



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ELECTROENCEFALOGRÁFICA
ASOCIADO A LA INHIBICIÓN EN SUJETOS DIESTROS Y ZURDOS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

SARAHÍ PAOLA CAÑARTE VARELA

TUTORA PRINCIPAL:

DRA. IRMA YOLANDA DEL RÍO PORTILLA

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. CARMEN SELENE CANSINO ORTIZ

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

DR. JUAN FELIPE SILVA PEREYRA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A la memoria de mi padre, el Ing. José Alberto Cañarte Castillo. Gracias por brindarme las bases y por impulsarme, lleno de orgullo y felicidad, a continuar sin importar las dificultades que se pudieran presentar, y por ese amor tan trascendental que me ha acompañado durante estos años.

A mi madre Esperanza Varela Suárez, porque tu amor, cariño, apoyo, paciencia, sabiduría, respeto, valentía y coraje han sido el pilar de esta familia. Te estaré agradecida infinitamente y te amaré por el resto de mis días.

A mis perritos, Simba y Aguaya, por acompañarme y estar siempre en mi regazo durante las largas horas dedicadas a este escrito.

Al Chatito, mi colega, vecino, mejor amigo y roomie, porque en las buenas y en las malas me has demostrado que se vive mejor en colectivo. Gracias por ser ese lugar seguro que me encanta llamar hogar.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Irma Yolanda, a quien admiro por su labor como docente e investigadora. Aprecio profundamente su tiempo y dedicación a lo largo de estos años, así como el apoyo incondicional que ha brindado más allá del laboratorio.

A los miembros de mi comité tutor, la Dra. Selene y el Dr. Juan, les agradezco por su colaboración en la conclusión de este trabajo a lo largo de estos dos años. Asimismo, agradezco a los integrantes del jurado, las Dras. Azalea Reyes y Susana Castro, por sus valiosas aportaciones que han contribuido a mejorar este trabajo, así como al Dr. Rodolfo Solís.

A mis compañeros del Laboratorio de Sueño de la Facultad de Psicología, les agradezco por hacer este proceso más ameno. Gracias por los viajes, congresos, seminarios y, por supuesto, las charlas que compartimos.

A mi tan única y especial familia Varela, que han sido el mayor soporte que mi mamá y yo pudimos encontrar, especialmente a mis tíos Lidia, Chivis, Aurora y Octavio. Mi cariño y amor siempre estarán con ustedes.

A mis mejores amigas, Bren Maniau y Sabi Riveros: la vida no sería la misma sin este trío. Su amistad ha sido el amor más puro y bello que he encontrado. Gracias por estar en las buenas y en las malas, y por haber logrado formar el "six pack". La felicidad de vernos crecer y permanecer juntas es infinita. Las amo y admiro con cada pedacito de este pequeño ser.

A José Miguel, el perris, porque hemos compartido tanto y de todo desde aquella ceremonia en la secundaria. Gracias por ser y estar aquí.

A mis colegas Reyna Rendón y Liliana Cruz, por esos memorables momentos de licenciatura que se han transformado en desayunos con calendario a lo largo de estos años. Me llena de orgullo que mis amigas sean las psicólogas más profesionales que esa generación pudo dar. Las quiero mucho.

A Emilio, el chico medallas de la maestría. Una vez escribí sobre lo que significaba la amistad en una postal, y hoy sigo pensando lo mismo. A Gali y Omarcín, por esos desayunos de

chilaquiles de rollito y catarstasis en nuestro grupo. La maestría fue más amena con su compañía.

A los doctores Emilio García y Fernando Maestú, por brindarme el apoyo y la oportunidad de llegar a la Complutense y enamorarme de la Neuropsicología, así como por su amor y dedicación a la enseñanza. Nunca me había sentido tan escuchada y considerada como alumna hasta ese verano en Madrid. Mi agradecimiento también a cada uno de los docentes del curso de Neurociencia y Neuroeducación, por compartir sus conocimientos y demostrarme que existen investigadores comprometidos y con una gran calidad humana.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada para mis estudios, CVU: 812748.

Al Programa de Apoyo de Estudios de Posgrado (PAEP), por el apoyo otorgado para presentar mi investigación en la Reunión Anual 2023 de la *Society for Neuroscience* en Washington, D.C., así como en el curso de verano de Neurociencia y Neuroeducación en la Universidad Complutense de Madrid.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación que he recibido desde la preparatoria hasta la maestría en sus aulas.

A la Coordinación del Programa Maestría en Ciencias (Neurobiología).

Finalmente, agradezco al *Committee Society for Neuroscience* por su apoyo a través del programa *Housing* durante mi estancia en Washington, D.C., los días del congreso.

RESUMEN

Introducción: Esta investigación se centra en los cambios en la actividad cerebral asociada con la inhibición de respuesta, comparando individuos con diferente lateralidad manual mediante electroencefalografía (EEG). Se profundiza en los mecanismos neurofisiológicos subyacentes al control inhibitorio, explorando cómo la lateralidad influye en estos procesos.

Objetivo: Analizar y comparar el desempeño conductual y la actividad electroencefalográfica asociados a la inhibición de respuesta en el paradigma Go/No-Go, entre participantes diestros y zurdos.

Método: La muestra incluyó a 42 participantes, diestros y zurdos, de entre 21 y 30 años, con al menos 12 años de educación formal y una alta consistencia en su lateralidad manual. Los participantes realizaron una tarea Go/No-Go simultáneamente al registro EEG. Se analizaron los cambios en las bandas de frecuencia para la Potencia Absoluta (PA), Potencia Relativa (PR) y el Acoplamiento Inter- e Intrahemisférico durante el estímulo inhibitorio.

Resultados: El análisis electroencefalográfico reveló diferencias significativas en las medidas de PR y correlación intrahemisférica en las bandas alfa 1, alfa 2 y theta 2. En los participantes zurdos, se observó un mayor porcentaje de actividad en alfa 1 y alfa 2 en el hemisferio izquierdo, mientras que en el hemisferio derecho se registró una mayor correlación intrahemisférica en las mismas bandas, así como en theta 2, en las regiones frontales, centrales, parietales y temporales.

Conclusiones: Los resultados sugieren que, aunque no se observaron diferencias conductuales en la inhibición de respuesta entre diestros y zurdos, las diferencias en la PR y la correlación intrahemisférica indican configuraciones neuronales distintas. Los zurdos muestran un mayor uso de recursos inhibitorios y una mayor coordinación en el hemisferio derecho para alcanzar un control inhibitorio similar al de los diestros. Esto refleja una organización neuronal y plasticidad cerebral relacionada con la lateralidad manual.

Palabras clave: Inhibición de Respuesta, Lateralidad Manual, EEG, Potencia Absoluta, Potencia Relativa, Correlación Inter- e Intrahemisférico.

ABSTRACT

Introduction: This research focuses on the changes in brain activity associated with response inhibition by comparing individuals with different manual lateralities using electroencephalography. It delves into the neurophysiological mechanisms underlying inhibitory control, exploring how handedness influences these processes.

Objective: To analyze and compare the behavioral performance and electroencephalographic activity associated with response inhibition in the Go/No-Go paradigm between right-handed and left-handed participants.

Method: The sample included 42 participants, both right-handed and left-handed, aged between 21 and 30 years, with at least 12 years of formal education and high consistency in manual laterality. participants performed a Go/No-Go task simultaneously with EEG recording. Changes in frequency bands were analyzed for Absolute Power (AP), Relative Power (RP), and Inter- and Intrahemispheric Correlation during the inhibitory stimulus.

Results: EEG analysis revealed significant differences in RP and intrahemispheric correlation in the alpha 1, alpha 2, and theta 2 bands. Left-handed participants showed a higher percentage of activity in the alpha 1 and alpha 2 bands in the left hemisphere, while the right hemisphere exhibited greater intrahemispheric correlation in the same bands, as well as in theta 2, across the frontal, central, parietal, and temporal regions.

Conclusions: The results suggest that, despite the absence of behavioral differences in response inhibition between right- and left-handed individuals, the differences in RP and intrahemispheric correlation indicate distinct neural configurations. Left-handed participants appear to employ more inhibitory resources and demonstrate greater coordination in the right hemisphere to achieve the same level of inhibitory control as right-handed individuals. This reflects neural organization and brain plasticity related to manual laterality.

Keywords: Response Inhibition, Handedness, EEG, Absolute Power, Relative Power, Inter- and Intrahemispheric Correlation.

ABREVIATURAS

ACC- Corteza cingulada anterior

ANCOVA- Análisis de covarianza

ANOVA- Análisis de varianza

CPF- Corteza prefrontal

CPV- Corteza prefrontal ventrolateral

EEG- Electroencefalografía

ERP- Potencial relacionado con eventos

FEF- Campo ocular frontal

FFT- Transformada rápida de Fourier

fMRI- Resonancia magnética funcional

IFC- Corteza frontal inferior

MANOVA- Análisis multivariado de varianza

MEG- Magnetoencefalografía

MPH- Metilfenidato

NA- Noradrenalina

PA- Potencia absoluta

PCA- Análisis de componentes principales

PM- Corteza premotora

PR- Potencia relativa

qEEG- Electroencefalografía cuantitativa

SMA- Área motora suplementaria

SNC- Sistema Nervioso Central

STN- Núcleo subtalámico

TDAH- Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

TEA- Trastorno del Espectro Autista

TMS- Estimulación magnética transcraneal

TOC- Trastorno Obsesivo-Compulsivo

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
ANTECEDENTES	- 4 -
CONTROL INHIBITORIO	- 4 -
Sustratos Neurobiológicos de la Inhibición de Respuesta	- 5 -
Mecanismos Corticales y Subcorticales de la Inhibición de Respuesta	- 5 -
Mecanismos Neurofarmacológicos de la Inhibición de Respuesta	- 6 -
Evaluación de la Inhibición de Respuesta a través del Paradigma Go/No-Go ...	- 7 -
ASIMETRÍA HEMISFÉRICA FUNCIONAL	- 9 -
Lateralidad Manual	- 9 -
Evaluación de la Lateralidad Manual	- 10 -
Distribución y Etiología de la Lateralidad Manual	- 10 -
Asimetría Hemisférica Funcional e Inhibición de Respuesta	- 11 -
Asimetría Hemisférica Funcional y Rendimiento en Tareas Go/No-Go con base en la Lateralidad Manual.....	- 12 -
ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL	- 13 -
Potencia Absoluta y Relativa.....	- 14 -
Acoplamiento Inter- e Intrahemisférico	- 14 -
Características Electroencefalográficas en la Inhibición de Respuesta	- 15 -
Actividad Eléctrica Cerebral en el Control Inhibitorio de Tipo Motor: Implicaciones de la Lateralidad Manual	- 17 -
JUSTIFICACIÓN	- 18 -
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	- 20 -

OBJETIVOS	- 20 -
GENERAL	- 20 -
ESPECÍFICOS	- 20 -
HIPÓTESIS	- 21 -
GENERAL	- 21 -
ESPECÍFICAS	- 21 -
TIPO DE ESTUDIO	- 21 -
MÉTODO	- 22 -
Participantes	- 22 -
Paradigma experimental Go/No-Go.....	- 22 -
Materiales	- 24 -
Adquisición de datos	- 24 -
ANÁLISIS DE DATOS	- 25 -
<i>Análisis de la señal de EEG</i>	- 25 -
<i>Análisis estadístico</i>	- 26 -
RESULTADOS	- 28 -
COMPARACIONES DEMOGRÁFICAS Y CONDUCTUALES	- 28 -
DESEMPEÑO CONDUCTUAL EN LA TAREA Go/No-Go	- 29 -
RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL	- 30 -
<i>Potencia Absoluta</i>	- 30 -
<i>Potencia Relativa</i>	- 31 -
<i>Acoplamiento Interhemisférico</i>	- 34 -
<i>Acomplamiento Intrahemisférico</i>	- 34 -

DISCUSIÓN.....	- 41 -
DESEMPEÑO CONDUCTUAL	- 41 -
ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL	- 42 -
<i>Potencia Absoluta y Relativa</i>	- 42 -
<i>Acoplamiento Interhemisférico</i>	- 44 -
<i>Acoplamiento Intrahemisférico</i>	- 45 -
ALCANCES Y LIMITACIONES	- 48 -
CONCLUSIÓN.....	- 50 -
REFERENCIAS	- 51 -
LISTA DE FIGURAS.....	- 60 -
LISTA DE TABLAS	- 61 -
ANEXOS	- 62 -

INTRODUCCIÓN

La inhibición de respuesta es un mecanismo de control motor que permite a los individuos suprimir respuestas inapropiadas ante estímulos específicos. Esta habilidad es esencial para acciones cotidianas, como detenerse ante un semáforo en rojo o controlar impulsos (Huster et al., 2013). El éxito en comportamientos dirigidos a metas depende críticamente de la capacidad para inhibir acciones no deseadas, incluidas la supresión de información irrelevante y respuestas automáticas, especialmente en contextos de cambios repentinos en las restricciones ambientales o en los objetivos internos. La falta de control inhibitorio no solo dificulta el logro de metas conductuales, sino que también se asocia con la patogénesis de trastornos del neurodesarrollo, incluidos el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) y el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) (Hong et al., 2017; Criaud & Boulinguez, 2013).

El control inhibitorio es un componente central en la neurociencia cognitiva, enfocado en cómo el cerebro regula los impulsos y ajusta las respuestas conductuales ante diversos estímulos. Este proceso se divide en dos tipos de inhibición: la inhibición cognitiva, que se dirige a suprimir pensamientos no deseados, y la inhibición conductual, que modula las acciones motoras de acuerdo con las demandas del entorno (Li et al., 2022). Comprender los mecanismos de la inhibición de respuesta es fundamental para regular el comportamiento adaptativo, ya que permite al cerebro filtrar estímulos irrelevantes y controlar las acciones de manera eficiente. Esto contribuye al funcionamiento adecuado en diversas situaciones cotidianas. Además, el estudio de las deficiencias en la inhibición de respuesta puede ofrecer claves sobre trastornos neurológicos y psiquiátricos donde se ve afectado el control de impulsos y la regulación conductual.

La evaluación de la inhibición de respuesta ha sido ampliamente estudiada utilizando paradigmas *Go/No-Go* (ir/no ir). Estos paradigmas permiten explorar detalladamente la inhibición conductual y cuantificar el procesamiento a través de medidas conductuales. Además, técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional (fMRI) y el EEG, han sido fundamentales para descubrir las bases neuronales subyacentes a estos procesos y su

relación con los trastornos psiquiátricos mencionados anteriormente (Hong et al., 2017; Criaud & Boulinguez, 2013; Huster et al., 2013).

Diversas investigaciones han evidenciado discrepancias neuroanatómicas y funcionales relacionadas con la lateralidad manual (Schmitz et al., 2017). La asimetría hemisférica funcional refleja la especialización de cada hemisferio en funciones cognitivas específicas, facilitando una distribución más eficiente de las redes neuronales (Ocklenburg et al., 2017). Esta asimetría ha mostrado una correlación significativa con el procesamiento del lenguaje (Uomini & Ruck, 2018). No obstante, el impacto de la lateralidad en los procesos de inhibición aún no se comprende completamente.

Mancini y Mirabella (2021) señalan que los individuos zurdos suelen presentar asimetrías hemisféricas menos pronunciadas, lo que sugiere diferencias en el procesamiento de la información que podrían influir en comportamientos específicos. La escasa inclusión de personas zurdas en estudios previos ha limitado la comprensión de estas variaciones en diferentes procesos cognitivos, como el control inhibitorio, resaltando la necesidad de realizar investigaciones más exhaustivas y representativas (Schmitz et al., 2017).

La investigación sobre la inhibición se ha centrado principalmente en personas diestras, dejando un vacío de conocimiento en relación con los zurdos. Ambos grupos, diferenciados por su lateralidad, exhiben patrones únicos de activación. Los participantes zurdos muestran asimetrías hemisféricas menos marcadas en comparación con los diestros durante tareas motoras complejas (D'Alberto et al., 2017). Por lo tanto, la disminución de las asimetrías hemisféricas asociadas con la lateralidad podría estar relacionada con variaciones en el procesamiento de la información, lo que influiría en los resultados conductuales (Villar-Rodríguez et al., 2023).

Basado en investigaciones previas, este estudio tiene como objetivo identificar diferencias significativas en los cambios de PA, PR y acoplamiento temporal de la actividad electroencefalográfica asociada a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos. Además, se evalúan medidas conductuales relacionadas con la inhibición de respuesta, como el número de aciertos y errores por comisión, para contrastar la actividad funcional entre estos dos grupos.

En resumen, este estudio busca contribuir a la comprensión de los mecanismos neurofisiológicos detrás de la inhibición de respuesta de tipo motor, motivado por la variabilidad observada en la capacidad de los individuos para controlar y coordinar movimientos ante estímulos externos en tareas Go/No-Go. Además, se destaca la importancia de considerar diferencias individuales, como la lateralidad manual, en la investigación del control inhibitorio. Sin embargo, algunas limitaciones, como el tamaño y la diversidad de la muestra, podrían influir en la generalización de los resultados. Abordar estas limitaciones en futuras investigaciones contribuirá a ampliar nuestro conocimiento sobre la variabilidad en el control inhibitorio entre individuos.

ANTECEDENTES

Control Inhibitorio

El control inhibitorio es un proceso esencial de control cognitivo o ejecutivo que permite a un individuo inhibir impulsos y respuestas comportamentales naturales, habituales o predominantes ante ciertos estímulos. Esto implica la supresión de respuestas automáticas o prepotentes aprendidas a favor de comportamientos más alineados con los objetivos personales. Con base en la literatura científica, existen dos categorías principales de inhibición: la cognitiva y la conductual (Li et al., 2022).

La inhibición cognitiva tiene la función de suprimir total o parcialmente un proceso cognitivo o atencional, ya sea de manera voluntaria o involuntaria. Las características principales de esta inhibición son la retención mental y la disminución del rendimiento. Este tipo de inhibición es fundamental para optimizar otros procesos cognitivos y conductuales, como la memoria, ya que facilita ajustes dinámicos en comportamientos orientados a objetivos y reduce la interferencia provocada por estímulos distractores irrelevantes (Aydmune et al., 2018; Bary & Robbins, 2013).

Por otro lado, la inhibición conductual, también conocida como inhibición de respuesta, implica la capacidad de suprimir o modificar voluntariamente una respuesta motora inapropiada ya planificada o iniciada. Esta habilidad se manifiesta en una etapa avanzada del procesamiento de la información, cuando es necesario seleccionar respuestas pertinentes y resistir las inadecuadas para adaptarse a las demandas del contexto. Se refleja en comportamientos observables como la supresión de respuestas, la gratificación diferida y el aprendizaje inverso, lo que facilita la medición objetiva de la latencia y la eficiencia de los procesos cognitivos y fisiológicos subyacentes en el organismo (Rincón-Pérez et al., 2018).

La evaluación de los índices observables del control inhibitorio permite analizar cómo el cerebro gestiona y prioriza la información y las respuestas en situaciones complejas. Además, facilita el examen de las repercusiones conductuales y funcionales de su deficiencia, tanto en cerebros sanos como en aquellos que presentan patologías.

Sustratos Neurobiológicos de la Inhibición de Respuesta

La investigación sobre los sustratos neurobiológicos de la inhibición conductual se ha desarrollado a través de una amplia gama de técnicas y enfoques, abarcando tanto modelos en humanos como en animales no humanos. La neurobiología de la inhibición se estudia mediante diversas metodologías, incluidas la fMRI, el EEG y técnicas de neuroimagen molecular. Estas herramientas han permitido observar la actividad cerebral y los cambios neuroquímicos asociados con los procesos inhibitorios en diversas condiciones y trastornos (Rincón-Pérez et al., 2018).

Estos modelos ofrecen la posibilidad de investigar cómo diferentes sustancias y lesiones cerebrales específicas afectan el comportamiento impulsivo. Asimismo, permiten un análisis exhaustivo de las bases genéticas, neurofarmacológicas, anatómicas y fisiológicas de los trastornos caracterizados por una inhibición conductual deficiente. Comprender los mecanismos subyacentes a los déficits en el control inhibitorio conductual no solo abre nuevas perspectivas para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades psiquiátricas, sino que también contribuye a mejorar las condiciones de vida de la población en general.

Mecanismos Corticales y Subcorticales de la Inhibición de Respuesta

Las áreas corticales más frecuentemente implicadas en tareas con componente inhibitorio de tipo motor, según estudios de fMRI y de lesiones, incluyen los lóbulos frontales. Dentro de estos, se destacan la corteza prefrontal ventrolateral (CPV), la corteza premotora (PM), el área motora pre-suplementaria (pre-SMA) y la suplementaria (SMA), así como la corteza frontal inferior, especialmente en el hemisferio derecho (IFC), siendo esta última crítica para inhibir una respuesta motora ya iniciada. Además, la corteza parietal y la ínsula también desempeñan roles importantes (Villar-Rodríguez et al., 2023; Aron et al., 2018). La corteza insular es fundamental para mantener los niveles de motivación y el control *top-down* (de arriba hacia abajo), mientras que la activación parietal facilita la integración, el control y la modulación sensoriomotora. Por otro lado, la región PM está involucrada en el movimiento de las extremidades contralaterales (Bary & Robbins, 2013).

Los pacientes con lesiones que afectan el SMA y la PM suelen mostrar aumentos en los tiempos de reacción y un mayor número de omisiones en tareas basadas en el paradigma

Go/No-Go. Esto sugiere que estas áreas juegan un papel crucial no solo en el control motor, sino también en la selección de respuestas adecuadas (Smith et al., 2013). El campo ocular frontal (*FEF*, por sus siglas en inglés), es fundamental para el control de sácadas, facilitando el monitoreo del comportamiento. Además, la subdivisión motora de la corteza cingulada anterior (ACC) es esencial para funciones como la atención en la selección de respuestas, la detección de errores, la anticipación y la memoria de trabajo. El ACC tiene proyecciones directas hacia la médula espinal y diversos núcleos de los ganglios basales, y mantiene conexiones recíprocas con la PM y la SMA, permitiendo un control eficiente de respuestas dirigidas a objetivos (Bary & Robbins, 2013).

En este contexto, los ganglios basales, que incluyen el núcleo caudado, el putamen, el globo pálido (regiones externa e interna), la sustancia negra (*pars compacta* y *pars reticulata*) y el núcleo subtalámico (STN), desempeñan un rol significativo en la inhibición conductual. Las proyecciones de los ganglios corticobasales hacia el STN forman parte de la vía hiperdirecta. Esta vía facilita una inhibición rápida de acciones en curso mediante el incremento de señales inhibitorias procedentes del globo pálido (Aron et al., 2018; Jahanshahi et al., 2015). El núcleo accumbens, asociado con la recompensa y la motivación, junto con el tálamo, facilita la comunicación entre estas vías subcorticales, las cortezas motoras y la médula espinal (Schmidt et al., 2022). Estas estructuras subcorticales están implicadas en la supresión de respuestas automáticas y en la selección de respuestas motoras más adecuadas.

Mecanismos Neurofarmacológicos de la Inhibición de Respuesta

En términos de neurotransmisión, se ha descubierto que la inhibición de respuesta está modulada por sistemas monoaminérgicos, como el dopaminérgico, el serotoninérgico y el noradrenérgico (NA). Estos sistemas son esenciales para la comunicación y coordinación entre las distintas regiones cerebrales involucradas, permitiendo así una mayor eficiencia y regulación del proceso inhibitorio (Bary & Robbins, 2013).

La dopamina, clasificada como una catecolamina, se origina en neuronas que se encuentran en distintas áreas del mesencéfalo. Estas neuronas se extienden hacia diversas regiones cerebrales mediante tres vías principales: la nigroestriatal, la mesocorticolímbica y la tuberoinfundibular (Bear et al., 2016). Aunque el papel de la dopamina en la modulación de la impulsividad ha sido ampliamente reconocido, su influencia en el control inhibitorio sigue

siendo controvertida. Un ejemplo notable es el uso del metilfenidato (MPH), un fármaco que bloquea los transportadores de dopamina y NA, inhibiendo así su recaptura a nivel presináptico. Este medicamento ha demostrado ser eficaz en la corrección de deficiencias en la inhibición conductual, especialmente en el tratamiento del TDAH. Este fármaco destaca no solo por su capacidad para mitigar los déficits, sino también por permitir la comprensión de las complejas dinámicas entre la neurotransmisión y el comportamiento (Gurvich & Rosell, 2014).

La serotonina, también conocida como 5-hidroxitriptamina (5-HT), es un neurotransmisor monoamínico sintetizado por neuronas serotoninérgicas del sistema nervioso central (SNC). Estas neuronas tienen una localización primordial en los núcleos del rafe dentro del tronco cerebral (Bear et al., 2016). Numerosos estudios han establecido una relación entre la serotonina y varios aspectos de la impulsividad, incluyendo comportamientos de agresividad impulsiva y la incapacidad de espera (Drueke et al., 2013). Se ha propuesto que la serotonina desempeña un papel importante en la restricción de acción en tareas de Go/No-Go (detalle que se explica en el siguiente apartado del capítulo), así como en la capacidad de retener y diferir la gratificación (Faulkner & Deakin, 2014). Sin embargo, aún se discute su influencia en el control inhibitorio.

Por otro lado, la NA o norepinefrina (NE) es un tipo de catecolamina que actúa en el SNC humano como neurotransmisor y en otras partes del cuerpo como hormona. En el cerebro, las neuronas noradrenérgicas se ubican principalmente en el *locus coeruleus* y envían proyecciones a diversas áreas, incluida la corteza prefrontal (CPF) y los ganglios basales (Bear et al., 2016). La atomoxetina, un inhibidor de la recaptura de NA, ha demostrado ser efectiva en mejorar la inhibición de respuesta tanto en ratas como en humanos, incluidos pacientes con TDAH. Este fármaco mejora el tiempo de reacción ante estímulos imperativos, favorece la atención sostenida y mejora la orientación ante estímulos (Rincón-Pérez et al., 2018; Bary & Robbins, 2013).

Evaluación de la Inhibición de Respuesta a través del Paradigma Go/No-Go

En el laboratorio, los paradigmas de inhibición conductual, como las tareas Go/No-Go y *Stop-Signal* (tarea de señal de detección), se han utilizado ampliamente para investigar los mecanismos

conductuales y neuronales subyacentes (Hong et al., 2017). La tarea neuropsicológica más empleada para estudiar la inhibición de la respuesta es, sin duda, la tarea Go/No-Go, debido a su simplicidad y fiabilidad en el sondeo de los mecanismos de inhibición de la respuesta (Criaud & Boulinguez, 2013). En la tarea Go/No-Go, se presentan dos tipos de estímulos en pantalla, comúnmente figuras geométricas simples, que indican los ensayos Go y No-Go. Durante los ensayos Go, se instruye a los participantes a responder rápidamente a una figura específica, por ejemplo, presionando un botón. En contraste, en los ensayos No-Go, se les pide que inhiban su respuesta ante la presentación de un segundo estímulo (Huster et al., 2013).

El fundamento teórico principal establece que los procesos inhibitorios activados por los estímulos No-Go operan como mecanismos fásicos reactivos, diseñados para evitar respuestas automáticas. Dado que los estímulos No-Go se presentan con menor frecuencia que los estímulos Go, se genera una tendencia a responder ante estos últimos. Esto exige la supresión de una acción motora cuando es inapropiada, activando un robusto control inhibitor (Criaud & Boulinguez, 2013). En entornos experimentales, tanto los estímulos Go como No-Go se muestran en una ubicación fija, lo que facilita un despliegue selectivo de la atención visual del participante (procesamiento top-down). Este enfoque promueve un estado de atención preparatoria, clave para detectar eficazmente las señales que requieren inhibición (Hong et al., 2017).

Por lo general, el control inhibitorio se evalúa mediante el número de inhibiciones exitosas y la cantidad de errores de comisión, que reflejan fallos en la supresión de respuestas ante los estímulos No-Go, lo que se interpreta como un fallo en la inhibición (Huster et al., 2013). La tasa de errores de comisión es un índice conductual y neuropsicológico que mide la capacidad de inhibir respuestas; una tasa baja refleja una alta capacidad inhibidora (Rincón-Pérez et al., 2018).

Además del análisis del rendimiento conductual, las técnicas de neuroimagen, como la fMRI y el EEG, han sido fundamentales para identificar las estructuras cerebrales y localizar las fuentes neuronales asociadas con la inhibición conductual. Estas técnicas han permitido avances en el estudio tanto de cerebros típicos como patológicos (Rincón-Pérez et al., 2018; Hong et al., 2017; Criaud & Boulinguez, 2013; Huster et al., 2013).

Un área de especial interés ha sido la exploración de la impulsividad en diversas condiciones psiquiátricas y trastornos, como el TDAH, el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC), el trastorno del espectro autista (TEA), la manía, las adicciones, los comportamientos delictivos, la

esquizofrenia y, más recientemente, la enfermedad de Parkinson (Kolodny et al., 2017). Por lo tanto, profundizar en la comprensión del control inhibitorio de tipo motor mediante tareas como la Go/No-Go puede ayudar a esclarecer los mecanismos subyacentes a este proceso.

Asimetría Hemisférica Funcional

Desde el punto de vista anatómico, el cerebro humano se divide en dos hemisferios, derecho e izquierdo, cada uno especializado en diversos procesos cognitivos. La existencia de diferencias entre estos hemisferios ha sido ampliamente estudiada en el campo de las neurociencias cognitivas y se conoce como asimetría hemisférica funcional. Esta asimetría constituye una característica fundamental de la organización cerebral y sugiere que cada hemisferio está especializado en funciones cognitivas particulares (Tzourio-Mazoyer & Seghier, 2016; Cochet, 2015). La asimetría hemisférica funcional facilita una distribución eficiente de las redes neuronales y sus interacciones, tanto dentro de cada hemisferio como entre ellos. Esto optimiza el procesamiento cerebral en diversas funciones cognitivas (Ocklenburg et al., 2017; Schmitz et al., 2017).

La asimetría hemisférica funcional ha sido documentada mediante estudios que emplean técnicas como la fMRI, el EEG y la magnetoencefalografía (MEG), así como en investigaciones clínicas que exploran los efectos del daño cerebral en distintas funciones cognitivas. Uno de los hallazgos más significativos es el predominio del hemisferio izquierdo en actividades relacionadas con el lenguaje, la lógica y el control motor de la mano derecha. En contraste, el hemisferio derecho se especializa en el procesamiento visoespacial, el reconocimiento de emociones, la creatividad y los procesos musicales e inhibitorios conductuales (Uomini & Ruck, 2018). Sin embargo, el procesamiento del lenguaje y el control de la mano derecha son las funciones más estudiadas en relación con la asimetría hemisférica, tanto a nivel conductual como funcional (Guadalupe et al., 2014).

Lateralidad Manual

La lateralidad manual es un aspecto conductual del sistema motor que se manifiesta desde el período prenatal y se consolida durante la primera infancia (Guadalupe et al., 2014). Aunque no existe una definición formal y universalmente aceptada de la lateralidad manual, esta incluye los siguientes aspectos: (1) una predisposición innata a utilizar una mano sobre la otra en tareas

motoras complejas, lo que permite clasificar a las personas como zurdas, diestras o ambidiestras; (2) una preferencia consistente por el uso de una mano en particular para la mayoría de las actividades motoras diarias; y (3) un rendimiento superior de la mano preferida en la ejecución de tareas específicas (Buckingham & Carey, 2015).

Evaluación de la Lateralidad Manual

La lateralidad manual es una conducta compleja cuya determinación se basa en el análisis tanto de la preferencia como del rendimiento manual. Este análisis distingue entre personas diestras, zurdas y ambidiestras, lo que facilita la exploración de las diferencias en el rendimiento cognitivo. Identificar correctamente estas categorías es crucial para entender la variabilidad en las habilidades cognitivas entre individuos.

Para superar las limitaciones de los métodos tradicionales, se han desarrollado enfoques cualitativos que evalúan tanto la dirección como la intensidad de la preferencia manual. Un ejemplo destacado es el Inventario de Lateralidad de Edimburgo (Oldfield, 1971), que se ha convertido en la herramienta más utilizada para minimizar los sesgos en la evaluación de la lateralidad manual. Además, se han propuesto diversos cuestionarios que permiten calcular un índice de preferencia manual, evaluando tanto el grado de preferencia (izquierda o derecha) como su intensidad, que puede variar desde una lateralización bien definida hasta una ambidiestra. El cuestionario de preferencia manual de Annett (1967) es otro instrumento que ofrece una medida detallada del grado de lateralidad manual, contribuyendo a una comprensión más profunda del fenómeno.

Distribución y Etiología de la Lateralidad Manual

Se estima que alrededor del 90% de la población prefiere usar la mano derecha para actividades como agarrar, escribir y manipular herramientas, mientras que el 10% restante prefiere la mano izquierda. En la población general, aproximadamente el 11.6% de los hombres y el 8.6% de las mujeres son zurdos (Willems et al., 2014). En México, la prevalencia de personas zurdas es de aproximadamente el 2.5%. Entre los países con una mayor proporción de población zurda, que oscila entre el 15% y el 20%, se encuentran Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y otros países europeos. En contraste, las tasas más bajas de personas zurdas, que varían entre el 0.06% y el 2.8%, se encuentran en el Congo, China y Taiwán (Schmitz et al., 2017).

Diversas hipótesis sugieren que los factores ambientales y socioculturales refuerzan la influencia genética y hormonal en el desarrollo de la preferencia manual. Además, estudios han propuesto que ciertas patologías perinatales podrían influir y fortalecer esta preferencia. No obstante, hasta el momento no se ha determinado una causa precisa para este fenómeno (Cochet, 2015).

Asimetría Hemisférica Funcional e Inhibición de Respuesta

La relación entre la inhibición conductual y la asimetría hemisférica funcional ha generado un gran interés en la comunidad científica. Investigaciones recientes sugieren una conexión significativa entre la capacidad de inhibición conductual y un aumento de la actividad en el hemisferio derecho del cerebro.

Diversos estudios que utilizan técnicas de neuroimagen en tareas Go/No-Go han encontrado resultados contradictorios respecto a la lateralización del control inhibitorio. Algunos de ellos han identificado que el IFG derecho, encargado de cancelar movimientos ya planificados, interactúa con la pre-SMA derecha a través de proyecciones que descienden hacia el STN derecho. Este último suprime la actividad de la PM y la SMA, facilitando así la inhibición conductual (Villar-Rodríguez et al., 2023; Aron et al., 2004). Además, se ha observado que los pacientes con daño en el IFG derecho muestran un menor desempeño en las respuestas motoras durante tareas Go/No-Go en comparación con controles sanos (Aron et al., 2003). De manera similar, la capacidad de inhibición se ve comprometida temporalmente en personas expuestas a estimulación magnética transcraneal (TMS) dirigida al IFG derecho (D'Alberto et al., 2017).

Por otro lado, algunas investigaciones sugieren que el IFG izquierdo también desempeña un papel significativo en el control inhibitorio. Estos estudios indican que, a medida que aumenta la complejidad de la tarea de inhibición, el IFG izquierdo se activa para colaborar con el IFG derecho (Villar-Rodríguez et al., 2023). Un estudio realizado en un paciente con el cerebro dividido evaluó dos tareas de inhibición conductual, Go/No-Go y Stop-Signal, en cada hemisferio cerebral. Los resultados mostraron que el hemisferio derecho del paciente tenía una capacidad de inhibición superior en comparación con el hemisferio izquierdo en ambas pruebas de control inhibitorio. No obstante, aunque en menor medida, el hemisferio izquierdo también mostró un incremento en su

capacidad de inhibición motora. Estos hallazgos respaldan la idea de que el hemisferio derecho tiene un papel predominante en el control inhibitorio (D'Alberto et al., 2017).

En resumen, estos resultados sugieren la existencia de una red de control inhibitorio predominantemente lateralizada hacia el hemisferio derecho. Sin embargo, sigue en debate si el control inhibitorio depende exclusivamente del hemisferio derecho o si requiere la cooperación entre ambos hemisferios cerebrales, lo que continúa siendo un área clave de investigación.

Asimetría Hemisférica Funcional y Rendimiento en Tareas Go/No-Go con base en la Lateralidad Manual

La relación entre la asimetría hemisférica, el control inhibitorio de tipo motor y la lateralidad manual es fundamental para comprender la hipótesis de que el hemisferio derecho está especializado en la inhibición. Esta teoría sugiere que detener un movimiento requiere modificar la actividad del hemisferio opuesto al miembro en movimiento. Así, inhibir un movimiento del brazo izquierdo sería más directo que inhibir el del brazo derecho, ya que, en este último caso, las señales inhibitorias del hemisferio derecho deben cruzar al hemisferio izquierdo (Mancini & Mirabella, 2021). Por otro lado, los zurdos, con una lateralización cognitiva menos acentuada que los diestros, podrían tener un control inhibitorio que involucra ambos hemisferios de manera más equitativa. Esta característica puede influir en cómo procesan la información y, por ende, en su comportamiento.

Numerosas investigaciones han indicado que las personas diestras presentan un rendimiento superior en las tareas Go/No-Go, evidenciado por un mayor número de respuestas correctas ante los estímulos Go y tiempos de reacción más rápidos (Galán-López & del Río-Portilla, 2012). En contraste, las personas zurdas suelen mostrar patrones de rendimiento distintos, como un mayor número de errores, tanto por omisión como por comisión, y tiempos de reacción más prolongados (Villar-Rodríguez et al., 2023).

Este patrón asimétrico resalta la complejidad de los procesos neurocognitivos involucrados en el control inhibitorio y subraya la importancia de considerar la lateralidad manual como un factor significativo en la organización funcional que requiere inhibición de respuesta. Aunque la asimetría hemisférica y el desempeño cognitivo no se definen únicamente por la lateralidad manual, se observa que tienden a diferir en función de ella. Por lo tanto, las diferencias en el rendimiento

en tareas Go/No-Go entre personas diestras y zurdas podrían estar parcialmente influenciadas por la organización neurofuncional del cerebro.

Actividad Eléctrica Cerebral

La EEG es una técnica neurofisiológica utilizada para registrar la actividad eléctrica del cerebro. Esta metodología proporciona una perspectiva detallada sobre la organización funcional del cerebro, ofreciendo una resolución temporal de la actividad neuronal tanto a nivel global como regional. Además, el EEG registra la comunicación oscilatoria dentro y entre las redes neuronales. La actividad capturada proviene principalmente de las neuronas piramidales corticales, que se localizan en las capas tercera y quinta de la corteza cerebral, orientándose de manera perpendicular a la superficie del cerebro (Britton et al., 2016).

Para registrar estas señales eléctricas, es necesario amplificarlas y filtrarlas, ya que el EEG detecta la suma de los potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios de grupos neuronales que se activan de manera sincrónica. La actividad cortical capturada por el EEG oscila entre 0.5 y aproximadamente 50 Hertz (Hz), con amplitudes que varían entre 5 y 200 microvoltios (μV) (Marcuse et al., 2016).

Las ondas cerebrales registradas mediante el EEG se clasifican en cinco bandas principales: delta (δ), menos de 4 Hz; theta (θ), de 4 a 7 Hz; alfa (α), de 8 a 12 Hz; beta (β), de 13 a 30 Hz; y gama (γ), con frecuencias superiores a 30 Hz. La banda gama se subdivide a su vez en gama baja (30 a 70 Hz) y gama alta (más de 70 Hz). Estas últimas se observan frecuentemente en registros intracraneales (Britton et al., 2016). Cada banda se distingue por características específicas en términos de frecuencia, morfología, amplitud y el estado funcional que suelen aparecer. Por lo tanto, la frecuencia de oscilación puede estar relacionada con la extensión de las redes neuronales o el equilibrio subyacente de excitación-inhibición, reflejando la actividad de diferentes poblaciones neuronales y/o distintos estados de la red.

A pesar de que las metodologías de evaluación con alta resolución espacial han reducido el uso del EEG tradicional, el EEG cuantitativo (qEEG) ha demostrado ser una herramienta valiosa. Este método permite identificar la actividad funcional en curso, ya sea durante un período de tiempo determinado o en la realización de tareas cognitivas (Houston y Ceballos, 2013). Las diferencias en las características del qEEG, como la frecuencia y amplitud, se han asociado con

distintos estados mentales y comportamentales, como la vigilia relajada y los cambios en la actividad asociados con el procesamiento mental. Esto proporciona una base confiable para la detección de actividad cerebral anormal, lo que resulta útil tanto en el diagnóstico como en la investigación de condiciones neurológicas y psiquiátricas (Bel-Bahar et al., 2022).

Potencia Absoluta y Relativa

Las medidas de qEEG se basan en análisis de frecuencia, donde la señal se descompone en sus sub-bandas o se obtiene un espectro de potencia. Esta descomposición es clave para entender cómo se organizan y comunican las redes cerebrales en diferentes condiciones (Houston & Ceballos, 2013). La transformada rápida de Fourier (*FFT*, por sus siglas en inglés) es el método de estimación espectral más utilizado. Este método emplea un algoritmo para descomponer la señal en sus componentes de frecuencia, permitiendo determinar los cambios en la energía o la potencia presentes en cada una de estas (Bel-Bahar et al., 2022).

El promedio de la potencia espectral a través de todas las bandas de frecuencia produce la varianza de la señal. La potencia se expresa típicamente en unidades absolutas, que corresponden a la energía o potencia dentro de una banda de frecuencia específica, o en unidades relativas, que indican la relación entre la potencia de una banda de frecuencia particular y la potencia total acumulada en todas las bandas (Guevara et al., 2003). La PR ha sido identificada como un parámetro significativo para el análisis del EEG durante tareas cognitivas, ya que muestra una menor variabilidad entre individuos y puede ser más confiable que la PA (Fernández et al., 1993).

Acoplamiento Inter- e Intrahemisférico

La investigación de la conectividad cerebral, mediante métricas como la coherencia y la correlación de señales del EEG, permite conocer la sincronización de las áreas cerebrales tanto dentro de un hemisferio como entre ambos. Este análisis, que puede realizarse mediante electrodos individuales o grupos de ellos, es fundamental para comprender la dinámica cerebral durante diversas tareas cognitivas (Bel-Bahar et al., 2022).

Las medidas de correlaciones interhemisféricas e intrahemisféricas proporcionan datos esenciales sobre cómo interactúan funcionalmente los circuitos neuronales en diversas áreas cerebrales, tanto en reposo como durante el procesamiento cognitivo. La correlación

interhemisférica mide el grado de comunicación e integración entre señales del EEG de canales homólogos en ambos hemisferios, mientras que la correlación intrahemisférica compara las señales de canales homólogos dentro del mismo hemisferio (Guevara & Corsi-Cabrera, 1996).

La correlación se determina en el dominio del tiempo y proporciona información sobre la relación de fase o el tiempo promedio en un período determinado. Utilizando la correlación momento-producto de Pearson, este método mantiene la polaridad (con valores que oscilan entre -1 y 1) e independiza de la amplitud. Este enfoque ofrece una perspectiva única sobre las interacciones neuronales al permitir el análisis basado en la correlación para segmentos individuales (Guevara et al., 2003).

Características Electroencefalográficas en la Inhibición de Respuesta

Los paradigmas de inhibición de respuesta son ampliamente utilizados para estudiar el control inhibitorio, aplicándose tanto a personas sanas como a grupos de pacientes. Debido a la necesidad de suprimir la respuesta motora, las investigaciones no solo evalúan el desempeño conductual, sino que también incorporan el análisis de variables electrofisiológicas provocadas por los estímulos No-Go como indicadores de los procesos inhibitorios. El objetivo principal de estas investigaciones es comprender las dinámicas cerebrales que subyacen al control cognitivo.

Los potenciales relacionados con eventos (*ERPs*, por sus siglas en inglés), son respuestas eléctricas en el cerebro que se producen en respuesta a estímulos específicos. En este contexto, se ha identificado una secuencia específica durante las tareas que requieren inhibición de respuesta. Inicialmente, se observa una negatividad frontocentral, denominada N200 (N2), que aparece aproximadamente entre 200 y 300 milisegundos tras el inicio del estímulo No-Go. Este fenómeno es seguido por una respuesta positiva diferenciada, conocida como P300 (P3), que presenta una topografía precentral y medio frontal. Este conjunto de potenciales, el complejo N2/P3, se asocia con la inhibición motora o de respuesta (Huster et al., 2013).

Al analizar estos potenciales en términos de tiempo-frecuencia, se ha encontrado un incremento en la potencia de las bandas theta en la línea media frontal y en la banda delta durante el mismo período de respuesta (De la Rosa et al., 2019). Específicamente, la banda delta muestra variaciones únicamente para el componente P300 (Smith et al., 2013). Aunque el paradigma

Go/No-Go ha sido ampliamente estudiado con PREs, son escasos los estudios que analizan los cambios inducidos en el EEG utilizando otras medidas espectrales.

Los estudios electrofisiológicos han evidenciado que el acoplamiento de las actividades delta y beta en el EEG señala interacciones funcionales entre circuitos corticales y subcorticales, lo que podría interpretarse como un mecanismo de regulación top-down. Se propone que la actividad delta potencia los mecanismos de atención hacia estímulos significativos y relevantes para el comportamiento. Además, se ha observado que tanto el control inhibitorio como los síntomas de ansiedad están estrechamente relacionados con estos patrones, así como con un aumento en la sincronización delta-beta en adultos (Buss & Qu, 2018).

Harmony et al. (2009) observaron un aumento en la potencia theta en las condiciones Go y No-Go, siendo este incremento más notable en la condición No-Go. Destacaron un aumento específico entre los 450 y 550 ms, únicamente en la condición No-Go y en la región frontal media. Estos resultados sugieren que la potencia theta está vinculada a la inhibición de respuestas motoras. Además, identificaron un incremento en la potencia alfa en ambas condiciones, tanto en regiones anteriores como posteriores, lo que indica que la sincronización alfa desempeña un papel en el control inhibitorio y en la coordinación del procesamiento cortical.

Además de los hallazgos relacionados con la potencia theta, se ha observado un aumento en la modulación de la banda beta durante la inhibición de respuestas, específicamente en los electrodos ubicados en las regiones frontal y central del cuero cabelludo, en situaciones donde no se ejecutan movimientos planificados, como después de una señal de No-Go (Kilavik et al., 2013). Las oscilaciones beta son fundamentales en las interacciones de retroalimentación entre el IFG y las áreas motoras, así como en la red de ganglios basales frontales (Aron, 2011). Un incremento en la frecuencia beta en el IFG derecho y en la pre-SMA durante la inhibición de respuestas, registrado mediante electrodos intracraneales, se asocia tanto con el rendimiento conductual (Schaum et al., 2021) como con la reactivación del sistema motor en anticipación de la próxima acción (Lui & Zhang, 2020). Estos hallazgos sugieren que la actividad beta podría desempeñar un papel significativo en el control inhibitorio.

Shibata et al. (1999) descubrieron un incremento en la potencia de la banda gamma alta (79-94 Hz) aproximadamente 90 ms después del inicio del estímulo durante la condición Go, lo cual asociaron con el proceso de discriminación motora. Además, observaron un aumento en la

banda gamma baja (23-31 Hz) de manera bilateral y simétrica sobre el área motora. Este aumento se produjo entre 210 y 240 ms durante el estímulo No-Go, lo que sugiere un papel específico de la actividad gamma en la inhibición y ejecución motora.

Actividad Eléctrica Cerebral en el Control Inhibitorio de Tipo Motor: Implicaciones de la Lateralidad Manual

Explorar la dinámica neuronal involucrada en la inhibición de respuestas y su relación con la lateralidad manual proporciona una visión más clara sobre los fundamentos de la organización conductual. El análisis de las variaciones en los patrones de activación cerebral no solo aporta evidencia sobre cómo la intensidad de la actividad neuronal se correlaciona con la eficacia del comportamiento, sino que también permite una comprensión más profunda de las diferencias individuales en este proceso crucial. Esta línea de investigación es esencial para desentrañar cómo los mecanismos neuronales específicos contribuyen a las estrategias adaptativas del comportamiento, subrayando la importancia de considerar la lateralidad manual al examinar los procesos cognitivos y conductuales subyacentes.

En el estudio realizado por Serrien y Sovijärvi-Spapé (2013), se examinó la dinámica cerebral durante tareas de inhibición y cambio de respuestas en función de la lateralidad manual. Utilizando pruebas Go/No-Go y Switch, así como el análisis de coherencia del EEG, se observó un incremento en la conexión interregional dentro de la banda alfa tras la presentación de estímulos objetivo. Este aumento en la coherencia implicaba principalmente a los circuitos frontomediales y resaltaba la importancia de las áreas parietales en el proceso de cambio de respuesta.

El análisis de la correlación entre la actividad cerebral y el comportamiento evidenció la significativa función de las regiones del hemisferio derecho en la inhibición y el cambio de respuestas efectivas. La presencia de este patrón de lateralización, sugiere una dominancia de las capacidades de control inhibitorio de tipo motor.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge del interés por comprender los mecanismos neurofisiológicos que subyacen a la inhibición de respuesta de tipo motor. Este interés se deriva de observaciones cotidianas sobre la diversidad en la capacidad de los individuos para controlar y coordinar movimientos en respuesta a estímulos externos, lo que suscita preguntas sobre los mecanismos que permiten dicha regulación.

En el campo del control inhibitorio, el enfoque se ha centrado predominantemente en el desempeño de los participantes diestros, dejando de lado la limitada información sobre los zurdos. Mancini y Mirabella (2021) destacan que los zurdos presentan menores asimetrías hemisféricas, lo que sugiere diferencias en el procesamiento de información con un potencial impacto en la conducta observable. La escasa inclusión de participantes zurdos en investigaciones previas limita nuestra comprensión de estas variaciones, resaltando la importancia de realizar estudios más inclusivos y representativos (Schmitz et al., 2017).

Para evaluar eficazmente la inhibición de respuesta, se seleccionó la tarea Go/No-Go para este estudio. La tarea es operativamente simple y ha demostrado ser eficaz para generar datos cuantitativos sobre el control inhibitorio. Esto es especialmente relevante en contextos que demandan o restringen una acción motora, ya que proporciona resultados claramente interpretables (Hong et al., 2017; Criaud & Boulinguez, 2013). Por lo tanto, esto resulta esencial para analizar las diferencias en la inhibición de tipo motor entre individuos con distintas lateralidades manuales.

Este estudio propone un enfoque innovador en el uso del EEG como técnica de neuroimagen al expandir el análisis más allá de los ERPs, que son comúnmente empleados en investigaciones previas (De la Rosa et al., 2019; Huster et al., 2013; Smith et al., 2013). Se sugiere incluir medidas espectrales, como la PA, la PR y el acoplamiento inter- e intrahemisférico. La incorporación de estas medidas ofrece una evaluación más detallada de la actividad eléctrica cerebral, proporcionando información adicional sobre la dinámica de la inhibición de respuesta. Esta capacidad para discernir con mayor precisión la intensidad y distribución de la actividad cerebral es crucial para desentrañar los mecanismos subyacentes al control inhibitorio y cómo estos pueden variar entre individuos con diferentes lateralidades manuales. Por lo tanto, el uso combinado de ERPs y medidas espectrales puede ofrecer una comprensión más completa del

procesamiento neurofisiológico involucrado en la inhibición motora (Houston & Ceballos, 2013; Fernández et al., 1993).

La PA mide la cantidad total de actividad eléctrica en cada banda de frecuencia del EEG, mientras que la PR evalúa la proporción de actividad en una banda específica en relación con la potencia total. Esto permite identificar cómo el estado funcional del cerebro cambia en respuesta a tareas específicas (Houston & Ceballos, 2013). Además, el estudio del acoplamiento inter- e intrahemisférico abre nuevas vías para explorar cómo distintas regiones cerebrales colaboran y se coordinan durante tareas con componente inhibitorio (Guevara et al., 2003). Este enfoque resulta especialmente relevante para investigar las diferencias individuales en la inhibición de tipo motor, ya que permite identificar patrones únicos de actividad cerebral.

Comprender los patrones de actividad neural durante la inhibición de respuesta exitosa es fundamental, ya que ofrece conocimientos profundos sobre las redes cerebrales y los mecanismos neurobiológicos implicados. Los estudios que emplean EEG y otras técnicas neurofisiológicas permiten desarrollar modelos más precisos sobre cómo el cerebro regula la respuesta ante estímulos conflictivos o que requieren la supresión de acciones. Esto es vital no solo en las investigaciones en neurociencia básica; sino también en áreas aplicadas como la psicología, la rehabilitación neurológica y el desarrollo de estrategias terapéuticas para trastornos asociados al control inhibitorio (Kolodny et al., 2017).

Además, la inclusión de la PA, PR y el análisis del acoplamiento inter- e intrahemisférico brindan una perspectiva más completa sobre las diferencias individuales, como la lateralidad manual; previamente ha sido poco explorada en este contexto. Por lo tanto, esta investigación contribuye a reducir el sesgo en estudios neurofisiológicos. Históricamente, estos estudios han dado mayor protagonismo a los participantes diestros, lo que ha minimizado la diversidad funcional. Comprender cómo los individuos zurdos ejecutan el control inhibitorio y cómo su cerebro se adapta a estas demandas no solo enriquece el campo académico, sino que también promueve una mayor inclusión y representación en investigaciones científicas.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Existen diferencias en los cambios en la potencia absoluta, la potencia relativa y en el acoplamiento temporal de la actividad electroencefalográfica asociados a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos?

¿Existen diferencias significativas en las medidas conductuales, incluyendo el número de aciertos, y errores por comisión asociados a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos?

OBJETIVOS

General

Analizar la actividad electroencefalográfica asociada a la inhibición de respuesta en el paradigma Go/No-Go para contrastar la actividad funcional en curso entre participantes diestros y zurdos.

Específicos

Comparar los cambios en la potencia absoluta de la actividad electroencefalográfica en diferentes bandas de frecuencia, asociados a la inhibición de respuesta, entre participantes diestros y zurdos, así como su manifestación topográfica.

Comparar los cambios en la potencia relativa de la actividad electroencefalográfica en diferentes bandas de frecuencia, asociados a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos.

Comparar los cambios en el acoplamiento temporal en diferentes bandas de frecuencia, tanto inter- como intrahemisférico, asociados a la inhibición de respuesta, entre participantes diestros y zurdos.

Determinar si existen diferencias significativas en las medidas conductuales (número de aciertos, y errores por comisión), asociadas a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos.

HIPÓTESIS

General

Los participantes diestros mostrarán una mayor potencia absoluta, potencia relativa y acoplamiento temporal de la actividad electroencefalográfica, así como un mayor desempeño conductual asociado a la inhibición de la respuesta, en comparación con los participantes zurdos.

Específicas

Los participantes diestros mostrarán mayor potencia absoluta y potencia relativa, particularmente en las bandas de frecuencia alfa, beta y gama, asociadas a la inhibición de respuesta en comparación con los participantes zurdos.

Los participantes zurdos mostrarán mayor acoplamiento interhemisférico, asociado a la inhibición de respuesta, particularmente en áreas frontales, en comparación con los participantes diestros.

Los participantes diestros mostrarán mayor acoplamiento intrahemisférico asociado a la inhibición de respuesta, particularmente en áreas frontales del hemisferio derecho, en comparación con los participantes zurdos.

Los participantes diestros mostrarán un mayor número de respuestas correctas y menores errores por comisión, asociados a la inhibición de respuesta en comparación con los participantes zurdos.

Tipo de estudio

Estudio descriptivo comparativo.

MÉTODO

Participantes

Se seleccionó una muestra intencional no probabilística compuesta por 42 participantes, divididos en dos grupos equitativos: 21 participantes diestros y 21 participantes zurdos. El grupo de participantes diestros incluyó a 9 mujeres y 11 hombres, mientras que el grupo de participantes zurdos estuvo conformado por 11 mujeres y 9 hombres, asegurando así una distribución balanceada en términos de sexo. Los participantes cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: tener entre 21 y 30 años de edad y al menos 12 años de educación formal. Los participantes debían demostrar una consistencia unimanual superior al 80% en las pruebas de lateralidad manual. Para ello, se utilizaron el Inventario de Lateralidad de Edimburgo (Oldfield, 1971), que cuenta con valores normativos para la población mexicana (Cuencas et al., 1990), y el Cuestionario de Annett (Annett, 1967), que evaluó la preferencia y estabilidad en el uso de la mano. Además, debían tener una visión normal o corregida y, en el caso de las mujeres, estar en la fase preovulatoria del ciclo menstrual para igualar los niveles hormonales con los de los hombres (Solis et al., 1992); esto fue con el fin de no afectar el desempeño conductual durante el estudio.

Se excluyó a los participantes que reportaron preferencia manual ambidiestra, diagnóstico de enfermedades neurológicas o psiquiátricas, abuso de sustancias psicoactivas o que estaban bajo tratamiento psicofarmacológico al momento del estudio. Además, se consideraron criterios de eliminación, el abandono o interrupción de la tarea Go/No-Go, así como la presencia de contaminación significativa por artefactos en los registros electroencefalográficos.

Todos los participantes proporcionaron una carta de consentimiento informado antes de su inclusión en el estudio, de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki (WMA, 2017).

Paradigma experimental Go/No-Go

En este estudio se empleó una versión modificada de la tarea Go/No-Go de Wauschkuhn et al. (1998). Cada ensayo presentó dos círculos situados en cada hemisferio visual (ver Figura 1). Uno de los círculos era de color gris y su apariencia permaneció constante a lo largo de la tarea, mientras

que el otro círculo cambiaba de color entre rojo, azul o verde, actuando como el estímulo objetivo. La tarea se dividió en dos fases e incluyó un componente de control inhibitorio motor.

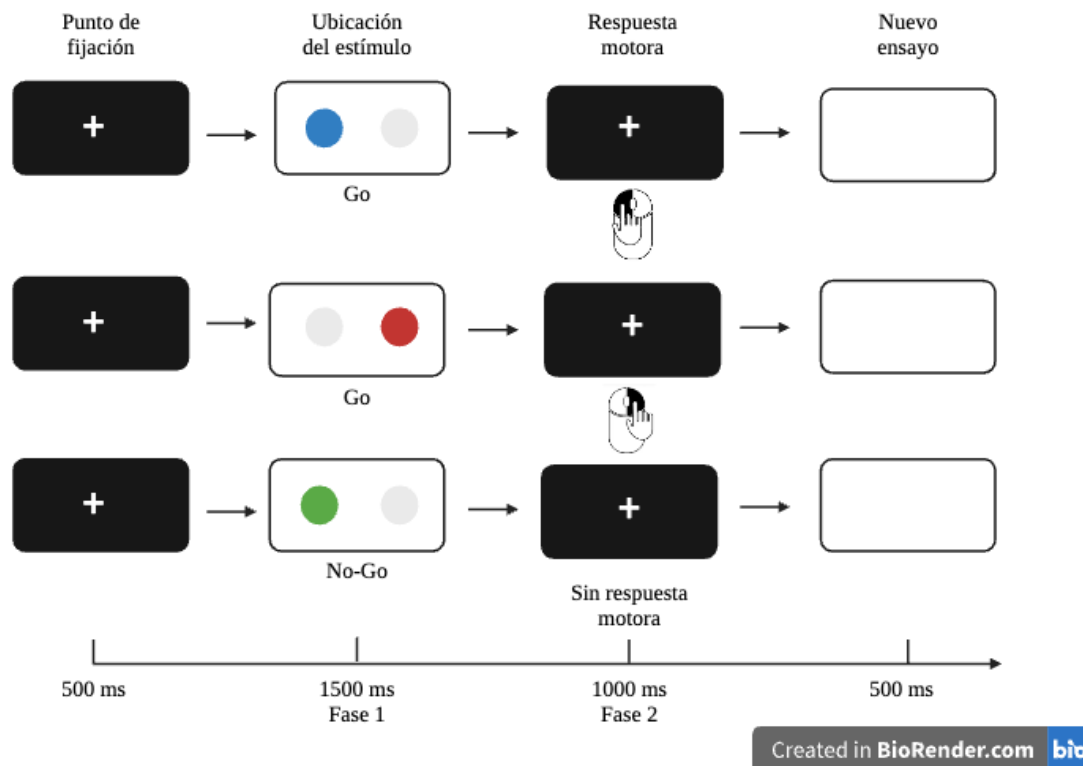


Figura 1

Esquema del Paradigma Go/No-Go. Fuente: Galán y del Río (2015).

Como se ilustra en la Figura 1, durante la Fase 1 se solicitó a los participantes que prestaran atención tanto al color como a la ubicación del estímulo objetivo. En la Fase 2, se les pidió que informaran la localización del estímulo objetivo presionando botones; el botón 1 si el estímulo se encontraba en el hemisferio visual izquierdo, o el botón 2 si estaba en el hemisferio visual derecho. No se requerían respuestas cuando el estímulo objetivo era de color verde, puesto que este color funcionaba como el componente inhibitorio de la tarea. Todos los participantes respondieron con la mano dominante, la cual permaneció sobre el teclado durante todos los ensayos.

Los aciertos para el estímulo inhibitorio se registraron cuando el participante omitía su respuesta ante el estímulo de color verde. Los errores por comisión se registraban cuando el participante respondía a cualquiera de las ubicaciones al ver dicho estímulo. Se presentaron un total de 150 estímulos objetivos de manera aleatoria, divididos equitativamente en 50 estímulos rojos,

50 azules y 50 verdes. Los estímulos rojos y azules aparecieron con la misma proporción en ambos hemisferios, asegurando una distribución balanceada. Asimismo, los estímulos verdes se presentaron con igual probabilidad en el hemisferio visual izquierdo y derecho, garantizando que el componente inhibitorio no tuviera un sesgo de ubicación.

El intervalo de fijación, representado por una cruz en el centro de la pantalla negra, tuvo una duración de 500 ms. La Fase 1 se extendió por 1500 ms, mientras que para la Fase 2 se otorgó un tiempo de respuesta de 1000 ms. En caso de que el participante no emitiera ninguna respuesta dentro de este intervalo, se presentaba una pantalla en blanco que indicaba el comienzo de un nuevo ensayo. La duración total estimada de la tarea fue de aproximadamente 15 minutos. Con base en los objetivos específicos de la investigación, se analizaron las respuestas correctas y los errores por comisión para los estímulos inhibitorios.

Materiales

La tarea se llevó a cabo en una única sesión dentro de una cámara sonoamortiguadora y faradizada. Los estímulos se presentaron al centro de una pantalla de 30 pulgadas a una distancia de 60 cm del participante. Se utilizó el *software* E-prime® para programar y ejecutar la tarea Go/No-Go, así como para registrar las medidas conductuales. Se proporcionó un teclado diseñado para experimentos conductuales, el cual estaba conectado al equipo. La captura de la señal eléctrica cerebral se realizó mediante el *software* GAMMA versión 4.4.

Adquisición de datos

Para el registro del EEG, se utilizó un polígrafo Grass modelo 20E. Se colocaron 19 electrodos con base en el Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958), utilizando electrodos de copa de oro dispuestos en un montaje monopolar referidos a A1 y A2 (lóbulos de la oreja) ipsilateralmente. También se colocaron dos electrodos oculares en los cantos exteriores de ambos ojos para detectar artefactos oculares. Las impedancias de los electrodos se mantuvieron por debajo de los 10 k Ω (kilo-ohms). La tasa de muestreo del registro fue de 1024 Hz, con un ancho de banda de 1 a 70 Hz y una ganancia de 50 μ V para los canales.

Una vez colocados los electrodos, se inició la sesión de registro del EEG, instruyendo a los participantes a permanecer relajados y despiertos. Se realizó un registro base de seis minutos,

durante el cual se pidió a los participantes que mantuvieran los ojos cerrados durante tres minutos y luego abiertos durante otros tres, mirando un punto de fijación: una cruz en el centro de la pantalla, para la calibración fisiológica. Posteriormente, se explicó verbalmente a los participantes el paradigma antes de comenzar el registro del EEG.

Análisis de Datos

Análisis de la señal de EEG

El análisis de datos se centró en la señal de EEG procesada fuera de línea. Se seleccionaron y examinaron las señales obtenidas durante el segundo correspondiente a la presentación del estímulo inhibitorio (No-Go). Se incluyeron solo aquellos ensayos correctos (sin respuesta) y libres de artefactos, utilizando para ello los programas CHECSEN y RECORSEN (Guevara et al., 2010).

Para examinar la actividad oscilatoria en las bandas de frecuencia 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), se realizaron análisis de frecuencia mediante la FFT utilizando el software POTENCOR (Guevara et al., 2003). La FFT se aplicó al segmento de la señal correspondiente al estímulo No-Go, asegurando así un análisis más limpio y preciso de la actividad eléctrica relacionada con el control inhibitorio.

La subdivisión de las bandas del EEG en sub-bandas específicas no solo facilita la exploración detallada de los rangos de frecuencias, sino que también mejora la resolución analítica. Esta mejora permite descubrir variaciones sutiles que podrían pasar desapercibidas en análisis más generales. Este enfoque es esencial para discernir cómo diversos procesos o estímulos cognitivos afectan la actividad cerebral. Además, posibilita la identificación de patrones de activación únicos y diferencias interhemisféricas, especialmente relevantes en poblaciones con diferentes lateralizaciones, como en el caso de individuos diestros y zurdos (Lobasyuk & Bartsevich, 2022). Los avances en la tecnología del EEG y los métodos contemporáneos de análisis han permitido una descomposición precisa de la señal en estas sub-bandas, lo cual ha sido de gran utilidad para mejorar el diagnóstico y la comprensión de trastornos neurológicos y psiquiátricos (Vo et al., 2023).

En cuanto a los análisis realizados, se calcularon los valores de correlación tanto interhemisférica como intrahemisférica entre todos los pares posibles de electrodos, así como la

PA y la PR de cada uno. La FFT permitió el análisis del espectro de correlación cruzada en el dominio temporal, utilizando el coeficiente producto-momento de Pearson basado en los voltajes registrados. Las medidas espectrales, que incluyen la PA y la PR, se normalizaron mediante una transformación logarítmica (Gasser et al., 1982) para estabilizar la varianza y mejorar la homogeneidad de los datos. Además, los valores de acoplamiento inter- e intrahemisférico se convirtieron en puntajes Z de Fisher (John et al., 1980) para aproximarse a una distribución normal, facilitando así su análisis estadístico.

Análisis estadístico

Para confirmar que los datos seguían una distribución normal, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov antes de proceder con los análisis estadísticos, estableciendo como criterio de normalidad un valor de $p > 0.05$. Para describir los datos demográficos de la muestra, se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión, específicamente la media y la desviación estándar. Estos cálculos proporcionan una visión general de los datos y facilitan la comprensión de las características generales de la muestra., estableciendo como criterio de normalidad un valor de $p > 0.05$.

Se llevó a cabo un análisis de chi cuadrada para determinar si existían diferencias significativas entre los sexos en la distribución de los participantes diestros y zurdos. Las diferencias en la edad, las medidas de lateralidad manual y los años de escolaridad entre los grupos se examinaron mediante la prueba t de Student para muestras independientes. Además, se evaluaron las medidas conductuales (número de aciertos y errores por comisión) en el estímulo No-Go mediante un análisis de covarianza (*ANCOVA*, por sus siglas en inglés), considerando los años de escolaridad como covariable para ajustar los efectos potenciales de la educación en estas medidas. En todas las pruebas estadísticas implementadas, se utilizó un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Para cada sujeto en el estímulo inhibitorio (No-Go), se calcularon los valores promedio de las derivaciones de PA y PR, así como los coeficientes de correlación inter- e intrahemisférica. Para examinar las diferencias de la actividad electroencefalográfica entre participantes diestros y zurdos, se realizaron análisis multivariados de la varianza (*MANOVA*, por sus siglas en inglés) de manera separada para cada hemisferio cerebral.

Las variables dependientes incluyeron las medidas de actividad en las distintas bandas de frecuencia: delta, theta 1, theta 2, alfa 1, alfa 2, beta 1, beta 2 y gama, evaluadas tanto en la PA como la PR. En el hemisferio izquierdo, se analizaron los electrodos F1, F3, F7, C3, T3, T5, P3 y O1; en el hemisferio derecho se examinaron los electrodos F2, F4, F8, C4, T4, T6, P4 y O2. Para el análisis estadístico del acoplamiento interhemisférico, se analizaron los pares de electrodos F1-F2, F3-F4, F7-F8, C3-C4, T3-T4, T5-T6, P3-P4 y O1-O2. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0.05$.

Para reducir la cantidad de variables e identificar redes funcionales que operaran de manera sincronizada, se realizó un análisis de componentes principales (*PCA*, por sus siglas en inglés). Este análisis se aplicó a los valores de correlación intrahemisférica obtenidos de los pares de electrodos con un nivel de correlación superior a 0.6. Este procedimiento permitió reducir la dimensionalidad de los datos y enfocar el análisis en las redes funcionales más relevantes, facilitando así la identificación de patrones subyacentes.

Posteriormente, se realizaron MANOVAs sobre los componentes identificados por el PCA en las bandas de frecuencia que mostraron un porcentaje de varianza explicada entre el 70% y el 80%, asegurando así que se capturara la mayor parte de la información relevante de los datos originales. Tras identificar diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, se llevaron a cabo análisis de varianza de una sola vía (*ANOVA*, por sus siglas en inglés) para cada electrodo implicado. El nivel de significancia inicial se estableció en $\alpha = 0.05$; no obstante, dado que se realizaron análisis para ocho derivaciones diferentes por hemisferio, se aplicó la prueba *post hoc* de Bonferroni. Esta corrección se calculó dividiendo el nivel de significancia inicial entre el número de pruebas realizadas, lo que resultó en un nivel de significancia ajustado de $p < 0.006$.

RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados derivados del análisis electroencefalográfico realizado en participantes diestros y zurdos durante el estímulo inhibitorio. Se describen los hallazgos referentes a la actividad oscilatoria en diferentes bandas de frecuencia, tanto en la PA y PR, así como la correlación inter e intrahemisférica.

Comparaciones Demográficas y Conductuales

Conforme a los criterios de inclusión establecidos, se seleccionaron 42 participantes, distribuidos equitativamente en 21 diestros y 21 zurdos, con una edad media de 24.83 años ($DE = 3.42$). Se realizó un análisis de chi cuadrada para evaluar si existían diferencias significativas en la distribución de sexos entre los grupos de participantes diestros y zurdos. Los resultados del análisis no mostraron diferencias significativas, $\chi^2 (1, N = 42) = 0.40, p = 0.52$. El valor del coeficiente phi ($\phi = -0.1$) indica una relación muy débil entre la lateralidad manual y el sexo, lo que sugiere que la distribución de sexos fue similar en ambos grupos. Por lo tanto, el sexo no parece ser un factor que influya en la lateralidad manual de los participantes en este estudio.

Respecto a los años de escolaridad, los diestros presentaron un promedio de 17.06 años ($DE = 1.3$), mientras que los zurdos tuvieron un promedio de 15.77 años ($DE = 2$), diferencia que resultó ser estadísticamente significativa ($t [38] = -2.47, p = .01$), indicando que los diestros presentaron un nivel de escolaridad superior. Por este motivo, se optó por realizar ANCOVAs para las comparaciones de las medidas conductuales en la tarea Go/No-Go, con el fin de minimizar el posible sesgo debido a los años de escolaridad entre los grupos.

Para validar la homogeneidad de la muestra en términos de preferencia manual, se llevaron a cabo pruebas clásicas de exploración de lateralidad, seguidas por una comparación de medias mediante la prueba *t* de *Student* para muestras independientes.

Los resultados del Inventario de Lateralidad de Edimburgo evidenciaron diferencias significativas ($t [42] = -53.44, p < 0.001$) entre el grupo diestro ($M = 14.36, DE = 1.7$) y para el grupo zurdo ($M = 7.45, DE = 1.2$), lo que señaló una fuerte lateralidad hacia el uso de mano derecha en el grupo diestro.

El cuestionario de Annet también reveló diferencias significativas ($t [42] = 2.32, p < 0.02$). El porcentaje medio de consistencia manual fue del 98.59% ($DE = 3.8$) para el grupo diestro, mientras que para el grupo zurdo fue del 93.68% ($DE = 8.9$), demostrando que ambos grupos presentaron una lateralidad manual superior al 80%, y que el grupo diestro presentó una mayor consistencia manual. La Tabla 1 resume los valores obtenidos para cada grupo en ambos instrumentos.

Desempeño conductual en la tarea Go/No-Go

Para el análisis de los resultados conductuales relacionados con los estímulos No-Go, se aplicó inicialmente la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Los resultados de esta prueba indicaron que los datos no se ajustaban a la distribución normal. Ante esta situación, se normalizaron los datos mediante la conversión a puntajes Z.

Posteriormente, se realizaron ANCOVAs, considerando los años de escolaridad como covariable. Este análisis no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en ninguna de las medidas conductuales examinadas, incluyendo el número de aciertos ($p = .10$), errores por comisión ($p = 0.05$) y tiempos de reacción ($p = .2$), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Resumen de Valores y Significancia para Cada Medida de Lateralidad Manual y Desempeño Conductual.

	Diestro		Zurdo		Estadístico	Significancia
Datos demográficos	<i>M</i>	<i>DE</i>	<i>M</i>	<i>DE</i>		<i>p</i>
Edad	25.32	2.9	24	3.6	$t(38) = 1.31$	0.19
Años de escolaridad	17.06	1.3	15.77	2	$t(38) = 2.47$	0.01
Inventario de Lateralidad de Edimburgo	14.36	1.7	7.45	1.2	$t(42) = -53.44$	0.001
Cuestionario de Annett	98.50	3.8	93.68	8.93	$t(42) = 2.32$	0.02
Datos conductuales						

Aciertos totales	0.25	0.74	-0.25	1.16	$F = 2.63$	0.1
Errores por comisión	-0.29	0.33	0.25	1.32	$F = 3.74$	0.05

Nota. Los datos demográficos incluyen la media (*M*) y la desviación estándar (*DE*) para participantes diestros y zurdos. El Inventario de Lateralidad de Edimburgo y el Cuestionario de Annett muestran las diferencias en medidas de lateralidad, con significancias estadísticas indicadas por la prueba *t* de Student (*t*). Los datos conductuales incluyen aciertos totales y errores por comisión, con significancias indicadas por el ANCOVA. El nivel de significancia estadística para las medidas de lateralidad manual y demográficas fue $p < .05$. Para las medidas conductuales, el nivel de significancia se ajustó a $p < 0.006$.

Resultados de la Actividad Eléctrica Cerebral

Para evaluar la normalidad en la distribución de los datos, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados indicaron que las variables bajo estudio sugirieron una distribución normal, dado que los valores *p* fueron mayores a 0.05 en todas las medidas espectrales para ambas condiciones. Este hallazgo justificó el empleo de pruebas paramétricas para los análisis estadísticos subsiguientes.

Estímulo Inhibitorio

Potencia Absoluta

Se llevaron a cabo MANOVAs para investigar las diferencias de la PA entre participantes diestros y zurdos, considerando cada hemisferio cerebral y las diversas bandas de frecuencia. Los resultados revelaron que no hubo diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral entre los grupos para todas las bandas de frecuencia, tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho, en respuesta al estímulo inhibitorio, como se detalla en la Tabla 4 del apartado de anexos.

La ausencia de diferencias significativas sugiere en la PA, tanto en diestros como zurdos en el control inhibitorio sugiere, a nivel de actividad eléctrica cerebral, que ambos grupos presenta una actividad cortical equivalente en términos de potencia en todas las bandas de frecuencia durante la inhibición de respuesta. Este hallazgo implica que, independientemente de la preferencia manual, los cerebros de ambos grupos están utilizando cantidades comparables de recursos neuronales en las mismas regiones y frecuencias para realizar el proceso de inhibición.

Potencia Relativa

Se realizaron MANOVAs con el fin de explorar las diferencias en la PR entre participantes diestros y zurdos en cada hemisferio cerebral y a través de las distintas bandas de frecuencia. Los resultados revelaron diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral en el grupo zurdo en bandas alfa 1 y alfa 2, tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho.

En el hemisferio izquierdo, se observaron diferencias significativas en las bandas alfa 1 y alfa 2, evidenciadas por un Pillai's Trace = .5, $F(2, 14) = 1.9$, $p = .01$, y un tamaño del efecto $\eta^2 = .09$. En el hemisferio derecho, se destacaron diferencias significativas en la banda alfa 2, con un Pillai's Trace de .31, $F(3, 1) = 3.21$, $p = .02$, y un tamaño del efecto $\eta^2 = .08$. Las medidas de significancia estadística y el tamaño del efecto para ambos hemisferios resaltan una variabilidad en la banda de frecuencia alfa 1 y alfa 2 cuando se presenta un estímulo inhibitorio. Dado que el tamaño del efecto es mayor en el hemisferio izquierdo ($\eta^2 = .09$) en comparación con el derecho ($\eta^2 = .08$), se propone que las diferencias en la actividad eléctrica cerebral en el grupo zurdo son más pronunciadas en el hemisferio izquierdo.

Dadas las diferencias significativas encontradas en los análisis por hemisferio en las bandas alfa 1 y alfa 2, se llevaron a cabo ANOVAs univariados para identificar las derivaciones específicas que contribuyeron a las diferencias observadas entre los grupos, como se muestra en la Tabla 2.

Hemisferio Izquierdo: En los participantes zurdos se encontraron diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral en la banda alfa 1 en varias derivaciones: T5 ($M = 12.78$, $DE = 7.87$, $p = 0.004$), P3 ($M = 12.78$, $DE = 7.97$, $p = 0.003$) y O1 ($M = 14.41$, $DE = 9.66$, $p = 0.002$). Asimismo, en la banda alfa 2, se observaron diferencias significativas en las derivaciones C3 ($M = 6.98$, $DE = 3.54$, $p = 0.006$), T5 ($M = 8.45$, $DE = 4.38$, $p = 0.004$), P3 ($M = 8.8$, $DE = 5.08$, $p = 0.001$) y O1 ($M = 10.28$, $DE = 5.78$, $p = 0.002$). Estas derivaciones cumplieron con el criterio de significancia ajustado de Bonferroni ($p < .006$). Estos hallazgos sugieren que la proporción de actividad eléctrica cerebral de estas bandas presenta patrones distintivos en áreas temporales, parietales y occipitales al inhibir la respuesta motora, como se ilustra en la Figura 2A y 2B.

Hemisferio Derecho: En los participantes zurdos se encontraron diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral, tanto en la banda alfa 1 como en la banda alfa 2. En la banda alfa

1, la derivación O2 ($M = 15.69$, $DE = 9.04$, $p = 0.003$) mostró diferencias significativas. En la banda alfa 2, las diferencias se encontraron en T4 ($M = 6.04$, $DE = 2.6$, $p = 0.037$), P4 ($M = 8.42$, $DE = 4.36$, $p = 0.039$) y O2 ($M = 11.25$, $DE = 6.2$, $p = 0.001$). Sin embargo, tras aplicar el ajuste de Bonferroni, solo la derivación O2 mantuvo su significancia, indicando diferencias en áreas occipitales del hemisferio derecho para ambas bandas, como se detalla en la Figura 2C y 2D.

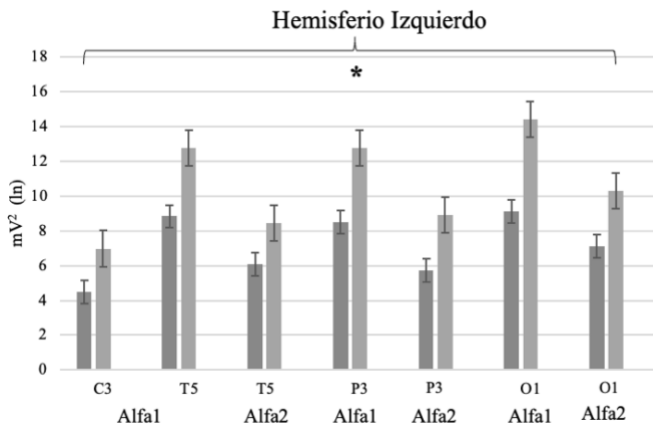
Tabla 2

Comparación de la Potencia Relativa en Condición Estímulo Inhibitorio entre Diestros y Zurdos

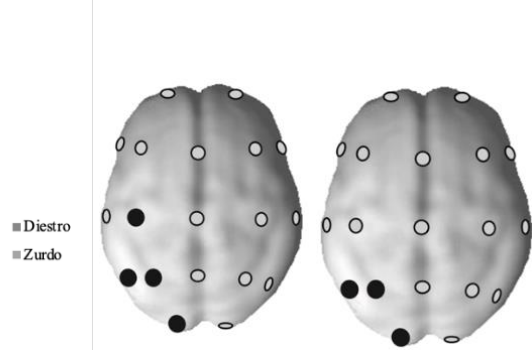
	Diestro		Zurdo		Banda de Frecuencia	Estadístico	Significancia
Hemisferio Izquierdo	<i>M</i>	<i>DE</i>	<i>M</i>	<i>DE</i>		<i>F</i>	<i>p</i>
C3	4.5	1.37	6.98	3.54	Alfa2	8.3	0.006
T5	8.83	4.09	12.78	7.87	Alfa1	4.21	0.004
	6.1	1.94	8.45	4.38	Alfa2	5.05	0.004
P3	8.52	3.98	12.78	7.97	Alfa1	4.79	0.003
	5.73	2.03	8.9	5.08	Alfa2	6.9	0.001
O1	9.12	4.09	14.41	9.66	Alfa1	5.34	0.002
	7.13	2.47	10.28	5.78	Alfa2	5.25	0.002
Hemisferio Derecho							
T4	4.58	1.62	6.04	2.6	Alfa2	4.7	0.037
P4	6.14	2.25	8.42	4.36	Alfa2	4.53	0.039
O2	9.61	4.43	15.69	9.04	Alfa1	7.62	0.003
	7.67	2.37	11.25	6.2	Alfa2	6.17	0.001

Nota. Esta tabla presenta la media (*M*) y la desviación estándar (*DE*) para las distintas derivaciones, tanto en participantes diestros como zurdos, en las bandas alfa 1 y alfa 2 donde se observaron significancia. Se evidencian diferencias en la lateralidad manual, con significancias estadísticas determinadas mediante la prueba *F* del ANOVA. Los niveles de significancia ajustados fueron $p < 0.006$.

A)



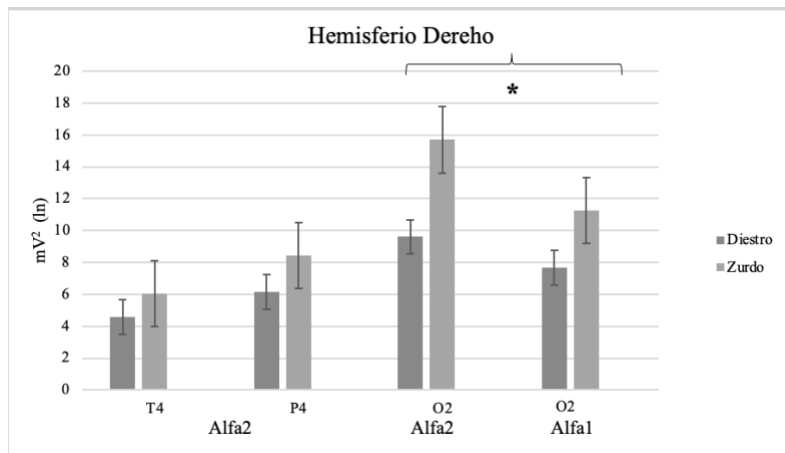
B)



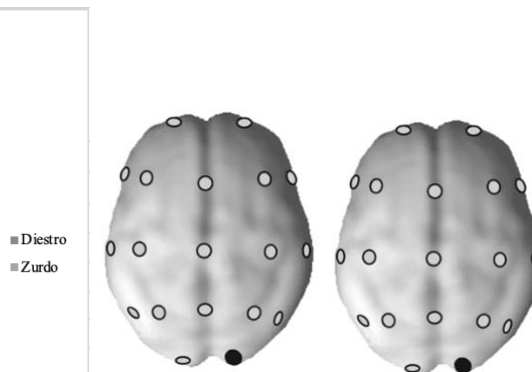
Alfa 1

Alfa 2

C)



D)



Alfa1

Alfa 2

Figura 2

Comparación de la Potencia Relativa en las Bandas Alfa 1 y Alfa 2. Las barras representan la media de la PR en microvoltios al cuadrado (mV^2), acompañadas de barras que indican el error estándar de la media. A) las derivaciones C3, T5, P3 y O1, del hemisferio izquierdo, C) así como T4, P4 y O2 del hemisferio derecho, se corresponden con las posiciones de los electrodos en el cuero cabelludo, con base en el sistema internacional 10-20 y abarcando las bandas de frecuencia

alfa 1 y alfa 2. Se encontraron diferencias significativas en la PR en el grupo zurdo en las derivaciones C3, T5, P3 y O1 del hemisferio izquierdo, señaladas con un asterisco, así como en la derivación O2 del hemisferio derecho marcada con un asterisco. La ubicación de los electrodos de superficie se basó en la distribución cerebral promedio reportada por Okamoto et al. (2004).

En resumen, el análisis de PR durante el estímulo inhibitorio mostró mayor porcentaje de actividad tanto en la banda alfa 1 como en la alfa 2, en las regiones centrales, parietales y temporales del hemisferio izquierdo en el grupo zurdo con respecto al diestro. Además, se encontraron diferencias significativas en las áreas occipitales del hemisferio derecho en el grupo zurdo, lo que sugiere que estas áreas priorizan las frecuencias de alfa 1 y alfa 2 en el control inhibitorio.

Acoplamiento Interhemisférico

Los análisis de MANOVA realizados para explorar las diferencias en el acoplamiento interhemisférico entre participantes diestros y zurdos no revelaron diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral entre los grupos. Esto fue consistente tanto en las bandas de frecuencia como en los hemisferios, ante la presentación del estímulo inhibitorio, como se muestra en la Tabla 5 del apartado de anexos.

La ausencia de diferencias significativas en el acoplamiento interhemisférico sugiere que, en términos de comunicación y coordinación entre los hemisferios cerebrales, tanto diestros como zurdos responden de manera similar a los estímulos inhibitorios. Esto indica que la lateralidad manual no tiene un impacto significativo en la sincronización entre los hemisferios para el control inhibitorio.

Acomplamiento Intrahemisférico

Se realizaron PCA para identificar redes funcionales durante el control inhibitorio entre diestros y zurdos, considerando cada banda de interés en ambos hemisferios, como se muestra en la Tabla 6 en el apartado de anexos. Para determinar la existencia de diferencias significativas entre grupos, se llevaron a cabo MANOVAs en los componentes identificados dentro de las bandas de frecuencia que mostraron un porcentaje de varianza explicada entre el

70% y el 80%, un rango considerado adecuado para capturar la mayoría de la información relevante de los datos originales.

Los resultados indican diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral, siendo más pronunciadas en el hemisferio derecho entre diestros y zurdos. En el hemisferio izquierdo, específicamente para la banda gama, presentó un 77.3% de varianza explicada. Se observaron diferencias significativas en esta banda, evidenciadas por un Pillai's Trace de .96, $F(1, 27) = 3.6$, y un valor de $p = .002$, con un tamaño del efecto η^2 de .11.

En el hemisferio derecho, se analizaron las bandas theta 2 (72.4% de varianza), alfa 1 (71.4% de varianza) y alfa 2 (75.3% de varianza). Las diferencias se observaron en estas bandas con un Pillai's Trace de .99, $F(1, 26) = 2.2$, y un valor de $p = .021$, junto con un tamaño del efecto η^2 de .19.

Tras identificar diferencias significativas en las bandas de frecuencia entre grupos, se realizaron ANOVAs univariados para cada par de electrodos que conformaron los componentes implicados en las diferencias observadas, como se observa en la Tabla 3.

Hemisferio Izquierdo: Se detectaron diferencias significativas en las medias de los participantes diestros en el componente 1, compuesto por los pares de derivaciones F1-F3 ($M = 0.42$, $DE = 0.27$, $p = 0.003$), F1-F7 ($M = 0.56$, $DE = 0.4$, $p = 0.07$), F1-C3 ($M = 0.42$, $DE = 0.27$, $p = 0.002$), F1-T3 ($M = 0.55$, $DE = 0.15$, $p = 0.001$), F1-T5 ($M = 0.15$, $DE = 0.17$, $p = 0.12$), F1-P3 ($M = 0.24$, $DE = 0.24$, $p = 0.15$) y F7-P3 ($M = 0.29$, $DE = 0.22$, $p = 0.11$). Las derivaciones F1-F3, F1-C3 y F1-T3, correspondientes a la banda gama, estuvieron dentro de la significancia con base en el criterio de Bonferroni ajustado ($p < .006$). Estos resultados sugieren que los participantes diestros exhiben una red de actividad en áreas frontales, centrales y temporales al inhibir la respuesta motora, como se ilustra en las Figuras 3A y 3B.

Hemisferio Derecho: Se observaron diferencias significativas en las medias de los participantes zurdos en tres componentes específicos de las bandas theta 2, alfa 1 y alfa 2. En la banda theta 2, se identificaron diferencias en los pares de derivaciones F4-C4 ($M = 1.24$, $DE = 0.19$, $p = 0.003$), F4-T4 ($M = 0.96$, $DE = 0.25$, $p = 0.004$), F8-T4 ($M = 0.6$, $DE = 0.52$, $p = 0.001$) y F8-P4 ($M = 0.67$, $DE = 0.14$, $p = 0.06$), como lo detallan las Figuras 4A y 4B. En la banda alfa 1, las derivaciones F4-F8 ($M = 1.2$, $DE = 0.19$, $p = 0.002$), F8-T6 ($M = 1.2$, $DE = 0.19$, $p = 0.03$) y

F8-P4 ($M = 1.7$, $DE = 0.17$, $p = 0.06$), presentaron diferencias significativas, observables en las Figuras 5A y 5B. Para la banda alfa 2, se encontraron diferencias significativas en los pares de derivaciones F2-F4 ($M = 0.99$, $DE = 0.23$, $p = 0.12$), F2-F8 ($M = 0.88$, $DE = 0.16$, $p = 0.18$), F2-C4 ($M = 0.62$, $DE = 0.17$, $p = 0.04$), F4-F8 ($M = 1.99$, $DE = 0.18$, $p = 0.003$) y F8-T4 ($M = 2.93$, $DE = 0.17$, $p = 0.001$), como se muestra en las Figuras 6A y 7B.

Es importante destacar que, al aplicar el criterio de significancia ajustado de Bonferroni ($p < .006$), se encontraron resultados significativos en varias derivaciones tanto del hemisferio izquierdo como del derecho. En el hemisferio izquierdo, dentro de la banda theta 2, las derivaciones F1-F3, F1-C3 y F1-T3 mostraron diferencias significativas. En el hemisferio derecho, para la banda alfa 1, las derivaciones F4-C4, F4-T4, F8-T4 y F4-F8 cumplieron con el criterio de significancia. Asimismo, en la banda alfa 2, las derivaciones F4-F8 y F8-T4 también resultaron significativas.

Tabla 3

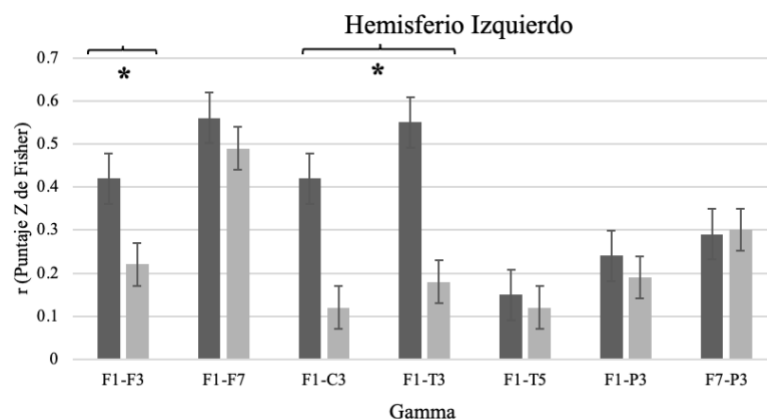
Comparación de la Correlación Intrahemisférica en la Condición Estímulo Inhibitorio

	Diestro		Zurdo		Banda de Frecuencia	Estadístico	Significancia
Hemisferio Izquierdo	<i>M</i>	<i>DE</i>	<i>M</i>	<i>DE</i>		<i>F</i>	<i>p</i>
F1-F3	0.42	0.27	0.22	0.29	gama	4.3	0.003
F1-F7	0.56	0.4	0.34	0.32	gama	2.29	0.07
F1-C3	0.42	0.27	0.12	0.2	gama	2.85	0.002
F1-T3	0.55	0.15	0.18	0.12	gama	2.8	0.001
F1-T5	0.15	0.17	0.10	0.11	gama	1.04	0.12
F1-P3	0.24	0.24	0.14	0.15	gama	2.12	0.15
F7-P3	0.29	0.22	0.3	0.2	gama	1.12	0.11
Hemisferio Derecho							
F4-C4	0.52	0.14	1.24	0.19	theta 2	5.9	0.003
F4-T4	-0.12	0.14	0.96	0.25	theta 2	4.53	0.004
F8-T4	0.13	0.1	0.6	0.52	theta 2	4.12	0.001

F4-P4	0.63	0.18	0.67	0.14	theta 2	5.23	0.06
F4-F8	0.63	0.6	1.2	0.19	alfa 1	11.4	0.002
F8-T6	0.78	0.11	1.2	0.19	alfa 1	1.1	0.03
F8-P4	0.46	0.13	1.7	0.17	alfa 1	1.2	0.06
F2-F4	0.9	0.26	0.99	0.23	alfa 2	1.18	0.12
F2-F8	0.82	0.19	0.88	0.16	alfa 2	1.24	0.18
F2-C4	0.22	0.12	0.62	0.17	alfa 2	1.41	0.04
F4-F8	0.37	0.13	1.99	0.18	alfa 2	6.75	0.003
F8-T4	0.24	0.14	2.93	0.17	alfa 2	9.9	0.001

Nota. Esta tabla presenta la media (*M*) y la desviación estándar (*DE*) para las distintas derivaciones, tanto en participantes diestros como zurdos, a través de las bandas theta 2, alfa 1, alfa 2 y gama. Se evidencian diferencias en la lateralidad manual, con significancias estadísticas determinadas mediante la prueba *F* del ANOVA. Los niveles de significancia fueron $p < 0.006$.

A)



B)

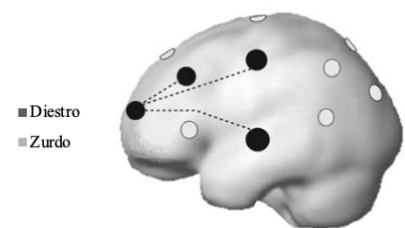


Figura 3

Correlación Intrahemisférica en la Banda Gama. Las barras representan la media de la correlación intrahemisférica en puntaje Z de Fisher (*r*), acompañadas por barras de error que indican el error estándar de la media. A) los pares de derivaciones F1-F3, F1-F7, F1-C3, F1-T3, F1-T5, F1-P3 y F7-P3 corresponden a las ubicaciones de los electrodos sobre el cuero cabelludo, con base en el sistema internacional 10-20, y se centran en la banda de frecuencia gama. Los análisis revelaron

diferencias significativas en la correlación intra- en el grupo diestro en las derivaciones F1-F3, F1-C3 y F1-T3, lo cual se señala con un asterisco. B) la ubicación de los electrodos de superficie se basa en la distribución promedio del cerebro reportada por Okamoto et al. (2004).

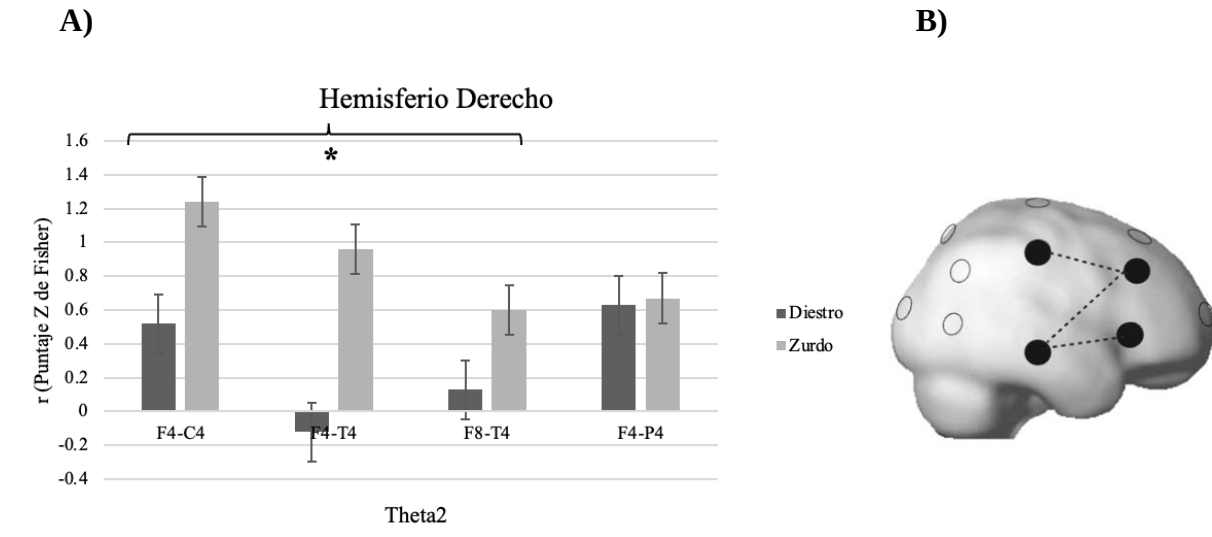


Figura 4

Correlación Intrahemisférica en la Banda Theta 2. Las barras representan la media de la correlación intrahemisférica en puntaje Z de Fisher (r), acompañadas por barras de error que indican el error estándar de la media. 9) los pares de derivaciones F4-C4, F4-T4, F8-T4 y F4-P4 corresponden a las ubicaciones de los electrodos sobre el cuero cabelludo, con base en el sistema internacional 10-20, y se centran en la banda de frecuencia theta 2. Los análisis revelaron diferencias significativas en la correlación intra- en el grupo zurdo en las derivaciones F4-C4, F4-T4, F8-T4, lo cual se señala con un asterisco. B) la ubicación de los electrodos de superficie se basa en la distribución promedio del cerebro reportada por Okamoto et al. (2004).

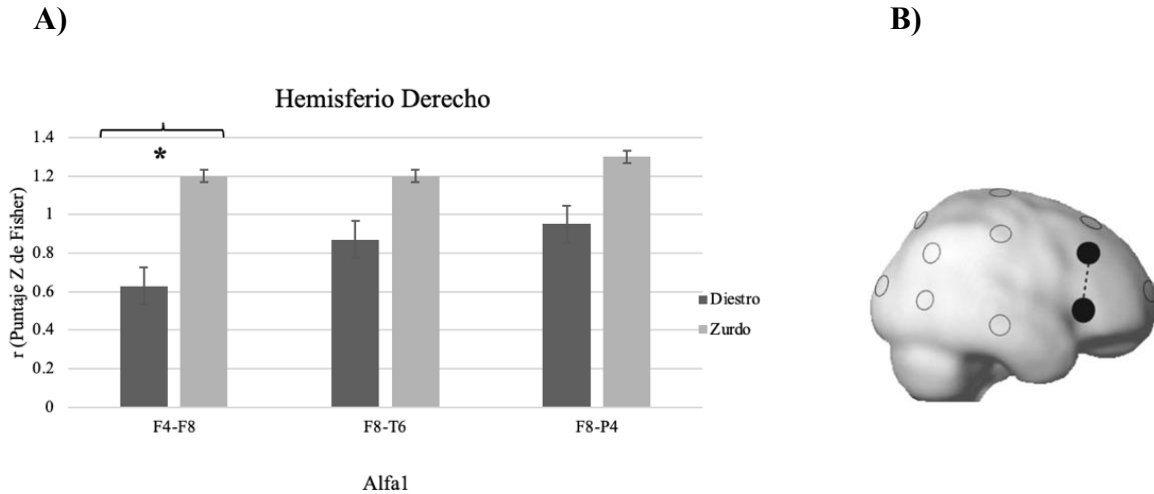


Figura 5

Correlación Intrahemisférica en la Banda Alfa 1. Las barras representan la media de la correlación intrahemisférica en puntaje Z de Fisher (r), acompañadas por barras de error que indican el error estándar de la media. A) los pares de derivaciones F4-F8, F8-T6 y F8-P4 corresponden a las ubicaciones de los electrodos sobre el cuero cabelludo, con base en el sistema internacional 10-20, y se centran en la banda de frecuencia alfa 1. Los análisis revelaron diferencias significativas en la correlación intra- en el grupo zurdo en las derivaciones F4-F8, lo cual se señala con un asterisco. B) la ubicación de los electrodos de superficie se basa en la distribución promedio del cerebro reportada por Okamoto et al. (2004).

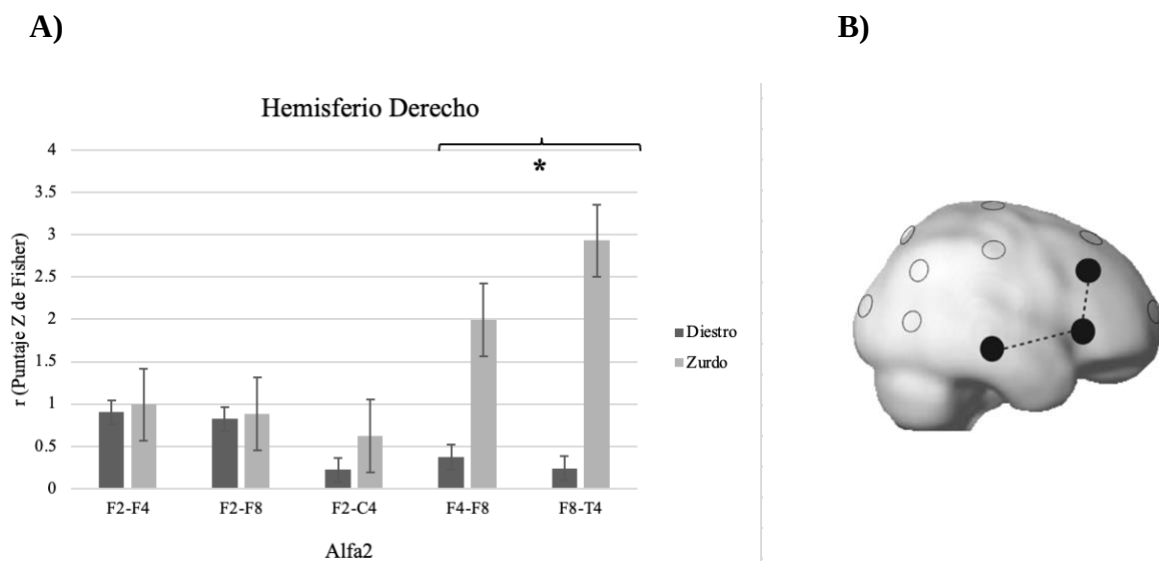


Figura 6.

Correlación Intrahemisférica en la Banda Alfa 2. Las barras representan la media de la correlación intrahemisférica en puntaje Z de Fisher (r), acompañadas por barras de error que indican el error estándar de la media. A) los pares de derivaciones F2-F4, F2-F8, F2-C4, F4-F8 y F8-T4 corresponden a las ubicaciones de los electrodos sobre el cuero cabelludo, con base en el sistema internacional 10-20, y se centran en la banda de frecuencia alfa 2. Los análisis revelaron diferencias significativas en la correlación intra- en el grupo zurdo en las derivaciones F4-F8 y F8-T4 lo cual se señala con un asterisco. B) la ubicación de los electrodos de superficie se basa en la distribución promedio del cerebro reportada por Okamoto et al. (2004).

En resumen, el análisis de correlación intrahemisférica durante el control inhibitorio mostró mayor actividad en el hemisferio derecho en las bandas theta 2, alfa 1 y alfa 2 en las regiones frontales, centrales y temporales del grupo zurdo en comparación con el diestro. Este hallazgo sugiere que el grupo zurdo presenta redes de comunicación y coordinación diferentes durante la inhibición de respuesta.

DISCUSIÓN

La presente investigación abordó las diferencias en la actividad electroencefalográfica asociada a la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos, utilizando un paradigma Go/No-Go. Los hallazgos revelaron diferencias significativas en las medidas de PR. Específicamente, se encontró un mayor porcentaje de actividad en las bandas alfa 1 y alfa 2 en las regiones centrales, parietales y temporales del hemisferio izquierdo en el grupo de participantes zurdos, en comparación con los diestros. Además, se encontraron diferencias significativas en las áreas occipitales del hemisferio derecho en los zurdos, lo que sugiere que estas áreas priorizan las frecuencias alfa 1 y alfa 2 en el control inhibitorio.

Por otro lado, el análisis de correlación intrahemisférica durante el estímulo inhibitorio mostró mayor actividad en el hemisferio derecho en las bandas theta 2, alfa 1 y alfa 2 en las regiones frontales, centrales y temporales del grupo de participantes zurdos en comparación con los diestros. Este hallazgo sugiere que los zurdos presentan redes de comunicación y coordinación distintas durante la inhibición de respuesta, lo que podría implicar una asimetría en la organización y funcionalidad de los hemisferios.

Desempeño Conductual

Este estudio no encontró diferencias significativas en el número de aciertos y errores por comisión entre participantes zurdos y diestros ante el estímulo inhibitorio. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas, como la de Galán y del Río-Portilla (2012), quienes no observaron diferencias en el desempeño en tareas Go/No-Go. De manera similar, Serrien y Sovijärvi-Spapé (2013) tampoco encontraron diferencias significativas en los errores de tipo *false alarm* (falta de inhibición) en una versión modificada de la tarea Go/No-Go entre diestros y zurdos, lo que sugiere que ambos grupos mantienen un control inhibitorio similar.

Asimismo, es concordante con investigaciones más recientes, como la de Mancini y Mirabella (2021), que también reportaron la ausencia de diferencias significativas en el control inhibitorio reactivo y proactivo relacionado con la lateralidad manual, utilizando una tarea Stop-Signal en movimientos de alcance con ambas manos. Estos autores sugieren que la falta de diferencias conductuales puede explicarse por la cooperación entre ambos hemisferios cerebrales en la inhibición de movimientos.

En conjunto, los resultados de este estudio, en los que no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables examinadas (número de aciertos y errores por comisión), junto a la evidencia de investigaciones recientes, refuerzan la idea de que no existen diferencias significativas entre individuos diestros y zurdos en la inhibición conductual de tipo motor, observada en las tareas Go/No-Go y Stop-Signal. A pesar de las expectativas basadas en estudios previos, estos hallazgos sugieren que la lateralidad manual no tiene un impacto significativo en el control inhibitorio, lo que podría deberse a la cooperación inter- e intrahemisférica en la inhibición de movimientos, como proponen Mancini y Mirabella (2021).

Además, es posible que la plasticidad cerebral permita una sincronización entre los hemisferios, lo que resultaría en un control inhibitorio equivalente en ambos grupos (Bavelier et al., 2010). Esta adaptación podría explicar el rendimiento conductual comparable observado entre diestros y zurdos, tal como se discute en el estudio de Sha et al. (2021). Este descubrimiento subraya la importancia de considerar la plasticidad cerebral para comprender los mecanismos subyacentes al control inhibitorio, resaltando la capacidad del cerebro para ajustarse y optimizar su funcionamiento ante diferentes configuraciones de lateralidad manual.

Actividad Eléctrica Cerebral

Potencia Absoluta y Relativa

No se observaron diferencias significativas en la PA entre los grupos de participantes diestros y zurdos durante el estímulo inhibitorio. La PA, que refleja la cantidad total de energía eléctrica en una banda de frecuencia específica, es una medida útil para evaluar la intensidad de las oscilaciones neuronales en distintas condiciones (Psatta et al., 2000). Este resultado sugiere que ambos grupos emplean estrategias de reclutamiento neuronal similares para ejecutar el control inhibitorio, lo que podría indicar una organización neuronal eficiente en ambos casos.

Esto indica que la lateralidad manual no tiene un impacto diferenciador en la activación neuronal (McAssey et al., 2020) y que otros factores, como la experiencia previa, la educación y la genética, podrían estar influyendo (Ocklenburg et al., 2014).

Respecto al porcentaje de actividad en las bandas alfa 1 y alfa 2, los participantes zurdos mostraron un mayor porcentaje de PR en las regiones centrales, parietales y temporales del hemisferio izquierdo, así como en el área occipital del hemisferio derecho, en comparación con los diestros. La PR, al medir la proporción de la actividad de una banda específica en relación con la actividad cerebral total, permite identificar cambios en el equilibrio de los ritmos cerebrales (Psatta et al., 2000). Este hallazgo sugiere que, aunque la PA no haya mostrado diferencias significativas, al normalizar la actividad cerebral global mediante la PR, es posible que los zurdos utilicen más los ritmos alfa en estas regiones para optimizar sus estrategias cognitivas durante el control inhibitorio.

La actividad alfa, descrita a través del fenómeno de sincronización relacionada con eventos (*ERS*, por sus siglas en inglés), se refiere al aumento de la potencia de las ondas alfa en áreas específicas del cerebro, particularmente cuando es necesario inhibir regiones irrelevantes para una tarea o durante momentos de relajación (Suffczynski et al., 2001). Este fenómeno refleja un estado neuronal menos activo en áreas no esenciales, lo que optimiza los recursos neuronales para facilitar el procesamiento selectivo. El incremento en la potencia alfa indica que ciertas áreas están temporalmente inhibidas, permitiendo que otras regiones manejen el procesamiento de la tarea o estímulo actual (Wiesman et al., 2018; Fellrath et al., 2016; Klimesch, 2012).

En la tarea Go/No-Go, el control inhibitorio es fundamental, ya que el participante debe suprimir una respuesta motora ante el estímulo No-Go. La mayor actividad alfa en las regiones centrales, temporales, parietales y occipitales del grupo zurdo durante el estímulo inhibitorio podría reflejar una mayor inhibición cortical, optimizando la supresión de la respuesta motora. Las regiones centrales y temporales, asociadas con el control motor y la planificación de acciones (Mancini & Mirabella, 2021), podrían estar temporalmente desconectadas para prevenir la activación de respuestas inapropiadas. En las regiones parietales, vinculadas con la atención espacial y el procesamiento sensorial (Fellrath et al., 2016), la mayor sincronización alfa sugiere un filtrado sensorial para facilitar el control inhibitorio. Asimismo, el aumento en la potencia alfa en la región occipital, relacionada con el procesamiento visual (Wiesman et al., 2018), podría reflejar un mecanismo de inhibición visual que filtra información irrelevante durante el estímulo No-Go.

Con respecto a la tendencia mayor PR en el hemisferio izquierdo, estos hallazgos son coherentes con investigaciones previas. En la mayoría de las personas diestras, el hemisferio izquierdo es dominante para el lenguaje y el control motor, mientras que en los zurdos esta lateralización puede ser menos pronunciada o incluso invertida (Ocklenburg et al., 2017; Schmitz et al., 2017; Guadalupe et al., 2014). Mancini y Mirabella (2022) observaron una asimetría en el hemisferio izquierdo en participantes zurdos al realizar una tarea de inhibición de tipo motor. Por su parte, Serrien y Sovijärvi-Spapé (2013), encontraron un incremento en la actividad eléctrica del hemisferio izquierdo, tanto en diestros como en zurdos, en una tarea de reacción a estímulos visuales, que incluían pruebas de inhibición (No-Go) y de cambio de respuesta (*Switch*). Esta adaptación implicaría que el hemisferio izquierdo en los zurdos tenga que trabajar más para coordinar funciones como el control motor y el procesamiento atencional, además de gestionar una distribución única de recursos neuronales y un patrón de activación distinto durante el control inhibitorio. Esto respalda la idea de que la lateralidad manual podría implicarse en la organización funcional del cerebro y el procesamiento de información (Tzourio-Mazoyer & Seghier, 2016; Cochet, 2015).

El aumento de la PR en las bandas alfa 1 y alfa 2 en el hemisferio izquierdo en los zurdos sugiere una inhibición cortical y control atencional más pronunciados durante el estímulo inhibitorio, particularmente en áreas involucradas en el control motor, la atención y el procesamiento sensorial. La presentación de las oscilaciones alfa en los participantes zurdos podría señalar un mecanismo particular para mantener el control y prevenir respuestas inapropiadas. Este patrón sugiere una estrategia adaptativa relacionada con las diferencias en la organización funcional cerebral entre zurdos y diestros, permitiendo a los primeros gestionar de manera más eficiente las demandas cognitivas y motoras en tareas de inhibición, como la Go/No-Go.

Acoplamiento Interhemisférico

En cuanto al estudio de la comunicación interhemisférica y la lateralidad manual, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos durante el estímulo inhibitorio. La correlación interhemisférica hace referencia a la relación funcional entre la actividad eléctrica de ambos hemisferios cerebrales, particularmente en el contexto de cómo se sincronizan o se diferencian durante tareas cognitivas (Corsi et al., 1988). Investigaciones previas, como las de

Serrien y Sovijärvi-Spapé (2013), reportaron un aumento en la coherencia neuronal en la banda alfa, tanto en diestros como en zurdos, durante el estímulo No-Go, así como un incremento en la coherencia al cambiar la respuesta de una mano a otra cuando se presentaba el estímulo que indicaba el cambio. Por otro lado, Galán-López y del Río-Portilla (2012) observaron que, en la inhibición visual, los participantes diestros mostraron un mayor acoplamiento temporal interhemisférico en las frecuencias de theta 1 sobre las regiones frontolaterales.

Contrario a lo reportado en investigaciones previas, este estudio no encontró diferencias en la correlación interhemisférica. Una baja correlación interhemisférica durante el desempeño cognitivo podría reflejar una mayor eficiencia de las unidades funcionales locales del cerebro (Corsi et al., 1988). Es posible que, durante el control inhibitorio, tanto en diestros como en zurdos, las áreas cerebrales involucradas funcionen de manera independiente, con alta eficiencia en cada hemisferio, lo que podría reducir la necesidad de cooperación interhemisférica. Esto implicaría que ambos grupos podrían estar utilizando estrategias locales de procesamiento similares, lo que llevaría a la ausencia de diferencias significativas.

Acoplamiento Intrahemisférico

Finalmente, los resultados de la correlación intrahemisférica durante la inhibición de respuesta revelaron una mayor potencia en el hemisferio derecho en las bandas theta 2, alfa 1 y alfa 2 en las regiones frontales, centrales y temporales del grupo zurdo en comparación con el grupo diestro. La correlación intrahemisférica mide la similitud entre las señales eléctricas registradas entre pares de electrodos que están dentro del mismo hemisferio cerebral. Esta correlación indica cómo las diferentes áreas corticales dentro de un hemisferio se comunican y funcionan de manera conjunta durante diversos estados de vigilia y sueño (Corsi et al., 1996). La mayor correlación intrahemisférica observada en el hemisferio derecho sugiere que, en el grupo de zurdos, este hemisferio presenta una función más destacada en la inhibición de respuesta. Esto podría implicar una lateralización inversa del control inhibitorio, típicamente observada en el hemisferio izquierdo en diestros (Klein et al., 2016).

La banda theta en áreas prefrontales desempeña una función fundamental en la detección y gestión de conflictos mediante la modulación top-down del control cognitivo, incluyendo la inhibición de respuestas automáticas o prepotentes (Liu & Zhang, 2020; De la Rosa et al., 2019; Pscherer et al., 2019), así como facilitar el control ejecutivo necesario para suprimir respuestas inapropiadas en tareas de tipo Go/No-Go (Harmony et al., 2009). Además, la banda theta es crucial para la comunicación entre la corteza prefrontal y otras áreas relacionadas con el control motor, como la corteza motora y el núcleo subtalámico. Estas interacciones son esenciales para frenar respuestas motoras cuando se requiere inhibición (Mancini & Mirabella, 2022; Shibata et al., 1999).

Estos hallazgos indican que el incremento en la banda theta en las áreas involucradas en la inhibición motora es más pronunciado en el grupo zurdo en comparación con el grupo diestro durante el proceso de inhibición. En particular, durante un estímulo No-Go, es necesaria la inhibición de una respuesta motora prepotente. Este aumento de la correlación theta podría reflejar una mayor sincronización neuronal para implementar y mantener la inhibición dentro del hemisferio derecho, posiblemente debido a una distribución y procesamiento diferentes de la actividad cerebral entre los grupos.

Además, también se observó una mayor correlación intrahemisférica en la actividad alfa en el grupo zurdo en comparación con el diestro. Como se mencionó previamente, el incremento de las bandas alfa está relacionado con el control de la atención y la inhibición cortical de información irrelevante (Nguyen et al., 2021). Un aumento en la correlación intrahemisférica en el hemisferio derecho puede señalar una comunicación y coordinación neural distintas entre las regiones frontales, centrales y temporales de este hemisferio. Este hemisferio a menudo se asocia con el procesamiento de la atención y las funciones ejecutivas, especialmente en contextos que requieren control inhibitorio y regulación de la atención espacial (Klein et al., 2016). La mayor correlación en las bandas alfa en el hemisferio derecho sugiere que los zurdos pueden estar utilizando recursos en esta región para manejar las demandas cognitivas de la tarea, optimizando su comunicación y coordinación mediante una mayor sincronización neuronal.

Los resultados que indican una asimetría derecha en los participantes zurdos durante la inhibición de respuesta sugieren que este grupo podría estar utilizando el hemisferio derecho

de manera más prominente para gestionar el control inhibitorio. Esta predominancia del hemisferio derecho puede reflejar una organización funcional distinta que permite a los zurdos optimizar sus recursos neuronales para afrontar las demandas cognitivas de tareas inhibitorias. La mayor actividad en la banda theta y alfa en el hemisferio derecho no solo sugiere una mayor sincronización neuronal, sino que también implica una adaptación evolutiva que favorece el procesamiento eficiente de la información en un hemisferio, evitando la duplicación de funciones (Ocklenburg et al., 2014; Ocklenburg et al., 2017). Este enfoque lateralizado podría facilitar el manejo más efectivo de las funciones ejecutivas y el control motor en contextos que requieren una inhibición de respuestas automáticas o prepotentes.

La clasificación de la lateralización en este estudio, que reveló que ambos grupos (diestros y zurdos) presentan una preferencia unimanual superior al 80%, junto con una mayor consistencia manual en el grupo diestro, ofrece inferencias interesantes sobre la relación entre la lateralidad manual y la asimetría hemisférica. Dado que el hemisferio izquierdo se asocia típicamente con el control motor y la ejecución de tareas en individuos diestros (Guadalupe et al., 2014), se puede inferir que estos presentan un procesamiento motor más eficiente y coordinado en la ejecución de las tareas relacionadas con la lateralidad en comparación con sus contrapartes zurdas. Sin embargo, es importante destacar que la capacidad de los zurdos para utilizar la mano derecha es ligeramente superior a la de los diestros al usar la mano contraria, lo que sugiere que los zurdos pueden exhibir un mayor control motor general (Jang et al., 2017).

De manera similar a lo planteado por Ocklenburg et al. (2014) y Willems et al. (2014), consideramos que el estudio de los zurdos debe incluirse con mayor frecuencia en las investigaciones. El temor a la variabilidad de los datos ha limitado nuestra capacidad para esclarecer la relevancia de la existencia de un grupo reducido, en comparación con la población general, que presenta un uso preferente de mano diferente. Como hemos mencionado previamente, este grupo exhibe una asimetría hemisférica funcional distinta, lo que sugiere que se requieren futuras investigaciones para comprender completamente los mecanismos detrás de estas diferencias y su impacto en el procesamiento cognitivo y el comportamiento humano.

ALCANCES Y LIMITACIONES

La presente investigación, situada en el campo de la neurobiología de la conducta, se enfoca en el análisis de EEG durante la inhibición de respuesta en individuos diestros y zurdos, utilizando el paradigma Go/No-Go. Este estudio aporta evidencia valiosa sobre las diferencias en el EEG asociadas con la inhibición de respuesta entre estos dos grupos. Los hallazgos relacionados con la PR y la correlación intrahemisférica en las bandas alfa y theta en los zurdos sugieren una organización funcional distinta del cerebro en tareas con componente inhibitorio. Estos resultados son particularmente relevantes para avanzar en la comprensión de la relación entre lateralidad manual y los procesos cognitivos, destacando el papel de las oscilaciones cerebrales en el control inhibitorio.

Las medidas espectrales utilizadas en este estudio, como la PR, permitieron la identificación de patrones de actividad neuronal relacionados con procesos cognitivos específicos, como la inhibición de respuesta. Esta descomposición es crucial para entender cómo diferentes frecuencias están implicadas en la regulación de la inhibición, revelando las interacciones dinámicas entre áreas cerebrales. Además, el análisis de correlación intrahemisférica facilitó la investigación de la sincronización y comunicación entre regiones cerebrales durante el proceso inhibitorio, resaltando diferencias significativas entre zurdos y diestros que podrían no haberse detectado a través de evaluaciones conductuales tradicionales.

Sin embargo, es importante considerar algunas limitaciones que podrían influir en la generalización de los resultados. En primer lugar, la aplicabilidad de los hallazgos puede estar restringida a poblaciones específicas debido al enfoque en la lateralidad manual. Además, el tamaño de la muestra y las características demográficas de los participantes podrían limitar la capacidad de detectar efectos más sutiles entre los grupos, así como la generalización de los resultados a poblaciones más diversas. Estudios futuros con muestras más amplias podrían proporcionar un panorama más preciso de las diferencias neurofisiológicas entre zurdos y diestros.

Otra limitación del estudio es el uso de un único paradigma Go/No-Go, lo que restringe la exploración de otros tipos de control inhibitorio, como el proactivo o el reactivo, que podrían diferenciarse según la lateralidad manual. Incorporar diversos paradigmas y tareas

cognitivas en futuras investigaciones permitiría un análisis más profundo de las redes cerebrales involucradas en estos procesos. Además, la estructura y duración de las tareas con un componente inhibitorio deben considerarse cuidadosamente, ya que pueden influir en la capacidad de los participantes para manifestar diferencias significativas en su rendimiento.

Si bien las técnicas de EEG ofrecen una excelente resolución temporal, presentan limitaciones en cuanto a la resolución espacial, lo que dificulta la localización precisa de las áreas cerebrales implicadas. Estudios complementarios que utilicen técnicas de neuroimagen con mayor resolución espacial, como la fMRI, podrían proporcionar información adicional sobre la distribución y conectividad neuronal en estas tareas.

Por último, para determinar qué cambios del EEG encontrados predicen la capacidad de control inhibitorio, se podrían realizar análisis de regresión lineal o logística. Este tipo de análisis permitiría identificar qué variables, entre las medidas espectrales, se asocian de manera significativa con la variable dependiente; en este caso, los errores de comisión como medida del control inhibitorio. Esto facilitaría el establecimiento de una relación más clara entre los patrones de actividad cerebral y el control inhibitorio.

Este estudio contribuye al entendimiento de la actividad eléctrica cerebral relacionada con la inhibición de respuesta en personas diestros y zurdos. Se destaca la importancia de analizar los cambios en la actividad eléctrica ante estímulos inhibitorios, así como identificar patrones de oscilación y sincronización neuronal durante el control inhibitorio. Estos hallazgos enriquecen el conocimiento en neurobiología de la conducta y neurociencia cognitiva.

CONCLUSIÓN

La presente investigación analizó y comparó la actividad eléctrica cerebral a través de la PA, la PR y el acoplamiento temporal asociados con la inhibición de respuesta entre participantes diestros y zurdos. Se examinaron medidas de control inhibitorio, como el número de aciertos y errores por comisión. Los resultados revelaron diferencias significativas, subrayando la importancia de la lateralidad manual en el control inhibitorio.

Los análisis de PR y correlación intrahemisférica mostraron mayor actividad en las bandas theta 2, alfa 1 y alfa 2 en el grupo zurdo, especialmente en las regiones frontales, centrales, parietales y temporales del hemisferio derecho, en comparación con el grupo diestro. Estos hallazgos indican que, aunque no se observaron diferencias significativas en el desempeño de inhibición de respuestas entre los grupos, existe una configuración neuronal diferente en las redes implicadas en el control inhibitorio según la lateralidad. Esto resalta la plasticidad cerebral, que permite utilizar mecanismos equiparables y mantener un rendimiento estable en el control inhibitorio, dependiendo de la lateralidad manual. Por lo tanto, es fundamental considerar la variable de lateralidad manual en investigaciones futuras y explorar las diferencias en la actividad del EEG, que pueden ser más sensibles a los cambios en el proceso inhibitorio en comparación con las medidas conductuales.

En resumen, esta investigación aporta valiosos conocimientos sobre el control inhibitorio en relación con la lateralidad manual. Destaca la organización de las redes neuronales involucradas en este proceso y evidencia mecanismos neuronales diferenciados para la inhibición de respuesta según la lateralidad, abriendo nuevas líneas de investigación en el campo de la neurociencia cognitiva.

REFERENCIAS

- Annett, M. (1967). The binomial distribution of right mixed and left handedness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(4), 327-333. <https://doi.org/10.1080/14640746708400109>
- 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
- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, 6, 1156-1163. <https://doi.org/10.1038/nn1003>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>
- Aron, A. R. (2011). From reactive to proactive and selective control: Developing a richer model for stopping inappropriate responses. *Biological Psychiatry*, 69(12), 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.07.024>
- Aydmune, Y., Lipina, S., & Introzzi, I. (2018). Definiciones y métodos de entrenamiento de la inhibición en la niñez, desde una perspectiva neuropsicológica. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 9(3), 104-141. ISSN: 1852-4206
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 108, 44-79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Bartolomeo, P., & Seidel Malkinson, T. (2019). Hemispheric lateralization of attention processes in the human brain. *Current Opinion in Psychology*, 29, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.023>
- Bavelier, D., Levi, D. M., Li, R. W., Dan, Y., & Hensch, T. K. (2010). Removing brakes on adult brain plasticity: From molecular to behavioral interventions. *Journal of Neuroscience*, 30(45), 14964-14971. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4812-10.2010>

- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2016). Catecholaminergic neurons. En *Neuroscience: Exploring the Brain* (4ª ed., pp. 156-159). Wolters Kluwer.
- Britton, J. W., Frey, L. C., Hopp, J. L., Korb, P. J., Koubeissi, M. Z., Lievens, W. E., Pestana-Knight, E. M., & Louis, E. K. (2016). An orderly approach to EEG analysis: Visual inspection of the background and pattern recognition. En *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants* (pp. 6-8). American Epilepsy Society. ISBN: 978-0-9979756-0-4
- Britton, J. W., Frey, L. C., Hopp, J. L., Korb, P. J., Koubeissi, M. Z., Lievens, W. E., Pestana-Knight, E. M., & Louis, E. K. (2016). The normal EEG. En *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants* (pp. 8-20). American Epilepsy Society. ISBN: 978-0-9979756-0-4
- Brusasca, M., Mabel, L., & Portellano, J. (2007). Neuropsicología de la lateralidad: Evaluación de preferencia y desempeño manual. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 8(5), 500-505. ISSN: 0187-5509
- Buckingham, G., & Carey, D. (2015). Attentional asymmetries—cause or consequence of human right handedness? *Frontiers in Psychology*, 5, Article 1587. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01587>
- Buss, K. A., & Qu, J. (2018). Psychobiological processes in the development of behavioral inhibition. En K. Pérez-Edgar & N. A. Fox (Eds.), *Behavioral Inhibition* (pp. 91-111). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-98077-5>
- Criaud, M., & Boulinguez, P. (2013). Have we been asking the right questions when assessing response inhibition in go/no-go tasks with fMRI? A meta-analysis and critical review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(1), 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.003>
- Cochet, H. (2015). Manual asymmetries and hemispheric specialization: Insight from developmental studies. *Neuropsychologia*, 93(B), 335-341. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.019>

- Corsi-Cabrera, M., Guevara, M. A., Arce, C., & Ramos, J. (1996). Inter and intrahemispheric EEG correlation as a function of sleep cycles. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 20(3), 387-405. [https://doi.org/10.1016/S0278-5846\(96\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0278-5846(96)00004-8)
- Corsi-Cabrera, M., Gutiérrez, S., Ramos, J., & Arce, C. (1988). Interhemispheric correlation of EEG activity during successful and unsuccessful cognitive performance. *International Journal of Neuroscience*, 39(3), 253-259. <https://doi.org/10.1080/00207458808019539>
- Cuencas, R., Von Seggern, B., Toledo, R., & Harrell, E. (1990). El inventario de Edimburgo: Evaluación de la lateralidad cerebral en una población mexicana. *Salud Mental*, 13(2), 11-17.
- D' Alberto, N., Funnell, M., Potter, A., & Garavan, H. (2017). A split-brain case study of the hemispheric lateralization of inhibitory control. *Neuropsychologia*, 99, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.02.017>
- De la Rosa, B. L., Specen, J. S., Motes, M. A., To, W., Vanneste, S., Hart, J., & et al. (2020). Identification of selection and inhibition components in a Go/NoGo task from EEG spectra using a machine learning model. *Brain and Behavior*, 10(12), e1902. <https://doi.org/10.1002/brb3.1902>
- Faulkner, P., & Deakin, J. W. (2014). The role of serotonin in reward, punishment, and behavioral inhibition in humans: Insights from studies with acute tryptophan depletion. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 46, 365-378. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.07.024>
- Fellrath, J., Mottaz, A., Schinder, A., Guggisberg, A., & Ptak, R. (2016). Theta-band functional connectivity in the dorsal fronto-parietal network predicts goal-directed attention. *Neuropsychologia*, 92, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.012>
- Fernández, T., Harmony, T., Rodríguez, A. R., Marosi, E., & Bernal, J. (1993). Test-retest reliability of EEG spectral parameters during cognitive tasks: I. Absolute and relative power. *International Journal of Neuroscience*, 68(3-4), 255-261. <https://doi.org/10.3109/00207459308994280>

- Galán-López, I., & del Río-Portilla, I. (2012). Influencia de lateralidad manual sobre habilidades visoespaciales. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 38(3), 27-44. ISSN: 0185-4534.
- Gasser, T., Bächer, P., & Möcks, J. (1982). Transformations towards the normal distribution of broad band spectral of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 53(1), 119. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(82\)90112-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(82)90112-2)
- Guadalupe, T., Willems, R., Zwiers, M., Arias, A., Hoogman, M., Hagoort, P., Fernandez, G., Buitelaar, J., Franke, B., Fisher, S., & Francks, C. (2014). Differences in cerebral cortical anatomy of left- and right-handers. *Frontiers in Psychology*, 5, 261. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00261>
- Guevara, M., & Corsi-Cabrera, M. (1996). EEG coherence or EEG correlation? *International Journal of Psychophysiology*, 23(3), 145-153. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00038-4)
- Guevara, M. A., Ramos, J., Hernández-Gonzalez, M., Zaraboso, D., & Corsi-Cabrera, M. (2003). Potencor: A program to calculate power and correlation spectra of EEG signals. *Computers in Biology and Medicine*, 72(3), 241-250. [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., & Hernández-González, M. (2010). CHECSEN: Programa para revisar señales EEG fuera de línea. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 31(2), 135-141. ISSN 2395-9126.
- Gurvich, C. T., & Rosell, S. L. (2014). Genetic variations in dopamine and inhibitory control: Lack of influence on action restraint. *Behavioural Brain Research*, 1, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.03.015>
- Harmony, T., Alba, A., Marroquín, J. L., & González-Frankenberger, B. (2009). Time-frequency-topographic analysis of induced power and synchrony of EEG signals during a Go/No-Go task. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.020>
- Harmony, T. (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 83. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083>

- Henderson, H. A., Green, E. S., & Smith, K. A. (2018). The social world of behaviorally inhibited children: A transactional account. In K. Pérez-Edgar & N. A. Fox (Eds.), *Behavioral inhibition* (pp. 135-157). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-98077-5>
- Hong, X., Wang, Y., Sun, J., Li, C., & Tong, S. (2017). Segregating top-down selective attention from response inhibition in a spatial cueing Go/NoGo task: An ERP and source localization study. *Scientific Reports*, 7, 9662. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08807-z>
- Houston, R., & Ceballos, N. (2013). Human neurophysiology: EEG and quantitative EEG in addiction research. In *Biological Research on Addiction: Comprehensive Addictive Behaviors and Disorders* (Vol. 2, pp. 379-390). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398335-0.00038-8>
- Huster, R. J., Enriquez-Geppert, S., Lavalée, C. F., Falkenstein, M., & Herrmann, C. S. (2013). Electroencephalography of response inhibition tasks: Functional networks and cognitive contributions. *International Journal of Psychophysiology*, 87(3), 217-233. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.001>
- Ioannidis, K., Hook, R., Wickham, K., Grant, J. E., & Chamberlain, S. R. (2019). Impulsivity in gambling disorder and problem gambling: A meta-analysis. *Neuropsychopharmacology*, 44(7), 1354–1361. <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0393-9>
- Jahanshahi, M., Obeso, I., Rothwell, J. C., & Obeso, J. A. (2015). A fronto-striato-subthalamic-pallidal network for goal-directed and habitual inhibition. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(12). <https://doi.org/10.1038/nrn4038>
- 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., & Kaye, H. (1980). Developmental equations for the electroencephalogram. *Science*, 210(4475), 1255. <https://doi.org/10.1126/science.7434026>
- Jang, H., Youn, J., Kang, L., Parque, L. & Min, K. (2017). Are there differences in brain morphology according to handedness? *Brain and Behavior*, 7(7), 1-7. <https://doi.org/10.1002/brb3.730>.

- Kilavik, B. E., Zaepffel, M., Brovelli, A., MacKay, W. A., & Riehle, A. (2013). The ups and downs of beta oscillations in sensorimotor cortex. *Experimental Neurology*, 245, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2012.09.014>
- Klein, P. A., Duque, J., Labruna, L., & Ivry, R. B. (2016). Comparison of the two cerebral hemispheres in inhibitory processes operative during movement preparation. *Neuroimage*, 125, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.007>
- Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
- Koldny, T., Mevorach, C., & Shalev, L. (2017). Isolating response inhibition in the brain: Parietal versus frontal contribution. *Cortex*, 88, 173–185. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.12.012>
- Li, H., Goldin, P., & Siegle, G. J. (2022). What is clinical translational neuroscience and how can it help us better understand how to help people with psychological disturbances? In J. G. Gordon (Ed.), *Neuroscience for clinicians: Translational clinical neuroscience to inspire clinical practice and research* (2nd ed., pp. 145–167). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818697-8.00190-4>
- Liu, H., & Zhang, Q. (2020). Inhibition in the task-switching paradigm. *Biological Psychology*, 156, 107954. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107954>
- Lobasyuk, B. A., & Bartsevich, L. B. (2022). Systemic analysis of EEG activation response in right and left handers. *Journal of Education, Health and Sport*, 12(10), 229–244. <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/40664>
- Lobier, M., Palva, J., & 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>
- McAssey, M., Dowsett, J., Kirsch, V., Brandt, T., & Dieterich, M. (2020). Different EEG brain activity in right and left handers during visually induced self-motion perception. *Journal of Neurology*, 26(Supplement 1), 79–90. <https://doi.org/10.1007/s00415-020-09915-z>

- Mancini, C., & Mirabella, G. (2021). Handedness does not impact inhibitory control, but movement execution and reactive inhibition are more under left-hemisphere control. *Symmetry*, *13*(9), 1602. <https://doi.org/10.3390/sym13091602>
- Marcuse, L., Fields, M., & Yoo, J. (2016). Origin and technical aspects of the EEG. In *Rowan's primer of EEG* (pp. 1–37). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35387-8.00001-9>
- Nguyen, T. V., Balachandran, P., Muggleton, N. G., Liang, W.-K., & Juan, C.-H. (2021). Dynamical EEG indices of progressive motor inhibition and error-monitoring. *Brain Sciences*, *11*(4), 478. <https://doi.org/10.3390/brainsci11040478>
- Ocklenburg, S., Beste, C., Arning, L., Peterburs, J., Güntürkün, O., & Czisch, M. (2014). The ontogenesis of language lateralization and its relation to handedness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *43*, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.04.001>
- Ocklenburg, S., Schmitz, J., Moinfar, Z., Moser, D., Klose, R., Lor, S., Kunz, G., Tegenthoff, M., Faustmann, P., Francks, K., Epplen, J., Kumsta, R., & Güntürkün, O. (2017). Epigenetic regulation of lateralized fetal spinal gene expression underlies hemispheric asymmetries. *eLife*, *6*, e22784. <https://doi.org/10.7554/eLife.22784>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.002>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, *9*, 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Psatta, D. M., Matei, M., & Matei, M. (2000). EEG relative power versus absolute power mapping: Advantages, disadvantages. *Rom. J. Neurol.*, *38*(1-2), 21-33. <https://www.researchgate.net/publication/348899930>
- Pscherer, C., Mückschel, M., Summerer, L., Bluschke, A., & Beste, C. (2019). On the relevance of EEG resting theta activity for the neurophysiological dynamics underlying motor inhibitory control. *Human Brain Mapping*, *40*(14), 4253–4265. <https://doi.org/10.1002/hbm.24699>

- Rincón-Pérez, I., Sánchez-Carmona, A. J., Albert, J., & Hinojosa, J. A. (2018). The association of monoamine-related gene polymorphisms with behavioural correlates of response inhibition: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.009>
- Schmitz, S., Metz, G. A., Güntürkün, O., & Ocklenburg, S. (2017). Beyond the genome—towards an epigenetic understanding of handedness ontogenesis. *Progress in Neurobiology*, 159, 69–89. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2017.10.005>
- Sebastian, A., Jung, P., Krause-Utz, A., Lieb, K., Schmahl, C., & Tüscher, O. (2014). Frontal dysfunctions of impulse control—a systematic review in borderline personality disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 698. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00698>
- Serrien, D. J., & Sovijärvi-Spapé, M. M. (2013). Cognitive control of response inhibition and switching: Hemispheric lateralization and hand preference. *Brain and Cognition*, 82(3), 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.04.013>
- Sha, Z., Pepe, A., Schijven, D., Carrion, A., et al. (2021). Left-handedness and its genetic influences are associated with structural asymmetries mapped across the cerebral cortex in 31,864 individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(47), e2113095118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113095118>
- Shibata, T., Shimoyama, I., Ito, T., Abla, D., Iwasa, H., Koseki, K., Yamanouchi, N., Sato, T., & Nakajima, Y. (1999). Event-related dynamics of the gamma-band oscillation in the human brain: Information processing during a GO/NOGO hand movement task. *Neuroscience Research*, 33(3), 215–222. [https://doi.org/10.1016/S0168-0102\(99\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0168-0102(99)00003-6)
- Smith, J. L., Jamadar, S., Provost, A. L., & Michie, P. T. (2013). Motor and non-motor inhibition in the Go/NoGo task: An ERP and fMRI study. *International Journal of Psychophysiology*, 87, 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.07.185>
- 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. <https://doi.org/10.3109/00207459408986010>

- Suffczynski, P., Kalitzin, S., Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F.H. (2001). Computational model of thalamo-cortical networks: dynamical control of alpha rhythms in relation to focal attention. *International Journal of Psychophysiology*, 43, 25-40.
- Tzourio-Mazoyer, N., & Seghier, M. L. (2016). The neural bases of hemispheric specialization. *Neuropsychologia*, 93(B), 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.10.010>
- Uomini, N. T., & Ruck, L. (2018). Manual laterality and cognition through evolution: An archeological perspective. *Progress in Brain Research*, 238, 259–323. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.06.015>
- Villar-Rodríguez, E., Cano-Melle, C., Marin-Marin, L., Parcet, M. A., & Ávila, C. (2023). What happens to the inhibitory control functions of the right inferior frontal cortex when this area is dominant for language? *eLife*, 12(RP86797). <https://doi.org/10.7554/eLife.86797.2>
- Vo, H.-T.-T., Nguyen, T.-N.-Q., & Huynh, T. V. (2023). Building an adaptive model of neural networks to extract and classify EEG signals. In *RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)* (pp. 10471856). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RIVF60135.2023.10471856>
- Wauschkuhn, B., Verleger, R., Wascher, E., Klostermann, W., Burk, M., et al. (1998). Lateralized human cortical activity for shifting visuospatial attention and initiating saccades. *Journal of Neurophysiology*, 80(6), 2900–2910. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.6.2900>
- Wiesman, A., Heinrichs-Graham, E., Proskovec, A., McDermott, T., & Wilson, T. W. (2018). Oscillations during observations: Dynamic oscillatory networks serving visuospatial attention. *Human Brain Mapping*, 38(10), 5128–5140. <https://doi.org/10.1002/hbm.23720>
- Willems, R. M., Van der Haegen, L., Fisher, S., & Francks, C. (2014). On the other hand: Including left-handers in cognitive neuroscience and neurogenetics. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(3), 193–201. <https://doi.org/10.1038/nrn3679>
- World Medical Association. (2017). *Declaration of Helsinki ethical principles for medical research involving human subjects*. <https://doi.org/10.1515/9783110208856.233>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- 23 -
Figura 2	- 33 -
Figura 3	- 37 -
Figura 4	- 38 -
Figura 5	- 39 -
Figura 6.	- 40 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	- 29 -
Tabla 2	- 32 -
Tabla 3	- 36 -
Tabla 4	- 62 -
Tabla 5	- 63 -
Tabla 6	- 63 -

ANEXOS

Tabla 4

Comparación de la Potencia Absoluta Durante el Estímulo Inhibitorio entre Diestros y Zurdos

	Hemisferio	Estadístico	Grados de libertad	Tamaño del efecto	Significancia
Banda de Frecuencia		<i>F</i>	df	η^2	<i>p</i>
Delta	Izquierdo	0.64	1	0.13	0.73
	Derecho	0.58	1	0.12	0.78
Theta1	Izquierdo	0.91	1	0.18	0.14
	Derecho	0.78	1	0.16	0.11
Theta2	Izquierdo	1.44	1	0.26	0.17
	Derecho	0.7	1	0.14	0.11
Alfa1	Izquierdo	0.55	1	0.11	0.1
	Derecho	0.45	1	0.09	0.07
Alfa2	Izquierdo	1.73	1	0.14	0.1
	Derecho	0.93	1	0.18	0.06
Beta1	Izquierdo	1.04	1	0.2	0.12
	Derecho	1.25	1	0.23	0.09
Beta2	Izquierdo	0.92	1	0.18	0.1
	Derecho	1.2	1	0.23	0.08
Gama	Izquierdo	1.09	1	0.2	0.29
	Derecho	0.85	1	0.17	0.32

Nota. Esta tabla presenta la media (*M*) y la desviación estándar (*DE*) para las distintas derivaciones, tanto en participantes diestros como zurdos, a través de las bandas de frecuencia. Con base en la prueba *F* del ANOVA, no se encontraron diferencias en la lateralidad manual.

Tabla 5

Comparación de la Correlación Interhemisférica Durante el Estímulo Inhibitorio entre Diestros y Zurdos

	Estadístico	Grados de libertad	Tamaño del efecto	Significancia
Banda de Frecuencia	<i>F</i>	df	η^2	<i>p</i>
Delta	0.9	1	0.17	0.28
Theta 1	0.95	1	0.16	0.34
Theta 2	1.1	1	0.18	0.38
Alfa 1	0.52	1	0.09	0.1
Alfa 2	1.1	1	0.1	0.08
Beta 1	0.43	1	0.08	0.09
Beta 2	0.87	1	0.15	0.12
Gama	1.28	1	0.2	0.21

Nota. Esta tabla presenta la media (*M*) y la desviación estándar (*DE*) para las distintas derivaciones, tanto en participantes diestros como zurdos, a través de las bandas de frecuencia. Con base en la prueba *F* del ANOVA, no se encontraron diferencias en la lateralidad manual.

Tabla 6

Análisis de Componentes Principales en la Correlación Intrahemisférica Durante el Estímulo Inhibitorio entre Diestros y Zurdos

Banda de Frecuencia	Hemisferio	Peso	Varianza explicada	C1	C2	C3	C4
Delta	Izquierdo	5.8	68.7	34.8	33.9	---	---

	Derecho	3.56	68.15	30.15	25.6	12.4	---
Theta 1	Izquierdo	4.31	65.4	33.3	32.1	---	---
	Derecho	8.38	60	21.8	21.3	16.9	---
Theta 2	Izquierdo	4.43	62.15	20.5	16.15	14.3	11.2
	Derecho	7.93	72.4	32.6	17.8	14.3	7.7
Alfa 1	Izquierdo	8.31	58.2	23.7	17.8	16.7	---
	Derecho	6.98	71.4	19.9	18.9	17.5	15.1
Alfa 2	Izquierdo	9.71	65.7	24.5	18.6	13.9	8.7
	Derecho	7.81	75.3	34.5	26.6	14.2	---
Beta 1	Izquierdo	9.24	65	33.4	31.6	---	---
	Derecho	5.63	64.2	29.3	19.5	15.4	---
Beta 2	Izquierdo	2.37	64	32.6	31.4	---	---
	Derecho	2.14	66.4	28.1	23.6	14.7	---
Gama	Izquierdo	8.52	77.3	34.5	30.9	11.9	---
	Derecho	8.9	68.21	46.4	12.5	9.31	---

Nota. Se realizó un Análisis de Componentes Principales para cada hemisferio y banda de frecuencia, mostrando el peso y el porcentaje de varianza explicada por cada componente. Además, al margen, se presentan los componentes (C) formados tras la Rotación Varimax.