hand preference in humans is associated with testosterone levels and androgen receptor gene polymorphism. *Neuropsychologia*, 50(8), 2018-2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.027>.
- Hepper, P. G., Wells, D. L., y Lynch, C. (2005). Prenatal thumb sucking is related to postnatal handedness. *Neuropsychologia*, 43, 313–3315.
- Hepper, P. (2013). The Developmental Origins of Laterality: Fetal Handedness. *Developmental Psychobiology*, 55(6), 588-595. doi: 10.1002/dev.21119.
- Hervé, P., Crivello, F., Perchey, G., Mazoyer, B. y Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Handedness and cerebral anatomical asymmetries in young adult males. *Imagen neuro*, 29(4), 1066-1079. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.08.031>.
- Houston, R. y Ceballos, N. (2013). Human Neurophysiology: EEG and Quantitative EEG in Addiction Research. *Biological Research on Addiction Comprehensive Addictive Behaviors and Disorders*, 2, 379-390. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398335-0.00038-8>.
- Ickx, G., Bleyenheuft, Y. y Hatem, S. (2017). Development of Visuospatial Attention in Typically Developing Children. *Frontiers in Psychology*, 8(2064). doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02064>
- Jang, H., Youn, J., Kang, L., Parque, L. y Min, K. (2017). Are there differences in brain morphology according to handedness? *Brain and Behavior*, 7(7), 1-7. doi: <https://doi.org/10.1002/brb3.730>.

- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- John, E. R., Ahn, H., Prichep, L., Trepetin, M., Brown, D. y Kaye, H. (1980). Developmental equations for the electroencephalogram. *Science*, 210(4475), 1255. doi: 10.1126/ciencia.7434026
- Kamiński, J., Brzezicka, A., Gola, M., y Wróbel, A. (2012). Beta band oscillations in human alertness process. *International Journal of Psychophysiology*, 85,125-128. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.11.006.
- Kravitz, D., Saleem, K., Baker, C. y Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 12, 217–230. doi: 10.1038/nrn3008.
- Le Bigot, N. y Grosjean, M. (2012). Effects of handedness on visual sensitivity in perihand space. *PloS one*, 7(8), doi: 10.1371/journal.pone.0043150.
- Liu, G., Hu, P. P., Fan, J., y Wang, K. (2013). Gender Differences Associated with Orienting Attentional Networks In Healthy Subjects. *Chinese Medical Journal*, 126(12), 2308-2312. doi: <http://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20122637>.
- Lobier, M., Palva, J. y Palva, S. (2018). High-alpha band synchronization across frontal, parietal and visual cortex mediates behavioral and neuronal effects of visuospatial attention. *NeuroImage*, 165, 222-237. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.10.044>.
- Lunven, M. y Bartolomeo, P. (2017). Attention and spatial cognition: Neural and anatomical substrates of visual neglect. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60(3), 124-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.01.004>.

- Magazzini, L. y Singh, D. (2018). Spatial attention modulates visual gamma oscillations across the human ventral stream. *NeuroImage*, 166(1), 219-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.10.069>.
- Marcuse, L., Fields, M. y Yoo, J. (2016). Origin and technical aspects of the EEG. *Rowan's Primer of EEG*, 1-37. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35387-8.00001-9>.
- Marshall T.R, O'Shea J, Jensen O, Bergmann T.O. (2015). Frontal eye fields control attentional modulation of alpha and gamma oscillations in contralateral occipitoparietal cortex. 35(4) 1638-1647.
- Mock J.R, Seay M.J, Charney D.R, Holmes J.R, Golob E.J. (2015). Rapid cortical dynamics associated with auditory spatial attention gradients. *Frontiers in Neuroscience*. doi: 10.3389/fnins.2015.00179.
- Morange-Majoux, F. y Devouche, E. (2014). Social encouragement can influence manual preference in 6 month-old-infants. *Frontiers in Psychology*, 5(1225), 1-7. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01225.
- Muñoz, A., Revilla, M., Domínguez, P., Gautreux, S. y Fernández, M. (2014). Zurdos y diestros: etiopatogenia y salud. *Boletín Pediátrico*, 54(227), 14-19.
- Newman, D., Loughnane, G., Kelly, S., O'Connell, R. y Bellgrove, M. (2017). Visuospatial Asymmetries Arise from Differences in the Onset Time of Perceptual Evidence Accumulation. *The Journal of Neuroscience*, 37(12), 3378 –3385. doi: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3512-16.2017>.

- Ocklenburg, S., Beste, C. y Güntürkün, O. (2013). Handedness: A neurogenetic shift of perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2778-2793. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.09.014>.
- Ocklenburg, S., Beste, C. y Arning, L. (2014). Handedness genetics: considering the phenotype. *Frontiers in Psychology*, 5(1300), 19-21. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01300.
- Ocklenburg, S., Schmitz, J., Moinfar, Z., Moser, D., Klose, R., Lor, S., Kunz, G., Tegenthoff, M., Faustmann, P., Francks, K., Epplen, J., Kumsta, R. y Güntürkün, O. (2017). Epigenetic regulation of lateralized fetal spinal gene expression underlies hemispheric asymmetries. *eLife*, 6, e22784. doi: 10.7554 / eLife.22784.
- Ocklenburg, S. y Güntürkün, O. (2018). Handedness and Other Behavioral Asymmetries. *The Lateralized Brain: The Neuroscience and Evolution of Hemispheric Asymmetries*, 5, 123-158. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803452-1.00005-9>.
- Okamoto, M., Dan, H., Sakamoto, K., Tadeo, K., Shimizu, K., Cono, S., Oda, I., Isobe, S., Suzuki, T., Johyama, K. & Dan, I. (2004). Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10–20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, 21, 99–111.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Ortega, G., Alegreta, M., Espinosa, A., Ibarria, M., Cañabate, P. y Boada, M. (2014). Valoración de las funciones viso-perceptivas y viso-espaciales en la práctica forense. *Rev Esp Med Legal*, 40(2), 83-85. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reml.2013.11.003>.

- Perlaki, G., Horvath, R., Orsi, G., Aradi, M., Auer, T., Varga, E., Kantor, G., Altbäcker, A., John, F., Doczi, T., Komoly, S., Kovacs, N., Schwarcz, A. y Janszky, J. (2013). White-matter microstructure and language lateralization in left-handers: A whole-brain MRI analysis. *Brain and Cognition*, 82(3), 319-328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.05.005>.
- Petersen, S. y Posner, M. (2012). The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annu Rev Neurosci*, 35, 73–89. DOI: doi: 10.1146/annurev-neuro-062111-150525.
- Petit, L., Zago, L., Mellet, E., Jobard, G., Crivello, F., Joliot, M., Mazoyer, B. y Tzourio-Mazoyer, N. (2015). Strong Rightward Lateralization of the Dorsal Attentional Network in Left-Handers With Right Sighting-Eye: An Evolutionary Advantage. *Human Brain Mapping*, 36, 1151–1164. doi: 10.1002/hbm.22693.
- Pietsch, S. y Jansen, P. (2019). The relation between mental rotation and handedness is a consequence of how handedness is measured. *Brain and Cognition*, 130, 28–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.01.001>.
- Posner, M. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. y Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17(2), 75-79.
- Posner, M. I. y Petersen, S. E., (1990). The attention system of the human brain. *Annu. Rev. Neurosci.* 13, 25-42.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T. y Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240, 1627-1631.

- Posner, M., Sheese, B., Odludaş, Y. y Tang, Y. (2006). Analyzing and shaping human attentional networks. *Neural Networks*, 19(9), 1422-1429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2006.08.004>.
- Rosselli, M. (2015). Desarrollo Neuropsicológico de las Habilidades Visoespaciales y Visoconstruccionales. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 15(1), 175-200. ISSN: 0124-1265.
- Rueda, R., Pozuelos, J. y Cómbita, L. (2015). Cognitive Neuroscience of Attention From brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience*, 2(4), D
- Sainburg, R. (2014). Convergent models of handedness and brain lateralization. *Frontiers in Psychology*, 5(1092), 5-18. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01092.
- Schmitz, J., Metz, G., Güntürkün, O. y Ocklenburg, S. (2017). Beyond the genome—towards an epigenetic understanding of handedness ontogenesis. *Progress in Neurobiology*, 159, 69-89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2017.10.005>.
- Shomstein, S. y Gottlieb, J. (2016). Spatial and non-spatial aspects of visual attention: Interactive cognitive mechanisms and neural underpinnings. *Neuropsychologia*, 92, 9-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.021>
- Smith, D., Schenk, T. y Rorden, C. (2012). Saccade preparation is required for exogenous attention but not endogenous attention or IOR. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 38(6), 1438-47. doi: 10.1037/a0027794.
- Solís-Ortiz, S., Ramos, J., Arce, C., Guevara, M. A., & Corsi-Cabrera, M. (1994). EEG oscillations during menstrual cycle. *International Journal of Neuroscience*, 76(3-4), 279-292.

- Somers, M., Shields, L., Boks, M., Kahn, R. y Sommer, S. (2015). Cognitive benefits of right-handedness: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 51, 48-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.003>.
- Stiles, J., Akshoomoff, N. y Haist, F. (2013). The Development of Visuospatial Processing en *Comprehensive Developmental Neuroscience*, 15, 271-296. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397267-5.00058-3>.
- Thiebaut de Schotten *et al.*, (2011). A lateralized brain network for visuospatial attention. *Nature Neuroscience*, 14, 1245–1246. doi: <https://doi.org/10.1038/nn.2905>.
- Tzourio-Mazoyer, N. y Seghier, M. (2016). The neural bases of hemispheric specialization. *Neuropsychologia*, 93, Part B, 319-324, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.10.010>.
- Uomini, N. y Ruck, L. (2018). Manual laterality and cognition through evolution: An archeological perspective. *Cerebral Lateralization and Cognition: Evolutionary and Developmental Investigations of Behavioral Biases*, 238, 295-323. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.06.015>.
- Vernet, M., Japee, S., Lokey, S., Ahmed, S., Zachariou, V. y Ungerleider, L. (2017). Endogenous visuospatial attention increases visual awareness independent of visual discrimination sensitivity. *Neuropsychologia*, xxx(xxxx), xxx–xxx. doi: doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.015.
- Vossel, S., Geng, J. y Fink, G. (2014). Dorsal and Ventral Attention Systems Distinct Neural Circuits but Collaborative Roles. *Neuroscientist*, 20(2), 150–159. doi: [10.1177/1073858413494269](https://doi.org/10.1177/1073858413494269).

- Vuoksima, E., Eriksson, C., Pulkkinen, L., Rose, R. y Kaprio, J. (2010). Decreased prevalence of left-handedness among females with mal eco-twins: Evidence suggesting prenatal testosterone transfer in humans? *Psycho neuro endocrinology*, 35, 1462-1472. doi: 10.1016/j.psyneuen.2010.04.013.
- Wauschkuhn, B., Verleger, R., Wascher, E., Klostermann, W., Burk, M., *et al.* (1998). Lateralized Human Cortical Activity for Shifting Visuospatial Attention and Initiating Saccades. *The American Physiological Society*, 80(6), 2900-10. doi: 10.1152/jn.1998.80.6.2900.
- Wiesman, A., Heinrichs-Graham, E., Proskovec, A., McDermott, T. & Wilson, T. (2018). Oscillations during Observations: Dynamic Oscillatory Networks Serving Visuospatial Attention. *Human Brain Mapping*, 38(10), 5128–5140. doi: 10.1002/hbm.23720.
- Willems, R.M., Van der Haegen, L., Fisher, S. y Francks, C. (2014). On the other hand: including left-handers in cognitive neuroscience and neurogenetics. *Nature*, 15, 193-201.
- WMA Declaration of Helsinki ethical principles for medical research involving human subjects. Revised October 2013 (2015). doi: <https://doi.org/10.1515/9783110208856.233>
- Zago, L., Petit, L., Mellet, E., Jobard, G., Crivello, F., Joliot, M., Mazoyer, B. y Tzourio-Mazoyer, N. (2016). The association between hemispheric specialization for language production and for spatial attention depends on left-hand preference strength. *Neuropsychologia*, 93(Parte B), 394-406. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.018>.
- Zuanazzi, A. y Cattaneo, L. (2017). The right hemisphere is independent from the left hemisphere in allocating visospatial attention. *Neuropsychologia*, 102, 197-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.005>.

