



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**‘Lateralización cerebral del movimiento complejo y sus componentes.
Un estudio neuropsicológico en pacientes con Evento Vascular
Cerebral’**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A:

Yvonne Geraldin Flores Medina

DIRECTOR: Lic. Rodolfo Solís Vivanco

REVISOR: Dra. Irma Yolanda del Río Portilla

JURADO: Lic. Maura Jazmín Ramírez Flores

Mtra. Itzel Graciela Galán López

Mtro. Gerardo Ortiz Moncada

MÉXICO, D.F.

2010.



® Facultad
de Psicología



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.

Tutora externa: Dra. Yaneth Rodríguez Agudelo
Departamento de Neuropsicología y grupos de Apoyo
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía
“Manuel Velasco Suárez”

Esta tesis se llevo a cabo en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía
“Manuel Velasco Suárez” En el departamento de Neuropsicología y grupos de Apoyo.

AGRADECIMIENTOS.

A Papá, porque mucho de lo que soy se debe a tu confianza en mí. Gracias por tomar la responsabilidad de mi persona en el momento más turbio de mi adolescencia, por tu trabajo y por ofrecer desinteresadamente todo cuanto tienes. Nunca te lo he dicho, pero te agradezco que mi educación se basara en tu ejemplo, en el coraje que tienes para enfrentar las situaciones adversas de la vida y el amor incondicional por tus hijos. Espero poder corresponder algún día a todo lo que me has entregado y estar a la altura de tus expectativas.

A Mamá, gracias por tu entrega como profesional y como madre. Te agradezco que nos diéramos la oportunidad de superar nuestras diferencias como personas y tener una relación que se basa en la mutua comprensión. Gracias por tus cuidados en mi infancia y por educarme en todos los aspectos, las lecciones que me regalaste han servido para desarrollar en mí la idea de que cualquier meta puede alcanzarse si estas dispuesta a ofrecer tu sueño, tu cansancio y tu corazón. Gracias por crear en mí la ambición de ser una mujer realizada.

A mis hermanos Amalia y Emanuel, por compartir conmigo su aventuras, sus logros y sus tropiezos (y por ser sujetos experimentales todo lo que duro mi carrera). Espero que el tiempo nos permita seguir creciendo juntos y apreciar el lazo que nos une de por vida. A los niños que han alegrado mi vida (en orden de aparición): Garel, José, Montse, Pandora, Azul y Gabriel.

Y a las familias Flores y Medina porque siempre han sido parte activa de mi educación.

Al Lic. Rodolfo Solís por su guía y apoyo en la culminación de mi Licenciatura. Gracias por instruirme desde los aspectos más básicos como la creación de mi anteproyecto, hasta la culminación de mi Tesis. Por toda la paciencia (mucha, mucha paciencia) y dedicación en la corrección de un texto que no tenía ni pies, ni cabeza. Gracias por tu profesionalismo, tu amistad, consejos y por el aliento en los momentos en los que no veía llegar mi titulación.

A la Dra. Yaneth Rodríguez por todas las oportunidades que me brindo, desde admitirme en su equipo de trabajo, ofrecerme una beca durante toda mi estancia en el laboratorio y por permitirme colaborar en diferentes investigaciones dentro y fuera de la institución. Le agradezco la libertad creativa y el apoyo para la realización de mi tesis; pero sobre todo le agradezco su confianza, esto tuvo gran efecto en mí como persona y en mi desarrollo como profesional. Gracias por todo.

A la Mtra. Mireya Chávez cuya ayuda fue fundamental para la realización de este trabajo. Gracias por ser siempre una guía dedicada y formadora incansable, por tu tiempo para instruirme sobre la aplicación de las pruebas, y por ayudarme en la calificación. Te agradezco de todo corazón tu generosidad, el apoyo y la confianza en el momento difícil.

Al Dr. Francisco Paz por su constante ayuda en el análisis estadístico, por la disposición a resolver mis dudas sin importar lo absurdas que fueran y por su apoyo durante todo el proceso de la realización de la tesis.

A la Dra. Irma Yolanda del Río Portilla, Lic. Maura Jazmín Ramírez Flores, Mtra. Itzel Graciela Galán López y al Mtro. Gerardo Ortiz Moncada por sus valiosos comentarios sobre este trabajo, y la disposición a pesar de la premura.

A mis compañeros de Neuro por las risas, las historias, y la dicha de llamarlos colegas y amigos: Ale, Julia, Elisa, Ana, Sandra, Martha, Rubén, Sebastián y Pancho.

A Tuti por ser prácticamente mi hermana. Por compartir toda nuestra niñez y adolescencia.

A Onaki por su sincera amistad y cariño, y por prestarme la otra mitad del cerebro para terminar mi tesis. Al grupo de mis queridos (pero extraños) amigos de la carrera: Alma, Eduardo, Armando, Miguel, Sandra, Sara y Anita.

A Sergio, que ha sido mi mejor amigo durante ya casi 10 años, por todas las horas de charla en las prácticamente hemos compartido lo mejor y lo peor de nuestras personas. Por el papel de conciencia (involuntaria) que has jugado en mi vida y porque honestamente, te admiro.

A mis amigos más entrañables: Hugo, Jonathan, Lucia, Mónica, Alfa y Viridiana.

A Carlos Saavedra por ser el punto de inflexión en mi vida. Por ser mi contención emocional, cómplice intelectual y el amor de mi vida. Por aguantar todo lo que significa ser el objeto de mi afecto, gracias por crecer conmigo, aguantar mi enfermedad mental, mis incongruencias (y mi ortografía) y por llegar a mi vida en el momento preciso. Te amo.

Finalmente gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México. Que ha sido mi hogar desde los 15 años. Por formarme en los valores de su Institución, y crear en mí una conciencia social. Le agradezco el privilegio y la responsabilidad de llamarme Universitaria.

En un bosque se bifurcaron dos caminos, y yo... Yo tomé el menos transitado. Esto marcó toda la diferencia.

Robert Lee Frost (1874-1963).

Lateralización cerebral del movimiento complejo y sus componentes. Un Estudio Neuropsicológico en pacientes con evento vascular cerebral.

Índice.

Resumen.	7
I. Lateralización cerebral	8
a. Introducción	8
b. Concepto	9
c. Evolución de la lateralización	10
d. Lateralización de funciones	15
e. Evaluación de lateralización	18
• Técnicas invasivas	
• Técnicas no invasivas	
• Poblaciones especiales	
II. Movimiento complejo	22
a. Organización de las áreas motoras	22
b. La motricidad como proceso cognitivo	27
c. Programación del movimiento	27
d. Tipos de movimiento complejo	28
e. Componentes del movimiento complejo	28
f. Alteraciones del movimiento complejo: las apraxias	31
III. Evidencias sobre la lateralización del movimiento complejo	33
IV. Método	36
a. Planteamiento del problema	36
b. Justificación	36
c. Objetivos	36
d. Hipótesis	37
e. Variables	37
f. Tipo de estudio	37
g. Población y muestra	38
h. Instrumentos	39
i. Procedimiento	42
j. Análisis estadístico	43
V. Resultados	44
VI. Discusión y Conclusiones	53
VII. Referencias	64

Resumen

INTRODUCCIÓN. La lateralización cerebral se refiere a la forma en que la información es procesada, representada y respondida de manera más eficiente y flexible por alguno de los dos hemisferios. El movimiento complejo (MC) se define como las acciones almacenadas sobre un movimiento particular. Por su tipo, los MC se clasifican en transitivos (uso de herramientas) e intransitivos (gestos de comunicación); ambos movimientos cuentan con subcomponentes específicos: componente de contenido, temporal y espacial. Actualmente existe controversia sobre la contribución de cada hemisferio para la realización del MC. **OBJETIVO.** Describir la lateralización cerebral de los tipos de MC y sus componentes. **PARTICIPANTES Y MÉTODO.** La muestra estuvo conformada por 26 pacientes del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía con evento vascular cerebral (EVC) único lateralizado, 14 con lesión izquierda (PLI) y 12 con lesión derecha (PLD). Adicionalmente se estudió un grupo control igualado en edad, género y escolaridad. Se utilizó el Test Cribado de Apraxias de Florida (FAST-R) para la evaluación del MC. Se llevaron a cabo análisis descriptivos para los datos sociodemográficos y ANOVAs de un factor para conocer las diferencias entre los tipos de MC y sus componentes. **RESULTADOS.** Se encontró una deficiencia significativa en el total del FAST y en los movimientos transitivos en PLD y PLI en comparación con sus controles ($p < 0.0001$). Los PLI mostraron más errores intransitivos ($p = 0.017$), todos los pacientes fallaron en el componente espacial y temporal, sin embargo los PLD mostraron un mayor número de errores temporales ($p < 0.0001$) en comparación con PLI (0.01) y únicamente los PLI mostraron errores de contenido ($p = 0.01$). **CONCLUSIONES:** La representación de los tipos de MC difiere, los movimientos transitivos son más complejos y presentan una lateralización de sus componentes temporal y de contenido, esto propicia un procesamiento paralelo donde se distribuye la carga cognitiva entre los hemisferios.

I. LATERALIZACIÓN CEREBRAL.

a) Introducción

El sistema nervioso central (SNC) es responsable de crear todo un nuevo campo de conocimiento: la denominada Neurociencia. Por su complejidad y distintos niveles de análisis, este campo requiere que converjan disciplinas como la biología, química, física, medicina y psicología. Sus hallazgos, aunque lejos de ser conclusivos en muchas de las ramas, han generado tal cantidad de información que la década 1990-2000 fue declarada “la década del cerebro” (Bush, 1990).

Uno de los temas recurrentes en el estudio de la Neurociencia ha sido la asignación de funciones cognitivas a regiones específicas del SNC. Un tópico esencial dentro de esta asignación son las diferencias que existen en la regulación de las funciones por ambos hemisferios cerebrales, la investigación sobre esta diferenciación funcional hemisférica tomado relevancia por sus implicaciones clínicas y conductuales.

La pregunta lógica por la distinción entre las dos mitades del cerebro es sustentada por la similitud de su estructura, pero ha sido precisamente la diferencia en sus capacidades lo que ha revelado la importancia de estudiar hemisferios cerebrales. Las diferencias que poseen fueron puestas en evidencia por diversas investigaciones en las que los patrones de conducta causados por lesión derivarían en la idea de lateralización cerebral (Springer & Deutsch, 1999). En la tabla 1 se muestra un desglose de los principales hallazgos que contribuyeron al desarrollo de este concepto y se ofrece una perspectiva histórica de la investigación realizada en el área de lateralización hasta 1988, los principales hallazgos en estas investigaciones indican que existe una diferencia en la realización de funciones específicas como el lenguaje, el movimiento y la percepción.

Tabla 1.

Hallazgos que dieron paso al concepto de lateralización cerebral (Springer & Deutsch, 1999) .

Año	Autor	Contribución
1745	Bradshaw	Indica la contribución del hemisferio derecho en la música.
1812	Gall	Propone que varias facultades mentales pueden ser localizadas en diferentes órganos, lo que es un precedente de la idea de localización cerebral.
1836	Dax	Describe la asociación entre la pérdida de la palabra y signos de lesión en el hemisferio izquierdo.
1861	Auburtin	Indica que el centro que controla el habla se encuentra en los lóbulos

		frontales.
1864	Broca	Muestra la importancia del hemisferio izquierdo sobre el habla por la lesión en la porción posterior izquierda de la tercera circunvolución frontal.
1874	Wernicke	Indica que el daño en la parte posterior del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo puede producir dificultades en la comprensión del lenguaje.
1920	Liepmann	Señala que existen propiedades en el hemisferio izquierdo que no posee el hemisferio derecho mediante su modelo de apraxia. En el cual existe una incapacidad de realizar movimientos determinados, asociada con lesiones del hemisferio izquierdo.
1935	Weisenberg	Muestra la función especializada del hemisferio derecho: su daño provoca trastornos de orientación y conciencia, así como agnosia y perturbaciones en el reconocimiento de información familiar.
1941	Van Wagenen y Akelaitis	Describen las primeras operaciones de escisión cerebral en humanos, realizan pruebas postoperatorias en estos pacientes para mostrar deficiencias en las capacidades perceptuales y motrices.
1958	Sperry y Myers	Muestran, con los resultados sobre el estudio de la escisión cerebral, que cada mitad del cerebro es capaz de percibir, aprender, recordar y sentir de forma independiente de otra, debido a que existen diferencias en el modo de procesar la información entrante.
1968	Jackson	Propone la idea del hemisferio líder, una noción que debe considerarse como precursora de la dominancia cerebral: <i>“en la mayoría de la gente el lado izquierdo del cerebro es el que liderea, el llamado voluntad, y el derecho es el automático”</i> .
1969	Lansdell	Sugiere la hipótesis del <i>cognitive crowding</i> , en la cual las habilidades espaciales han sido parcialmente desplazadas al hemisferio derecho, por el elevado grado de compromiso del otro hemisferio en el lenguaje.
1969	Levy	Presenta el modelo de lateralización-cognición, usando la dominancia manual como índice de organización cerebral lateralizada y comparándolo con la escala de inteligencia Wechsler (WAIS).
1988	Lewis	Propone los criterios para el estudio de la relación entre la lateralización cerebral y la habilidad cognitiva.

Estas observaciones establecieron el precedente sobre la diferencia funcional entre la mitad derecha e izquierda del cerebro, apoyando el concepto de lateralización. Este concepto implica que cada uno de los dos hemisferios cerebrales ejecuta procesos de forma preferencial y por lo tanto el comportamiento resultante difiere (Gazzaniga, Ivry, & Ronald, 1998). El hallazgo de un procesamiento preferencial ha sido el tópico principal de las investigaciones actuales sobre lateralización. Los resultados más recientes serán discutidos en los apartados posteriores de esta tesis.

b) Concepto

La asimetría funcional o lateralización se define como el procesamiento diferencial de los inputs neurales y el control de los outputs por el lado derecho o izquierdo del cerebro (Rogers, 2000).

El concepto de lateralización fue descrito inicialmente por Lashley (1951), quien propone que la localización separada de las funciones cerebrales está determinada por la existencia de diversas clases de mecanismos integrativos, que no pueden funcionar en el mismo campo sin interferencia, por lo cual los centros del control están ubicados unilateralmente.

Aunque la lateralización de funciones se ve como un hecho, y la ejecución de muchas pruebas relativamente complejas se basan en que algunos módulos cognitivos se encuentran especializados en el hemisferio izquierdo o derecho del cerebro, en el siglo XIX y principios del siglo XX los investigadores comenzaron a darse cuenta de que se requería la transmisión de información intra-regiones e inter-hemisferios para el correcto funcionamiento de las tareas cognitivas (Heilman, 2008). El sustrato estructural de las diferencias en el procesamiento de la información entre los dos hemisferios podría encontrarse en la asimetría de conexiones funcionales a nivel de la circuitería intra-áreas e inter-regiones, más que en una asimetría de estructuras localizadas, o regiones homotópicas (Stephan, Fink, & Marshall, 2007).

Lo anterior pone en relieve un punto importante en la moderna conceptualización de la lateralización: que los dos hemisferios pueden trabajar en concierto para realizar una tarea, incluso cuando sus contribuciones puedan variar. Entonces, la asimetría funcional o lateralización se refiere a la manera en que la información es procesada, representada y cómo se responde de una manera más eficiente y flexible en uno u otro hemisferio (Gazzaniga et al., 1998).

c) Evolución de la lateralización

Filogenia

Por largo tiempo la lateralización cerebral ha sido considerada una característica única de la especie humana, asociada con el lenguaje y la preferencia manual. El objetivo de este apartado es señalar que la lateralización es un fenómeno que se presenta a través de diversas especies: está presente en la mayoría de los vertebrados incluyendo peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, y ha sido encontrada en varios niveles del SNC, como el neuroanatómico, neuroquímico y comportamental (Hirnstain, Hausmann, & Güntürkün, 2008). Esto nos lleva a pensar que el proceso de lateralización es de hecho generalizado, y por lo tanto no es extraño encontrar que las funciones más complejas

desde el punto de vista evolutivo, presenten patrones de procesamiento preferencial para su correcta ejecución.

La característica de lateralización en el sistema nervioso se ha encontrado en distintos modelos animales (Bizzasa, Rogers, & Vallortigara, 1998). Y son precisamente estos modelos los que han dado pie a la investigación de las bases neurobiológicas de la lateralización, así como la posibilidad de proponer factores genéticos y epigenéticos de ésta. Las similitudes de dirección en la lateralización de diferentes tareas en distintas especies, podría ser evidencia de posibles homologías, sin embargo es el hecho de que existe una especialización funcional en cada hemisferio lo que da sustento a la teoría de lateralización (Vallortigara, Rogers, & Bisazza, 1999).

Diversos estudios han revelado las asimetrías funcionales en el sistema visual de las aves: el hemisferio izquierdo es superior para la discriminación de características y el hemisferio derecho tiene ventajas en las relaciones viso-espaciales en palomas, gallinas y codornices (Rogers, 2000, 2008; Xiao & Güntürkün, 2009). También se ha encontrado evidencia de lateralización en distintos comportamientos como: escape, preferencias de uso visual, elección en laberintos T, cópula, producción de canto, control neuronal de las vocalizaciones, comportamiento sexual y respuestas agresivas en peces, anfibios y reptiles. Derivado de lo anterior se considera que la lateralización en vertebrados es más una regla que una excepción (Bizzasa et al., 1998).

Algunas funciones de especialización del hemisferio derecho en humanos, como el reconocimiento facial, podrían ser el continuo de lateralización encontrada en otras especies y quizás una elaboración de un proceso similar usado por las gallinas para el reconocimiento social (Rogers, 2000). Este aspecto de la lateralización humana es consistente también con la especialización del hemisferio derecho de monos Rhesus para discriminación facial encontrada por Hamilton (1998). Otras funciones, como el lenguaje, se han estudiado en primates no humanos, donde distintos gestos de comunicación muestran un patrón similar en la preferencia manual, lo que sugiere que comparten un sistema de especialización hemisférica (Meguerditchian & Vauclair, 2009).

Ontogenia

La lateralización cerebral cuenta con bases genéticas, Sun, Patoine, Abu-Khalil, Visvader, Sum y Cherry (2005) muestran que algunos genes se expresan de forma

asimétrica en la corteza derecha e izquierda en cerebros humanos en la semana 12, 14 y 19 de la gestación. Un gen en particular, el LMO4, se expresa diferencialmente en la corteza perisilviana derecha e izquierda en las semanas 12 y 14. Los autores concluyen que las diferencias de expresión de LMO4 en humanos podrían reflejar cualquier diferencia topográfica en los dos hemisferios o una diferencia en el ritmo del desarrollo cortical.

Por su parte Brown, Western y Braithwaite (2007) describen que la expresión de patrones en las respuestas lateralizadas dependen de la experiencia adquirida durante la ontogenia, y que los cambios en estos patrones de una generación a la siguiente puede ser el resultado de la influencia de la motivación durante la inspección de ciertos estímulos. Entonces la lateralización tiene un componente de heredabilidad, pero el patrón es influido por la exposición a diferentes experiencias durante la ontogenia.

Además del componente genético y la experiencia adquirida, factores como la estimulación ambiental y la exposición de ciertas hormonas durante periodos sensibles del desarrollo pueden alterar la lateralización (Rogers, 2008). Los factores prenatales en humanos que pueden ser responsables de que exista una especialización hemisférica para ciertas funciones cognitivas han mostrado resultados variables, sin embargo se estudia la influencia de agentes específicos como la testosterona fetal relacionada con la lateralización de funciones como el reconocimiento de caras y palabras (Mercure et al., 2009).

En procesos complejos como el desarrollo del habla, se ha encontrado que la edad y la experiencia juegan un papel en el desarrollo de la típica lateralización izquierda de las redes lingüísticas. El análisis de componentes electrofisiológicos tempranos con la técnica de potenciales evocados (PE) muestra que la onda N150 (potencial que corresponde al reconocimiento visual de palabras) muestra una negatividad con ubicación temporal izquierda en adultos y adultos jóvenes, pero una lateralización inversa en niños, mostrando una negatividad en el hemisferio derecho; la N350, que es una marca del procesamiento fonológico, muestra una gran negatividad bilateral en niños, mientras que el grupo de adultos tiene una negatividad izquierda (Spironelli & Angrilli, 2009). De manera similar, se ha encontrado que en los niños no existe diferencia en la lateralización de la N170 para el reconocimiento de caras y palabras,

mientras que en los adultos esta diferencia ha sido encontrada de manera consistente. Esto sugiere que en los adultos el patrón de lateralización emerge con los años de experiencia y con la maduración en la infancia tardía (Mercure et al., 2009). Boles, Barth y Merrill (2008) proponen una teoría de neurodesarrollo para explicar las diferencias que se encuentran en la asimetría y la ejecución de pruebas a lo largo del tiempo en los humanos. Proponen que existe una relación entre el periodo de desarrollo y la aparición y maduración de procesos cognitivos y perceptuales. Este desarrollo coincide con la maduración y plasticidad del cuerpo calloso, la evidencia sugiere que la maduración y el tiempo de mielinización que incrementan con la edad se relaciona con la facultad de aislamiento de esta estructura calloso (Belger & Banich, 1992). Chiarrolo, Welcome, Halderman y Leonard (2009) reportan que existe una correlación entre el grado de lateralización y la ejecución de tareas cognitivas en adultos, en donde un grado mayor de lateralización correlaciona con una mejor ejecución de la prueba; además describen que la relación de comportamiento-cerebro se ve influenciada por el grado de dominancia manual y proponen que los individuos con una preferencia manual muy marcada tienen una asimetría hemisférica mucho más evidente.

Existen otros tipos de características individuales y de carácter patológico que se han asociado con el concepto de lateralización; algunas poblaciones clínicas con esquizofrenia (Asai, Sugimori, & Tanno, 2009), autismo (Hier, Lemay, & Rosenberger, 1979) y déficit de atención con hiperactividad (Mostofsky, Cooper, Kates, Denckla, & Kaufmann, 2002) se han asociado con un decremento en la lateralización de las funciones cerebrales.

Utilidad evolutiva

Ya establecido que factores genéticos y de desarrollo pueden generar patrones distintos de lateralización entre individuos, es necesario conocer la ventaja de tener un sistema lateralizado. Los resultados de las investigaciones proponen que la ventaja funcional es consistente con un procesamiento más rápido y más eficiente de la información (Rogers, 2000, 2008).

Desde un punto de vista filogenético, la lateralización emerge de forma temprana en los vertebrados por una cuestión de presión evolutiva. Desde un punto de vista

computacional, esta segregación de funciones representadas en las dos mitades del cerebro pudo darse como solución al problema de “incompatibilidad funcional” en donde dos centros que dominen una función no pueden operar en el mismo campo sin interferencia (Bizzasa et al., 1998; Vallortigara et al., 1999). Se ha sugerido que las asimetrías de tipo funcional también podrían haber surgido para evitar retrasos en el procesamiento debido a una transferencia interhemisférica lentificada (Bizzasa et al., 1998; Rogers, 2000, 2008; Vallortigara et al., 1999).

Otra hipótesis sugiere que la lateralización permite delimitar el reclutamiento neuronal necesario para la reducción de procesos redundantes. Con un circuito neuronal específico en un hemisferio que procesa determinada tarea, el área homóloga en el hemisferio opuesto puede ejecutar procesos distintos o complementarios, siguiendo un uso más eficiente de la capacidad neuronal (Hirnstein et al., 2008).

La ejecución de procesos distintos y complementarios en las áreas homólogas es compatible con la idea de que un procesamiento paralelo resulta ventajoso cuando se incrementa la complejidad de una tarea, pero esto requiere de dos características: que la carga cognitiva esté distribuida entre los hemisferios y que cada hemisferio tenga una funcionalidad distinta, para que de forma separada, se ejecute un proceso independiente (Belger & Banich, 1992).

De acuerdo con lo anterior, la investigación de distintas funciones cerebrales debería ofrecer evidencia sobre la diferencia del procesamiento de la información. En el siguiente capítulo de esta tesis se muestra que los procesos cerebrales complejos presentan patrones de lateralización consistentes con un procesamiento preferencial en cada hemisferio.

d) Lateralización de funciones

De forma general, el lado derecho del cerebro ejecuta respuestas de inicio rápido, procesa la información sobre objetos nuevos y es usado para el reconocimiento de congéneres a lo largo de un gran número de especies, desde los peces hasta los humanos. En contraste, el hemisferio izquierdo está involucrado en la discriminación entre categorías alternativas de objetos previamente reconocidos (Brown et al., 2007). Con base en lo anterior es lógico pensar que cada hemisferio cerebral se distingue por la forma y estrategia que emplea para procesar los estímulos, Ardila y Ostrosky (2005) han documentado que en la mayoría de los individuos el hemisferio izquierdo analiza secuencialmente la entrada sensorial, abstrae los detalles relevantes y les adhiere una etiqueta verbal, mientras que el hemisferio derecho atiende a la configuración total del estímulo y sintetiza los fragmentos de los datos perceptuales en un todo. En la tabla 2 se observa que existe una organización funcional basada en los estímulos que se procesan en cada hemisferio.

Tabla 2.

Clasificación de procesos basados en la organización funcional (Ardila & Ostrosky-Solis, 2005).

Hemisferio izquierdo	Hemisferio derecho
Codifica información sensorial con base en la descripción lingüística	Codifica información sensorial en términos de imágenes
Análisis temporal	Sintetiza espacialmente
Efectúa comparaciones conceptuales independientemente del contenido lingüístico	Hace pareamiento visual sin realizar comparaciones conceptuales
Percibe detalles	Percibe forma
Comunicación verbal	Maneja relaciones espaciales y efectúa el análisis de las partes en relación a un todo
Procesamiento lingüístico y numérico	Reconocimiento perceptual de cosas
Pensamiento analítico y secuencial	Pensamiento no verbal

Existen también reportes de las características o síndromes predominantes resultado de las lesiones del hemisferio derecho e izquierdo. En general, las alteraciones por lesión en el hemisferio izquierdo, además de causar varios tipos de afasia, pueden ocasionar trastornos de tipo conductual y déficit en tareas que requieren la elaboración de categorías conceptuales, diversos tipos de apraxia y deficiencias en la orientación derecha-izquierda. En contraste, los síndromes causados por lesiones en el hemisferio derecho se caracterizan por alteraciones en la orientación espacial que se manifiestan en varias áreas: construcciones, dibujos, lenguaje escrito, cálculos escritos, memoria espacial y nociones topográficas, deficiencias en la percepción y recuerdo de material

no verbal, así como trastornos de naturaleza multisensorial y espacial (Tabla 3) (Ostrosky-Solis & Ardila, 1986).

Tabla 3.
Clasificación de síndromes unihemisféricos provocados por lesión (Ostrosky-Solis & Ardila, 1986).

Lóbulo.	Hemisferio izquierdo	Hemisferio derecho
Frontal	Afasia de Broca Disminución de la fluidez verbal Reducción de la espontaneidad conductual Deficiente programación del movimiento Apatía, adinamia	Aprosodia motora Fuga de ideas y concretismo Impulsividad Trastornos de la orientación espacial Alteraciones en conductas Sociales
Parietal	Afasia Alexia y agrafia Apraxia Acalculia Agnosia táctil Confusión derecha-izquierda	Agnosia espacial unilateral Apraxia del vestir Agnosia topográfica Alteraciones espaciales Apraxia construccional Alexia espacial y agrafia
Temporal	Discriminación fonémica alterada Memoria verbal alterada	Aprosodia sensorial Trastornos de la conducta no verbal Agnosia auditiva y amusia
Occipital	Alexia sin agrafia Simultagnosia	Agnosia espacial Prosopagnosia Alteraciones de la percepción de relaciones espaciales.

Es necesario aclarar que la clasificación de síndromes unihemisféricos se basa en las descripciones generales de los procesos, esto significa que algunas características de una misma función pueden encontrarse alteradas por la lesión de las conexiones entre los lóbulos o la lesión de cualquiera de los dos hemisferios, recordemos que los procesos de lateralización se basan en el hecho de que ambos hemisferios pueden ejecutar una tarea, pero que difieren en eficiencia.

Se ha estudiado el procesamiento asimétrico de la información en otro tipo de funciones como la memoria de trabajo (MT). Wagner, Sziklas, Garver y Jones-Gotman (2009) reportan que los pacientes con daño en el lóbulo temporal medial (LTM) presentan déficit en tareas de MT, y que existe una disociación parcial entre el material verbal y visoespacial en esta tarea de acuerdo al sitio de la lesión. Los pacientes con daño en el LTM derecho muestran un incremento en los errores visoespaciales, en comparación con los pacientes con daño izquierdo, que presentan incremento en los errores verbales.

Con técnicas como el Electroencefalograma (EEG) y Potenciales Evocados (PE) también es posible observar actividad cerebral asimétrica asociada con diversas tareas cognitivas. El trabajo de Rowan, Liegois, Vargha-Khadem, Gadian, Connelly y Galdeweg (2004) muestra mediante el registro de los PE una marcada lateralización izquierda en zonas temporales y frontales producto de una tarea de generación de verbos, los autores concluyen que regiones inferiores del lóbulo frontal izquierdo están directamente relacionadas con la morfología flexiva del lenguaje. Estudios que registran la actividad eléctrica relacionada con la preparación motora, revelan amplitudes inter-hemisféricas asimétricas en los perfiles de respuesta cortical que facilitan la distinción entre procesamiento cortical motor y no-motor (Van'tEnd & Apkarian, 1998). Hallazgos encontrados mediante potenciales relacionados a eventos (PRE), y desincronización relacionada a eventos (DRE) muestran que existe una asimetría funcional relacionada con la preparación, ejecución y supresión del plan motor. Como se menciono anteriormente, evidencia con PRE muestran que la onda N170 presenta una lateralización para el reconocimiento de caras y palabras (Mercure, et al., 2009), y existen datos que sugieren que la N350 posee un patrón de negatividad izquierda para el procesamiento fonológico en población adulta (Spironelli & Angrilli, 2009).

Funciones como el control cognitivo, específicamente las respuestas de selección e inhibición, han sido estudiadas con Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf). Se ha encontrado que el giro frontal inferior del hemisferio izquierdo muestra una mayor activación para las respuestas de selección (ejemplo: elegir entre dos alternativas de respuesta, o elegir entre responder o inhibir la respuesta en tareas de go/no-go), mientras que su homólogo derecho presenta una mayor activación en la inhibición completa de una respuesta (Goghari & MacDonald, 2009). También se ha observado una diferencia en la activación de los hemisferios durante la ejecución de pruebas neuropsicológicas que evalúan funciones ejecutivas (Horn, Berman, & Weinberger, 1996) los datos sugieren que una mayor activación derecha se asocia a una mejor ejecución en tareas como la Prueba de clasificación de cartas de Wisconsin, de alternancia diferida y de respuesta espacial diferida.

En el estudio del movimiento está bien establecido que diversos aspectos del control motor se regulan desde el hemisferio izquierdo, sin embargo esta evidencia será discutida en el apartado sobre la lateralización del movimiento.

e) Evaluación de la lateralización

Por mucho tiempo la evaluación confiable de la lateralización sólo fue posible con el uso de métodos invasivos. En la década de 1930 Penfield utilizó la estimulación eléctrica en los hemisferios para mapear áreas de manera directa en el momento de la intervención quirúrgica. El principal objetivo de este procedimiento fue determinar las regiones que podían resultar en un *paro afásico* (Springer & Deutsch, 1999). Otra técnica, conocida como prueba de Wada, consiste en la inyección de amital sódico en la arteria carótida común izquierda o derecha. Con la aplicación de este narcótico a un solo lado del cerebro, el papel funcional del otro hemisferio para una tarea cognitiva o motora particular podía ser determinada (Jansen et al., 2006; Rey, Dellatolas, Bancaud, & Talairach, 1988); esta técnica ha sido utilizada como evaluación pre-operatoria para funciones como lenguaje y la memoria en pacientes con epilepsia, al crear un modelo farmacológico reversible, es posible obtener una perspectiva del posible déficit comportamental producto de la resección de áreas derechas o izquierdas del cerebro en esta población clínica (Cataltepe & Jallo, 2010). Ambas técnicas implican el riesgo de complicaciones fatales y por lo tanto sólo son administradas a pacientes candidatos a neurocirugía.

Las aproximaciones tradicionales no invasivas para caracterizar las asimetrías hemisféricas se han apoyado en cuatro enfoques principalmente: (a) la investigación neuropsicológica en pacientes con lesiones cerebrales y las evaluaciones de los pacientes con división de cuerpo calloso; (b) la evaluación cognitiva usando técnicas de dicotomía auditiva o la presentación taquistoscópica de estímulos ; (c) la investigación post-mortem en cerebro humanos que se enfocan en las diferencias de las propiedades micro-estructurales (citoarquitectura, mieloarquitectura) entre regiones homotípicas en los dos hemisferios y (d) los estudios en vivo de las asimetrías estructurales y funcionales usando una variedad de técnicas como resonancia magnética (RM), morfometría, tomografía de emisión de positrones (TEP); resonancia magnética funcional (IRMf); electroencefalografía (EEG) y magnetoencefalografía (MEG) (Springer & Deutsch, 1999; Stephan et al., 2007).

Todas estas técnicas han sido complementarias y de gran ayuda para delinear las asimetrías cerebrales. Las investigaciones taquistoscópicas/dicóticas en voluntarios sanos proporcionan la caracterización comportamental de los procesos de lateralización,

mientras que las aproximaciones neuropsicológicas, fisiológicas y anatómicas describen las asimetrías cerebrales en términos de las propiedades neurobiológicas (Stephan et al., 2007).

Las técnicas taquistoscópicas/dicoticas y la aproximación neuropsicológica son dos métodos ampliamente utilizados para el estudio de la lateralización por el bajo costo que representan y por su característica de métodos no invasivos. Cada una técnica cuenta con sus propios criterios metodológicos y conceptuales. En las investigaciones taquistoscópicas la evaluación se basa en que las vías visuales están organizadas de modo que un estímulo presentado a un solo campo visual se proyecta exclusivamente a la corteza visual del hemisferio contralateral, lo que permite referir a dicho hemisferio el procesamiento inicial de la respuesta (Corbera & Grau, 1993), en la escucha dicótica cada hemisferio recibe información de ambos oídos, el objetivo es generar la competencia de la información de forma ipsi y contralateral. La escucha dicótica se basa en la hipótesis de Kimura: cuando se presentan simultáneamente dos estímulos verbales a cada oído, la vía que parte del oído derecho y que va al hemisferio izquierdo tiene un acceso preferente, mientras que la vía ipsilateral queda relativamente suprimida, por lo tanto se espera una ventaja del oído derecho para el material verbal, series de dígitos y palabras; por otro lado se han reportado ventajas del oído izquierdo para la detección de melodías y configuraciones musicales (Pamies, 1998).

Para las investigaciones neuropsicológicas, Lewis (1988) propone una serie de criterios conceptuales y metodológicos en el estudio del tópico cognición-lateralización : (i) la elección cuidadosa de la prueba para medir la habilidad a estudiar, lo que involucra que esta prueba sea sensible a las diferencias individuales sobre la habilidad cognitiva; (ii) considerar la naturaleza de la relación entre las medidas cognitivas (las tareas elegidas) y las medidas de lateralización. Debido a que las funciones como el lenguaje y la habilidad espacial no son constructos unitarios estas funciones pueden estar lateralizadas en diferentes grados; por esta razón el tipo de función medida en el índice comportamental de lateralización cerebral, debe ser el mismo tipo de función que mide la función cognitiva, por ejemplo: en un estudio entre la medida de lateralización espacial y la habilidad espacial sería prudente escoger una tarea de la misma categoría espacial, por ejemplo: la percepción espacial. Idealmente, las dos medidas reflejan los mismos componentes cognitivos, (iii) la evaluación de la ejecución cognitiva del sujeto

debe ser independiente de la prueba de lateralización, esto evita confundir la variable independiente (lateralización) con la dependiente (cognición); (iii) variación en el grado de lateralización, para que las pruebas estadísticas sean apropiadas, deben existir grados de lateralización y grados para la actividad cognitiva, la población debe mostrar una variación adecuada en medidas de ejecución y lateralización, para mostrar una diferencia de asimetría a bilateralidad; (iiii) variación en la dirección de lateralización (derecha, izquierda), tomar en cuenta que tanto el grado de lateralización como la dirección afectan la relación entre la especialización y la habilidad cognitiva, (iiiii) evaluar la lateralización y la habilidad cognitiva con la misma modalidad perceptual; esto sugiere que el procesamiento de información del hemisferio, puede depender de la modalidad sensorial así como de la demanda cognitiva.

La importancia de contar con métodos no invasivos, confiables y válidos, ha sido una constante en la investigación sobre la lateralización. Gazzaniga (1998) resume 3 tipos de poblaciones en las cuales estudiar el fenómeno de lateralización de forma no invasiva:

1. Pacientes con callosotomía o Síndrome de Sperry. En esta población se prueba cada hemisferio desconectado para evaluar sus diferentes capacidades. En estos pacientes se ha evaluado la especialización para distintos tipos de movimiento (Lausberg, Davis, & Rothenhäusler, 2000), la disociación de la mano derecha e izquierda en tareas de uso del espacio (Lausberg & Kita, 2002) y capacidades aritméticas, de comprensión, atención, memoria, lenguaje, habilidades perceptuales y motoras (Sauerwien & Lassonde, 1994).
2. Pacientes con lesiones unilaterales. La mayoría de los estudios refieren pacientes con Enfermedad Vasculare Cerebral (EVC). La idea básica es comparar el desempeño de lesiones circunscritas y restringidas en el hemisferio derecho o izquierdo. Si la lesión de un hemisferio resulta en una ejecución más pobre de la tarea, el déficit es atribuido a la asimetría hemisférica del proceso. Esto ha sido probado en distintas tareas como secuencias complejas de movimientos manuales (Hanna-Pladdy et al., 2001; Semmes, 1968; Yelnik et al., 1996), procesos de categorización y representación espacial (Palermo, Bureca, Matano,

& Guariglia, 2008) y procesamiento allocéntrico y egocéntrico (Iachini, Ruggiero, Conson, & Trojano, 2009).

3. Sujetos sanos. En esta población se estudian las asimetrías en cerebros normales. Los métodos más utilizados para este fin son distintas versiones de pruebas visuales y escucha dicótica, los resultados en estas pruebas han mostrado que existen patrones de lateralización marcados para distintos tipos de estímulos como el reconocimiento facial y el reconocimiento de palabras (Belger & Banich, 1992; Boles et al., 2008; Hirnstein et al., 2008; Mercure et al., 2009; Spironelli & Angrilli, 2009).

II. MOVIMIENTO COMPLEJO

a) Organización de las áreas motoras.

La complejidad es la que proporciona eficacia en nuestras acciones. Debido a la interacción de los organismos con el mundo, hasta el sistema nervioso más simple necesita ser capaz de procesar diversos tipos de información para promover acciones adecuadas. En los organismos superiores los movimientos complejos se refieren a las acciones almacenadas sobre un movimiento particular, incluyendo la dirección, fuerza y el periodo de tiempo de activación de cada músculo (Keele, 1968). Para poder ejecutar este tipo de movimiento se requiere de la interacción de un gran número de estructuras, que a su vez, tienen sus propias implicaciones funcionales (Ferreira & Lemus, 2005; Gao, Chen, & Gong, 2008; Gazzaniga et al., 1998). En la tabla 4 se exponen las principales estructuras involucradas en el funcionamiento del movimiento complejo, como puede observarse una gran cantidad de recursos neurales se encuentran comprometidos en este proceso, y por lo tanto se requiere de la participación de áreas corticales y subcorticales.

La organización de las áreas motoras para el movimiento complejo se puede estudiar teniendo en cuenta dos principios básicos. El primero indica que dentro de cada estructura motora hay una organización y representación somatotópica del cuerpo, y el segundo menciona que existe una relación jerárquica entre las áreas motoras con múltiples niveles de control.

En cuanto al primer principio, se sabe que los sistemas motor y sensorial primarios están organizados de forma somatotópica, sin embargo las regiones de asociación tanto motoras como sensoriales de orden superior también exhiben algunas formas de esta misma organización. Wheaton, Thompson, Syngeniotes, Abbott y Puce (2004) demuestran mediante IRMf que el movimiento de distintas partes del cuerpo provoca la activación de diferentes áreas de la corteza. La simple observación del movimiento de la boca provoca activación de la cara lateral de la corteza temporal derecha, lateral y ventral en la corteza occipito-temporal, la parte ventral premotora y también de la corteza parietal inferior. Este mismo fenómeno de activación de distintas áreas también se ha encontrado con el movimiento de las manos y los pies. Para la realización de los movimientos el cerebro debe poseer una visión dinámica de las partes del cuerpo, que permita la ubicación de éstas durante la ejecución de los programas motores. Esta

representación ha sido estudiada por sus implicaciones en los modelos del movimiento complejo (Buxbaum, Giovannetti, & Libon, 2000).

El segundo principio general se refiere a la relación entre las áreas motoras en donde los componentes forman una jerarquía con múltiples niveles de control (Gazzaniga et al., 1998). La idea de la jerarquía en la producción de movimientos proviene de Hughlings-Jackson, quien proponía que el sistema nervioso está organizado en múltiples niveles de acuerdo con su evolución, en donde los movimientos complejos son controlados por niveles superiores, actuando a través de los niveles inferiores. En su modelo los tres niveles mayores eran el prosencéfalo (que incluye el diencefalo y el telencefalo), el tronco cerebral y la médula espinal; y propone que a través de estas divisiones se pueden encontrar los diversos niveles de organización. La médula espinal está desarrollada en gusanos, el tronco cerebral en peces, anfibios y reptiles y finalmente el prosencéfalo en aves y mamíferos; por lo que el movimiento se vuelve complejo a medida que evoluciona el cerebro, en tal caso, diversos tipos de movimiento gozan de cierta independencia. Y consecuentemente el daño de los niveles superiores puede provocar una regresión a comportamientos simples que requieren de un menor compromiso del sistema nervioso. Así, actualmente se reconoce que acciones reflejas, que incluyen la base neural de la marcha, están codificadas en la médula espinal, y que muchas acciones como el comer, beber o la actividad sexual se producen por el circuito del tronco cerebral; y finalmente las acciones que requieren de cierta habilidad o destreza como la manipulación de objetos y los gestos comunicativos se encuentran almacenados en niveles superiores como la corteza cerebral (Kolb & Whishaw., 2003).

Tabla 4
Principales estructuras del sistema nervioso involucradas en el movimiento (Banich, 1997; Haines & Lancon, 2007; Hendelman, 2006; Johnson & Ebner, 2000; Paus, Petrides, Evans, & Meyer, 1933; Pribram & Ramírez, 1995).

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
Moto-neurona Médula espinal	Los impulsos que descienden de los centros nerviosos superiores convergen sobre la médula espinal en las neuronas localizadas en el asta ventral anterior, estas neuronas son llamadas motoneuronas inferiores o neuronas motoras alfa. En el sentido funcional las fibras nerviosas procedentes de cada motoneurona superior ubicadas en la corteza y las fibras descendentes del tallo que convergen en las motoneuronas inferiores son llamadas vía final común. Las motoneuronas inferiores y sus axones, además de las fibras musculares que son activadas, son llamadas colectivamente unidad motora. Sus alteraciones se observan en la fuerza y función muscular (Hendelman, 2006).
Tractos motores	<i>La vía corticoespinal</i> liga a la corteza con la médula espinal; los cuerpos de las células de este

tracto están localizadas en la corteza frontal agranular conocida como área motora primaria, precentral o área 4 de Brodman. Sus axones pasan por la cápsula interna y llegan hasta el bulbo raquídeo, justo por debajo de la oliva donde se da una decusación parcial de sus fibras formando 2 tractos: el primero es el tracto corticoespinal lateral, que es responsable del control de las extremidades distales, debido a que esta vía cruza completamente la línea media a nivel de la medula, las fibras de este tracto son exclusivamente contralaterales. El segundo es el tracto corticoespinal ventral, que es importante para el control de los músculos del tronco y la parte superior de las piernas; juega un papel prominente tanto en la habilidad de caminar y correr (locomoción) como en el mantenimiento de la postura. Este tracto proyecta de forma ipsilateral y contralateral. La debilidad de moderada a profunda Miastenia gravis, diplopía, debilidad facial con disfagia y disartria, hemiparesis y hemiplegia son enfermedades producto de una alteración en esta vía (Pribram & Ramírez, 1995).

La vía corticobulbar. Los cuerpos celulares están colocados prioritariamente en la corteza motora; y hacen sinapsis en el puente, específicamente en los nervios craneales III, IV, V, VI, VII, X y XII. Es la vía encargada del control motor de la cara y cuello, su lesión provoca hemiplegia contralateral y parálisis de la mirada en donde el ojo se desvía hacia el lado lesionado, parálisis facial contralateral y oftalmoplegia.

La vía ventromedial tienen sus cuerpos celulares en el tronco cerebral y terminan en la medula espinal, se ligan indirectamente con la corteza motora.

Tiene diversas funciones controla los movimientos del tronco y los músculos de extremidades proximales, también contribuye en el control de la postura. Una división de la vía ventromedial (tectoespinal), cuyos núcleos se originan en el colículo superior, son importantes para la coordinación de los movimientos oculares, de la cabeza y el tronco. El segundo tracto ventromedial (reticuloespinal) involucra el control muscular para las funciones autonómicas o involuntarias; tales como estornudos, respiración, el tono muscular, además de otras funciones como caminar. Los cuerpos celulares de este tracto particular se localizan en los núcleos del tronco y en la formación reticular pontina. Una lesión en esta vía ocasiona alteraciones en los movimientos reflejos de cabeza y cuello, ya sea disminuyendo o haciéndolos más lentos, además de provocar espasticidad y rigidez.

La vía rubroespinal se origina en el núcleo rojo en mesencéfalo. Este núcleo recibe inputs de la corteza motora de ambos hemisferios y del cerebelo, a los que también proyecta, formando un bucle. Los bucles en el sistema nervioso usualmente proporcionan una oportunidad para la modulación del control, el papel de la vía rubroespinal puede ser caracterizado por la modulación del movimiento motor. Las enfermedades asociadas a su lesión son temblores contralaterales o síndrome de Claude, midriasis (dilatación de la pupila), espasticidad y rigidez (Haines & Lancon, 2007).

Áreas subcorticales

El cerebelo, juega un papel determinante en la modulación de los movimientos y en el aprendizaje de las habilidades motoras. Estudios anatómicos han concluido que el cerebelo está involucrado en el monitoreo y optimización de movimientos con retroalimentación sensorial (Babiloni & Caducci, 2003). Además se ha postulado que juega un papel importante en la corrección de errores, coordinación de un conjunto múltiple de movimientos, la adquisición de habilidades de movimiento, la especificación de la velocidad y la elaboración de modelos internos (Johnson & Ebner, 2000).

Esta estructura se divide en dos hemisferios, cada uno de ellos tiene 3 divisiones. Desde la línea media, las tres divisiones son el vermis, la zona intermedia y la zona lateral. Dentro del cerebelo encontramos tres núcleos, que son conocidos como núcleos profundos del cerebelo: el núcleo fastigial, núcleo interposito o interpuesto, y el núcleo dentado. Cada región del cerebelo proyecta a diferentes núcleos profundos. El vermis proyecta al núcleo fastigial y recibe información somatosensorial y cinestésica de la medula espinal; el núcleo fastigial a su vez está influenciado por parte del tracto ventromedial, lo cual lo hace de vital importancia para la postura. La zona intermedia proyecta al núcleo interposito y recibe información somatosensorial de la médula espinal; también proyecta y recibe información del núcleo rojo creando un bucle. La zona lateral proyecta al núcleo dentado. La proyección al núcleo dentado está influenciada por la corteza motora primaria a través del núcleo rojo y el tálamo ventrolateral. El

daño en la zona intermedia produce rigidez y dificultad para mover las extremidades; inhabilidad para realizar movimientos suaves a una locación blanco; este comportamiento es referido a veces como acción con temblor o intención de temblor, porque ocurre durante la ejecución de un acto particular.

El daño en la zona lateral afecta los movimientos balísticos (movimientos que ocurren tan rápido que dejan poco o ningún tiempo para que el movimiento sea modificado por retroalimentación), la coordinación de múltiples conjuntos de movimientos, el aprendizaje de nuevos movimientos y la función temporal no solo en los movimientos sino también como función cognitiva

El tálamo es el núcleo más grande del sistema nervioso central y se encuentra en el centro del cerebro, consta de dos lóbulos laterales en los lados opuestos del tercer ventrículo, sus superficies superior se ubica en el piso de cada ventrículo lateral y sus partes laterales están contiguas a la parte posterior de la capsula interna. El tálamo está dividido por la lámina medular interna, que lo divide en tres porciones principales: medial, lateral y anterior. Cada una de las tres porciones contiene un grupo de núcleos talámicos. La porción anterior contiene a los núcleos anteriores, estos tienen conexión con los cuerpos mamilares, la circunvolución cingular y el hipotálamo. La función de estos núcleos está asociada con el sistema límbico y está vinculado con el tono emocional y los mecanismos de memoria reciente. Los núcleos de la porción medial son el núcleo dorsomedial y un grupo de núcleos pequeños, mantienen conexiones con el lóbulo frontal, y el hipotálamo, estos núcleos además mantienen conexiones con prácticamente todos los grupos talámicos. La porción medial es responsable de la integración de una gran cantidad de información sensitiva de tipo somático y visceral. La porción lateral del tálamo se constituye de núcleos dorsales y ventrales, los primeros tienen conexiones con otros núcleos talámicos, el lóbulo parietal, la circunvolución cingular, y los lóbulos occipital y temporal. Los núcleos ventrales mantienen conexiones con la formación reticular, sustancia nigra, el cuerpo estriado, cerebelo, la corteza motora, premotora y frontal. Debido a que en esta estructura se converge una gran cantidad de información sensorial, su lesión produce alteraciones de todas las modalidades sensitivas que afectan el hemisferio contralateral, estas lesiones incluyen parestesias intensas, disestesias y síndrome de Dejerine-Roussy.

Los ganglios basales son una colección de núcleos subcorticales que se constituyen del núcleo caudado y el putamen (que en conjunto se conocen como estriado) y el globo pálido. Las aferencias que reciben los ganglios basales (en su mayoría las reciben el caudado y el putamen) son prácticamente de todas las regiones de la corteza cerebral, así como de la sustancia nigra y el tálamo. El globo pálido es la vía de salida más importante de los ganglios basales, se conecta principalmente con el tálamo y a través de éste se conecta con regiones motoras y no motoras, incluyendo la corteza prefrontal, dorsolateral, orbitofrontal y la corteza cingulada.

Los outputs de los ganglios también influyen en los movimientos oculares vía los colículos superiores. Los ganglios basales son considerados el centro donde cruzan múltiples circuitos del control motor. Se ha propuesto que estas estructuras cumplen múltiples funciones como establecer el programa motor con respecto a la postura; preparar el sistema motor para la ejecución de actos motores voluntarios; actuar como pilotos automáticos para los comportamientos aprendidos, controlar el tiempo y el cambio entre actos motores, así como entre motores y no motores; juega un papel importante en la planeación motora y el aprendizaje, especialmente para los actos de significancia emocional o que involucren componentes más cognitivos. La sustancia nigra está ubicada en su mayor parte en el diencefalo y en su parte más caudal en el tegmento mesencefálico y pedúnculo cerebral, se divide en una porción compacta y una porción reticular, la porción compacta está formada por células de pigmentación oscura que sintetizan principalmente dopamina. La aferencia más importante de la sustancia nigra proviene del estriado, el núcleo subtalámico y el núcleo tegmental pedunculopontino. Desde el punto de vista funcional se considera parte de los ganglios basales debido a sus conexiones con los núcleos del tronco encefálico. La degeneración de esta sustancia induce la aparición de hipocinesia o disminución de los movimientos motores y la aparición de la enfermedad de Parkinson.

de los movimientos en el espacio, parecen integrar la información sensorial con los movimientos motores, por lo que las extremidades pueden ser guiadas correctamente durante los actos motores. Las regiones inferiores contribuyen a la producción de habilidades complejas y actos motores aprendidos. Las regiones parietales se relacionan con la información propioceptiva, que proporciona la posición del cuerpo con relación a otro punto en el espacio, además de recibir información de las áreas premotoras. En conjunto esta información puede ser integrada y asegurar que los movimientos se ejecuten de acuerdo con el plan a seguir y procurar las correcciones si son necesarias. Los hallazgos indican que diversas áreas de la corteza parietal actúan en distintas etapas y procesos de la planeación motora, y se considera que existe una dicotomía funcional, el área inferior derecha del lóbulo parietal juega un papel en la percepción espacial y la acción, su homólogo izquierdo se encarga del reconocimiento de la acción, además de la prensión y manipulación de objetos (Banich, 1997). Lesiones derechas causan heminegligencia Agnosia espacial unilateral, apraxia del vestir, agnosia topográfica, alteraciones espaciales, apraxia construccional, alexia espacial y agrafia, y daño izquierdo produce apraxia, alexia, agrafia, acalculia, agnosia táctil y confusión derecha-izquierda (Ostrosky-Solis & Ardila, 1986) (Singh-Curry & Husain, 2009).

El lóbulo frontal está formado por las áreas motoras, premotoras y prefrontal. En la corteza motora (área 4 de Brodmann) se encuentra el homúnculo motor, que es la representación somatotópica del hemicuerpo contralateral. Si se estimula produce movimientos aislados en el lado opuesto del cuerpo y contracción de grupos musculares relacionados con la ejecución de un movimiento específico. Las áreas del cuerpo están representadas en forma invertida en la circunvolución precentral. Comenzando desde abajo hacia arriba: deglución, lengua, maxilares, labios, laringe, párpado y cejas, dedos, manos, muñeca, codo, hombro y tronco etc. La función del área motora primaria consiste en llevar a cabo los movimientos individuales de diferentes partes del cuerpo. Como ayuda para esta función recibe numerosas fibras aferentes desde el área premotora, la corteza sensitiva, el tálamo, el cerebelo y los ganglios basales. La corteza motora primaria no es responsable del diseño del patrón de movimiento sino la estación final para la conversión del diseño en la ejecución del movimiento (Zaidat & Lerner, 2003). **El área motora suplementaria** (área 6) es una de las regiones que juega un papel importante en la planeación, inicio y preparación del movimiento. Está localizada en la cara medial, anterior a la región de la corteza motora primaria de cada hemisferio (en la fisura longitudinal), y se conecta al área motora primaria de una forma topográfica, también es llamada área premotora no solo por la descripción de su posición sino también por su papel al enviar órdenes al área motora, haciendo esta área prioritaria para los cambios en los comandos. Cada área motora suplementaria (AMS) proyecta de manera ipsilateral y contralateral a la corteza motora, y a la AMS contralateral; se sugiere que la conexión entre estas áreas es de importancia en la organización de ejecuciones secuenciales de múltiples conjuntos de movimientos de las extremidades superiores (Babiloni & Caducci, 2003). También se describe que existe un cambio sistemático en la activación de la AMS cuando los movimientos se planean, es decir la actividad se genera antes de la iniciación de la acción. **Los campos visuales frontales** son regiones localizadas en los lóbulos frontales, juegan un papel muy importante en los movimientos voluntarios, está localizada de manera anterior AMS y de forma dorsal al área de Broca; y la función que desempeña es la de dirigir los movimientos voluntarios de los ojos, estos movimientos difieren de los movimientos reflejos que ocurren cuando un estímulo dirige la atención de una persona a un punto particular en el espacio, estos movimientos reflejos están bajo el control del colículo superior; y los movimientos voluntarios son programados por el individuo, como cuando se busca una cara conocida; otra de sus funciones es la de los movimientos oculares laterales (MOL) medidas que han sido utilizadas como índice de actividad hemisférica; el campo frontal derecho controla el lado izquierdo, y el campo frontal izquierdo controla la dirección derecha (Banich, 1997).

La corteza cingulada anterior ha sido implicada en el control de los movimientos motores, especialmente cuando son nuevos o requieren mucho control cognitivo. Esta localizada por debajo del surco cingulado, sobre el cuerpo caloso. Esta estructura parece que no solo está involucrada en los movimientos motores, sino también en la planeación, también ha sido relacionado con funciones de modulación y filtro de comandos motores, jugando un papel en la liga de comportamiento motor y cognitivo, especialmente cuando esta liga es por novedad o por un nuevo aprendizaje (Paus, et al., 1933). La lesión en esta zona interfiere con la función motora, y la actividad paroxística en esta región genera episodios de epilepsia con actividad motora.

Ya establecimos que la motricidad es un proceso complejo y que involucra una gran cantidad de estructuras para su ejecución. Sin embargo la definición de movimiento complejo habla de acciones almacenadas, es decir de representaciones, por lo tanto el estudio del movimiento complejo debe tener en cuenta que se trata de un proceso cognitivo.

b) La motricidad como proceso cognitivo

Para estudiar el movimiento complejo, es necesario entenderlo como un proceso cognitivo de orden superior, evaluando el plan de acción o programa motor implícitos. Este programa motor es una representación abstracta de un movimiento intencionado, el cual debe contener información general sobre la meta, la serie de movimientos que es necesario almacenar e información específica sobre el control neuromuscular que permite que la meta sea alcanzada (Keele, 1968). Se asume que el plan es un tipo de proposición, en tal caso, este programa debe contener qué se va a mover, el orden del movimiento, la dirección, el tiempo y la fuerza (Wright, 1990).

Jeannerod (2001) propone el estudio de la cognición motora a través de los “estados encubiertos” de las acciones. Este estado encubierto es la representación de la acción motora en el futuro, la cual incluye la meta de la acción, los medios para alcanzarla, y las consecuencias para el organismo respecto al mundo exterior. El autor utiliza el término “estado S” para designar los estados mentales que involucran el contenido de la acción y la actividad cerebral que simula estas acciones, estudiados mediante neuroimagen, y pidiendo al sujeto que imagine un movimiento o lo observe. Este tipo de técnicas proporcionan una ventana para la observación del proceso neural de la ejecución de acciones (Munzert, Lorey, & Zentgraf, 2009).

c) Programación del movimiento

Para la ejecución de la actividad motora compleja el cerebro requiere de una programación, atribuida al hemisferio izquierdo, el cual selecciona objetivos y estrategias motoras que deben ser seguidas por ambas partes del cuerpo. Esta programación se divide en 2: la programación de objetivo y la programación de la ejecución misma (Buxbaum, Frey, & Bartlett-Williams, 2005; Sabaté, González, & Rodríguez, 2004). Wheaton, Fridman, Bohlhalter, Vorbach y Hallett (2009), basados en

resultados con EEG cuantitativo, PRE y DRE, proponen una segunda clasificación de programación para la generación de actividad motora: la programación del objetivo (planeación /preparación); la programación de ejecución (la ejecución misma) y la programación de inhibición (supresión de movimientos incorrectos o tipos de movimientos inválidos. A partir de lo anterior los autores proponen que existen redes neurales que integran las actividades relacionadas con varios aspectos de la planificación de una tarea motora compleja.

d) Tipos de movimiento complejo

Los movimientos complejos de las manos ejecutado por humanos son llamados praxias. *Por su tipo* estos movimientos complejos son clasificados en transitivos e intransitivos; los primeros incluyen las acciones del uso de herramientas y los segundos los gestos de comunicación (Wheaton et al., 2009). Ambos tipos de movimiento se evalúan mediante gestos simbólicos realizados con una extremidad. En el caso de los movimientos intransitivos solicitando la realización de gestos de comunicación principalmente y en el caso de los movimientos transitivos mediante órdenes que implican la realización de una mímica de uso de objetos (Peña-Casanova, Gramunt, & Gich, 2004).

Aún no se ha podido determinar si existen mecanismos neurales especializados en las acciones transitivas e intransitivas. Sin embargo, se propone que las acciones que involucran herramientas (transitivas) requieren de una demanda neurocognitiva mayor, ya que son intrínsecamente más complejas debido a su asociación con la representación de objetos (Buxbaum, 2001), a diferencia de los gestos comunicativos (intransitivos), que pueden ser influidos por factores como la familiaridad (Carmo & Rumiaty, 2009).

e) Componentes del movimiento complejo

Tanto los movimientos transitivos como intransitivos contienen componentes específicos del programa motor (Grieve, 2000), los cuales se dividen en a) componente de contenido, b) componente temporal y c) componente espacial. Estos han sido estudiados de forma comportamental por el tipo de error que los caracteriza tanto en población clínica (Hanna-Pladdy et al., 2001) como en sujetos sanos (Carmo & Rumiaty, 2009), los errores estudiados en el cada uno de los componentes representan las unidades mínimas de información necesaria para llevar a cabo el proceso del

movimiento complejo. A continuación se ofrece una descripción de el tipo de error que se califica en cada componente:

a) Componente temporal

- Errores secuenciales. Incluyen añadir, olvidar o cambiar el orden de movimientos de una secuencia determinada.
- Errores temporales. Alteración del tiempo necesario para realizar una acción, ya sea por exceso, por defecto o alguna irregularidad en el tiempo de ejecución.
- Errores de ocurrencia. Este error refleja cualquier multiplicación de un movimiento simple, o la reducción a un solo evento en un ciclo repetitivo.

Existen reportes de la alteración del componente temporal en pacientes con daño unilateral izquierdo y derecho, en donde la velocidad de los movimientos se ve igualmente afectada. Sin embargo, los pacientes con daño derecho ejecutan las tareas más rápido que sus controles a pesar de cometer un mayor número de errores, sugiriendo en los primeros una incapacidad de ajustar el tiempo requerido para realizar la tarea (Yelnik et al., 1996). Las alteraciones del tiempo en la realización de pantomimas y la tasa irregular de la producción de movimientos también han sido encontradas en lesiones focales derechas (Hanna-Pladdy et al., 2001). Estos cambios en la velocidad también se han observado en tareas de imaginación, en donde existe un enlentecimiento de los movimientos reales e imaginados después de un evento vascular cerebral: pacientes con lesiones izquierdas muestran decremento en la velocidad en ambas manos y pacientes con lesiones derechas sólo en la mano izquierda (Munzert et al., 2009; Sabaté et al., 2004).

b) Componente espacial

- Errores de amplitud. Amplificación, reducción o irregularidad de la amplitud de la mímica del movimiento.
- Errores de configuración interna. Los errores reflejan cualquier anomalía de la mano o los dedos respecto del uso de la herramienta. Por ejemplo cuando se pide a alguien que imite el cepillado de dientes y al cerrar herméticamente el puño, no se permite el espacio con el cual se pueda maniobrar con el cepillo.
- Errores de configuración externa. Implican orientar inadecuadamente el objeto o situar erróneamente el objeto en el espacio. Continuando con el ejemplo del

cepillado de dientes, el error podría ser que el sujeto sostuviera su mano cerca de su boca pero sin la distancia necesaria para acomodar el cepillo.

- Error por utilización del cuerpo como objeto. El sujeto utiliza los dedos, la mano o el brazo como si fuera la herramienta con la que debe realizar la acción. Un ejemplo de un error de este tipo se da cuando se pide al sujeto realizar la pantomima de fumar un cigarrillo y toma una bocanada de su dedo índice.

Palermo, Bureca, Matano y Guariglia (2008) estudiaron la participación del hemisferio izquierdo y derecho en el procesamiento de las relaciones espaciales al evaluar la ejecución de pacientes con daño unilateral derecho e izquierdo en una tarea de clasificación de características espaciales. Sus datos sugieren que el hemisferio derecho está involucrado en el procesamiento de características topográficas y métricas de la amplitud (como *cerca de*, *lejos de*), mientras que el hemisferio izquierdo procesa características espaciales enfocadas a los objetos (como *dentro* y *fuera*). Por su parte, los componentes de configuración interna y externa han demostrado patrones de lateralización, en donde los pacientes con lesiones izquierdas muestran dificultades en los juicios espaciales de ambos tipos de configuración, mientras que pacientes derechos fallan de manera específica en la configuración interna (Iachini et al., 2009).

c) Componente de contenido

- Errores de perseveración. Se da cuando el sujeto realiza una respuesta que incluye toda o parte de la mímica realizada anteriormente.
- Errores relacionados con el movimiento. Se produce cuando el error involucra cierta precisión con respecto a la meta. Por ejemplo se pide realizar la pantomima sobre tocar un trombón y el sujeto toca una corneta.
- Errores manuales o no relacionados con el contenido. El sujeto imita la acción sin la intención real de la orden o sin la implicación de la herramienta correcta. Ejemplo se pide al sujeto tocar la guitarra y él realiza una pantomima sobre peinarse.

De Renzi y Lucchelli (1988) reportaron que pacientes con apraxia ideomotora producida por una lesiones unilaterales izquierdas cometen una mayor cantidad de errores de contenido, en comparación con pacientes con daño derecho. Existen reportes en donde pacientes con daño unilateral derecho e izquierdo no muestran diferencias en

errores como la perseveración en la realización de movimientos transitivos e intransitivos (Hanna-Pladdy et al., 2001). Sin embargo Weiss, Dohle, Binkofsky, Shinitzler, Freund y Hefter (2001) encontraron un mayor número de errores de perseveración en pacientes con daño izquierdo en la realización de secuencias de movimientos complejos.

Las alteraciones encontradas en los tipos de movimiento y sus componentes como resultado de una lesión cerebral ya han sido descritas en la Neuropsicología y constituyen un síndrome neuropsicológico conocido como apraxia.

f) Alteraciones del movimiento complejo: las apraxias

Las alteraciones adquiridas del movimiento complejo son llamadas apraxias. En su definición, la apraxia es una discapacidad en la producción de movimientos especializados de las extremidades que no son causadas por anormalidades motoras, sensoriales o cognitivas y están asociadas típicamente con lesiones del hemisferio izquierdo (Geschwind & Galaburda, 1975).

Aunque el término apraxia ha sido utilizado para describir una gran cantidad de fenómenos que involucran distintas funciones o diferentes partes del cuerpo (apraxia de construcción, del vestir, bucolingual, del andar, etc.), existen seis tipos reconocidos de apraxia que involucran los miembros superiores del cuerpo; y aunque la definición aún se encuentra en un debate considerable, los déficits son clasificados en los siguientes tipos: apraxia cinética, conceptual, disociación verbal-motora, apraxia táctil, apraxia ideomotora y apraxia ideacional (Wheaton & Hallet, 2007).

La apraxia en sus diferentes modalidades puede ser encontrada en muchas poblaciones clínicas, se observa comúnmente en pacientes con EVC en el hemisferio izquierdo, condiciones como la Degeneración Corticobasal (DC), la enfermedad de Parkinson, la enfermedad de Alzheimer, la parálisis supra-nuclear progresiva y la enfermedad de Huntington (Wheaton & Hallet, 2007).

Los estudios reportados con pacientes neurológicos sugieren que la programación de distintos aspectos de las praxias pueden estar mediados por áreas anatómicas distintas. Los pacientes con DC, por ejemplo, muestran fallas de tipo temporal y de configuración

interna y externa en el movimiento, pero conservan las características de amplitud y una correcta ejecución en la manipulación de herramientas, mientras que los pacientes apráxicos por EVC en el lóbulo parietal muestran fallas en la representación del uso de herramientas. La apraxia encontrada en los pacientes con DC se explica por el tipo de conexión que existe entre los ganglios basales y la corteza premotora, la degeneración en este sistema puede ser la causa del déficit (Merians et al., 1999).

III. EVIDENCIA SOBRE LA LATERALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO

Está bien establecido que la selección de patrones motores es generalmente programado en el hemisferio izquierdo, el cual selecciona los objetivos y las estrategias motoras que deberán de ser seguidas por ambas partes del cuerpo. Esto ha quedado demostrado por la activación selectiva de la corteza parietal izquierda en tareas motoras, independientemente de la mano utilizada para la ejecución (Schluter, M.Krams, Rushworth, & Passingham, 2001), y es compatible con el hecho de que las lesiones unilaterales izquierdas pueden inducir apraxias bilaterales. Existe evidencia que sugiere que la lesión del hemisferio izquierdo decrementa la velocidad de movimientos en ambas manos, mientras que la lesión derecha sólo afecta la velocidad de movimiento de lado ipsilateral (Sabaté et al., 2004). Estos datos muestran la dominancia del hemisferio izquierdo para la planeación de secuencias complejas de movimiento y la especialización hemisférica de la planeación motora, al parecer estas características pueden ser la base de la asimetría comportamental para los movimientos (Sabaté et al., 2004).

Existen estudios con neuroimagen que apoyan la idea de la lateralización izquierda de la actividad motora, los cuales sugieren que la corteza premotora (CPM) izquierda tiene influencia sobre su homóloga derecha durante la realización de una tarea de movimientos bimanuales. También se reporta que el área motora suplementaria (AMS) izquierda, vermis y cerebelo (izquierdo y derecho) y la CPM derecha están conectadas de forma significativa para la realización de movimientos articulados y secuenciales (Gao et al., 2008).

Sin embargo, existen reportes de pacientes que presentan apraxia seguido de una lesión en el hemisferio derecho. En estas “apraxias cruzadas” los individuos presentan apraxia de las extremidades superiores debido a una lesión derecha, y muestran un desempeño similar a los pacientes con lesiones izquierdas, esto es, mejor desempeño en la comprensión de gestos en comparación con su producción, y mejor rendimiento en la producción de movimientos intransitivos que transitivos (Raymer et al., 1999). La mejor ejecución con los gestos intransitivos es consistente con la propuesta de la representación bilateral de estos movimientos (Rapcsak, Ochipa, Beeson, & Rubens, 1993).

Munzert, Lorey y Zentgraf (2009) presentan una revisión (Tabla 5) sobre el estudio del proceso cognitivo motor con la técnica de imaginería (que se refiere al uso de la información almacenada en la memoria de largo plazo, para simular un proceso de percepción determinado en ausencia de estímulos externos (Munzert et al., 2009)), en donde puede observarse que existe lateralización de la actividad cerebral para distintas tareas motrices.

Tabla 5.
Estudio del proceso cognitivo motor en estudios con imaginería (Munzert et al., 2009).

Autor	Tareas	Método	Resultados Específicos
Beisteiner et al. 1995	Presión de botón, con ambos dedos índices	EEG	Lateralización de la actividad de la corteza motora
Lang et al 1996	Movimiento de manos	EEG	Lateralización de la actividad de M1 (en 4 de los 6 participantes)
Lotze et al 1999	Movimiento de las manos derecha e izquierda	IRMf	Lateralización de M1 en la ejecución motora
Fadiga et al 1999.	Secuencia de movimientos de los dedos	PEM	Estimulación de M1 izquierda revela la facilitación de PEMs en el lado contralateral, la estimulación de M1 izquierda facilita PEMs contralaterales e ipsilaterales
Ruby and Decety 2001	Instrucciones verbales o visuales para la manipulación de objetos	IRMf	Activación de M1 izquierda en la perspectiva de primera y tercera persona, y actividad de S1 izquierda en contraste de la perspectiva de la primera a la tercera persona
Cramer et al 2005.	Imaginar e intentar una flexión en la planta de pie derecho	IRMf	Activación de la S1 para el intento comparado con el movimiento imaginado: fuerte activación de giro derecho precentral para el movimiento imaginado vs el intento
Stinear et al 2006	Movimientos unimanuales y bimanuales	IRMf	Facilitación de la M1 dominante para mano izquierda y derecha, y para los movimientos bimanuales
Mercier et al 2008	Unión del pulgar con el dedo pequeño	PEM	M1 del dedo índice izquierdo modula los MEPs de los dedos derechos e izquierdos

Nota: M1: Corteza primaria motora S1: Corteza primaria somatosensorial.

EEG: Electroencefalograma; fMRI: Resonancia magnética funcional; PEMs: Potenciales Evocados Motores.

Como se observa en la revisión de estos hallazgos, el consenso general propone una especialización izquierda para la planeación y ejecución de movimientos, sin embargo, se siguen hallando datos que involucran al hemisferio derecho en las praxias.

Se ha hipotetizado que el hemisferio derecho juega un papel importante en la imitación de gestos poco familiares, lo que representa una respuesta al grado de automaticidad en la ejecución de una tarea y una contribución parcial en el control de las tareas motoras, específicamente en la imitación (Rumiati, 2000). También se ha encontrado activación (con técnica de PET) en el lóbulo parietal derecho (área 40 y corteza intraparietal) cuando el sujeto se orienta espacialmente para la realización de un movimiento, así mismo se observa que la activación de la corteza intraparietal izquierda cuando los sujetos preparan el movimiento en un tiempo específico (Schluter et al., 2001).

Existen trabajos que han estudiado la participación de cada hemisferio en los componentes del movimiento. Hanna-Pladdy (2001) reporta el rol dominante del hemisferio izquierdo para praxias, pero también advierte la potencial representación bilateral de éstas por el número significativo de errores de tiempo y configuración externa que muestran los pacientes con daño derecho. Estos datos apoyan la noción de que los movimientos complejos son mediados y distribuidos por una red modular en el hemisferio izquierdo, sin embargo algunos aspectos, tales como el tiempo y la representación extrapersonal de las habilidades aprendidas, pueden ser procesadas por el hemisferio derecho.

Actualmente los reportes comportamentales de corte neuropsicológico sobre el papel que juega cada hemisferio en la realización de distintos tipos de movimiento y sus componentes son escasos (Buxbaum et al., 2000; Hanna-Plady et al 2001; Carmo & Rumiati, 2009) . Sin embargo, la aproximación de este tipo debe ser estudiada con consistencia para comprobar la existencia de lateralización funcional del movimiento complejo.

IV. MÉTODO

Planteamiento del problema

Las apraxias son alteraciones del movimiento complejo que pueden resultar de lesiones en regiones cerebrales distintas tanto a nivel intra como inter-hemisférico. Actualmente existe controversia sobre el papel que juega cada hemisferio en la producción del movimiento complejo, tanto en la realización de distintos tipos de movimiento, como en la contribución especializada para sus componentes específicos.

Justificación

El estudio de la lateralización resulta relevante porque nos permite conocer la distribución de las funciones cerebrales complejas, permitiendo analizar cómo éstas se programan, ejecutan e interactúan entre sí. Desde el punto de vista teórico, este estudio contribuirá a conocer la distribución neurocognitiva del tipo de movimiento complejo y sus componentes específicos.

Desde el punto de vista clínico, la información proporcionada sobre la representación de los tipos y componentes de la motricidad compleja puede facilitar un mejor diagnóstico neuropsicológico y contribuirá para el desarrollo de estrategias de neurorehabilitación para la recuperación o compensación de las funciones motoras después de la lesión cerebral.

Objetivo General

Describir la lateralización cerebral del tipo y de los componentes del movimiento complejo desde una perspectiva neuropsicológica en pacientes con EVC, con el fin de determinar cual es la participación de cada uno de los hemisferio en la realización del MC.

Objetivos específicos

- Comparar la ejecución de los tipos de movimiento complejo (transitivos e intransitivos) en pacientes con lesión cerebrovascular unilateral derecha e izquierda mediante una prueba para la evaluación de las apraxias.

- Comparar la ejecución de los componentes específicos del movimiento complejo (espacio, tiempo y contenido) en pacientes con lesión cerebrovascular unilateral derecha e izquierda mediante una prueba para la evaluación de las apraxias.

Hipótesis

- Los pacientes con lesión unilateral izquierda mostrarán una ejecución distinta a los pacientes con lesión unilateral derecha para los tipos de movimiento complejo (transitivos e intransitivos).
- Los pacientes con lesión unilateral izquierda mostrarán una ejecución distinta a los pacientes con lesión unilateral derecha en los componentes del movimiento complejo (tiempo, espacio y contenido).

Variables

- Variable independiente: daño cerebral unilateral causado por evento vascular cerebral (EVC).
 - Definición conceptual: Inicio súbito de déficit neurológico asociado con la hipoperfusión de una región específica del cerebro, debida a isquemia cerebral aguda, a su vez consecuencia de la trombosis o embolismo de una arteria cerebral, (Novelline, 2003) afectando un solo hemisferio.
- Variables dependientes: tipo (transitivo e intransitivo) y componentes (espacial, temporal y contenido) del movimiento complejo.
 - Definición conceptual:
 - Movimientos transitivos: pantomimas del uso de herramientas.
 - Movimientos intransitivos: gestos de comunicación.

Los componentes se definen por su tipo de error:

- a) Componente temporal: errores secuenciales, temporales y de ocurrencia.
- b) Componente espacial: amplitud, configuración interna, configuración externa y uso del cuerpo como objeto.
- c) Componente de contenido: perseveraciones, errores relacionados y errores no relacionados con el contenido.

Tipo de estudio

Descriptivo, cuasi-experimental, transversal.

Población y Muestra

La muestra en esta investigación se selecciono de acuerdo con lo descrito por Gazzaniga (1998) para el estudio de los procesos de lateralización, se selecciono de forma especifica una población clínica que presentará una lesión circunscrita a un solo hemisferio. La muestra de pacientes fue captada de la Clínica Vasculardel Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez (INNNMVS). Se evaluó un total de 32 pacientes: 17 con EVC en hemisferio izquierdo y 15 con EVC en hemisferio derecho, detectados por un neurólogo y con base en una imagen por resonancia magnética (IRM). En la Tabla 8 se describen los sitios de lesión para pacientes con lesión izquierda (6 corticales y 8 subcorticales) y derecha (3 corticales y 9 subcorticales). Adicionalmente se estudió un grupo control, integrado por 16 sujetos sanos sin ningún diagnóstico ni antecedentes de tipo neurológico o psiquiátrico, igualados en edad y escolaridad con los dos grupos de pacientes.

Tabla 8.
Áreas del Sistema Nervioso que resultaron dañadas por el EVC en la población clínica.

Localización	Izquierdo	Derecho	Total
Hemisférico	1	2	3
Lóbulo parietal	1	0	1
Insular/opercular	1	0	1
Lóbulo occipital	1	0	1
Lóbulo temporal	1	0	1
Tálamo	3	2	5
Cápsula interna/corona radiada	1	2	3
Cerebelo	2	1	3
Frontal/parietal	0	1	1
Ganglios basales/cápsula interna	1	1	2
Cuerpo calloso	1	0	1
Puente	1	3	4

Criterios de inclusión en los pacientes:

- Hombres y mujeres en un rango de edad de 18 a 65 años, diestros, que supieran leer y escribir y que presentaran un EVC lateralizado de tipo isquémico con una evolución del evento no mayor a 6 meses.

Criterios de inclusión en controles:

- Hombres y mujeres en un rango de edad de 18 a 65 años, diestros, que supieran leer y escribir, y que no contaran con antecedentes de enfermedades neurológicas o psiquiátricas.

Criterios de exclusión en pacientes:

- Pacientes con evidencia de un daño bilateral, dos o más EVC, etiología neoplásica o traumática.
- Presencia de afasia global o deterioro visoespacial severo en la evaluación neuropsicológica.
- Antecedentes de abuso de alcohol o drogas como parte de su historia médica.

Criterios de exclusión en controles:

- Abuso de alcohol y/o drogas.
- Impedimento sensorial o motor que obstaculice la ejecución de las pruebas.
- Presencia de afasia global o deterioro visoespacial severo en la evaluación neuropsicológica.

Criterios de eliminación en todos los grupos:

Abandono del estudio por parte del participante.

Instrumentos

Los primeros tres instrumentos fueron usados para satisfacer criterios de la definición teórica de apraxia, la cual explica que para el estudio de este síndrome es necesario establecer que el déficit en los movimientos no es causado por un compromiso cognitivo, visoespacial o afásico.

- *Minimal State Examination* (Mini-examen del estado Mental, MMSE) (Folstein & Folstein, 1975) Es un instrumento que evalúa de forma breve las capacidades cognitivas. La valoración incluye orientación temporal y espacial, atención, cálculo, memoria (codificación y evocación), lenguaje y praxis constructiva. Su tiempo de administración es de 10 minutos y su puntuación máxima es de 30 puntos. A menor puntuación, mayor alteración.
- Test de Boston para el diagnóstico de la Afasia (subtest de comprensión versión abreviada) (Goodglass, Kaplan, & Barresi, 1996). El objetivo de este test es la valoración de la capacidad del lenguaje en pacientes afásicos. La evaluación consiste en la comprensión de palabras, órdenes, material verbal complejo y procesamiento sintáctico. La comprensión se evalúa mediante láminas con dibujos y se instruye al paciente para que señale aquel correspondiente a la

palabra que se le diga, se le da 1 punto por ítem si la respuesta es correcta antes de 5 segundos y 1/2 punto si necesita más tiempo. Puntuación máxima de 14 puntos. Las órdenes se evalúan con 3 enunciados y se califica 1 punto por cada elemento que acierte con un máximo de 10 puntos. Para evaluar el material verbal complejo se dan seis pares de preguntas una para contestar “sí” y una para contestar “no”, se da un punto por cada par numerado si se contesta bien a ambas preguntas. El máximo puntaje en esta prueba es de 30 aciertos.

- Prueba viso espacial. – MVPT Motor Free Visual Perception Test (Calarusso & Hammill, 1972). Se utiliza para medir la percepción visual, contiene 36 ítems de opción múltiple y evalúa cinco tipos de habilidades de percepción: discriminación visual, discriminación figura-fondo, relaciones espaciales, cierre visual y memoria visual. Los sujetos responden indicando cuál de las cuatro opciones que se le presentan se igualan con el estímulo blanco. Se califica como correcto o incorrecto y se otorga un punto por cada ítem correcto. El rango total va de 0 a 36, donde puntuaciones altas reflejan menos déficit en la percepción visual. Se han reportado datos en población clínica de EVC en donde la media de respuestas correctas en pacientes considerados funcionales es de 25 ítems (Su, et al., 2000).

El último instrumento cumplió con el objetivo de la investigación al explorar las alteraciones de los tipos y componentes de movimiento complejo.

- Test Cribado de Apraxia de Florida (FAST-R) (Rothi, Mack, Verfaellie, & Brown, 1988). Contiene 30 ítems para la realización de gestos a la orden verbal; todos relacionados con movimientos de la mano y el brazo y pueden ser realizados con una sola mano. Los ítems incluyen 20 pantomimas transitivas (órdenes que implican la realización de la mímica de uso de objetos, praxis ideatoria en su concepción) y 10 intransitivas (gestos simbólicos realizados con una extremidad, sin implicación de objetos, praxis ideomotora en su concepción), por lo que permite valorar la ejecución según el tipo de movimiento complejo. El paciente utiliza el brazo y/o mano dominante para producir las respuestas gestuales a la orden verbal y en caso de lesión realiza los gestos con la mano no dominante. La prueba distingue entre los 3 tipos de errores: tiempo, espacio y contenido para cada movimiento.

El tiempo de administración es de 10 a 15 minutos, pero puede variar de acuerdo al paciente. La puntuación máxima es de 30 puntos, se otorga 1 punto por cada ítem realizado de forma incorrecta; el punto de corte es 15 para considerar apraxia. Para cada uno de los ítems (30 en total) se califica los componentes de tiempo, espacio y contenido por su tipo de error y se indica un punto por cada error cometido.

Errores de contenido:

- Perseverantes: Se da cuando el sujeto realiza una respuesta que incluye todo o parte de la mímica realizada anteriormente.
- Relacionados: La mímica está relacionada con la orden. Se produce cuando el error involucra falta de precisión con respecto a la meta. Ejemplo: Se pide realizar una pantomima sobre tocar un trombón, y el sujeto imita tocar una corneta.
- Manuales o no relacionados con el contenido: El sujeto realiza la acción sin la intención real de la orden o sin la implicación de la herramienta correcta. Ejemplo: Se pide al sujeto una pantomima sobre tocar la guitarra y él realiza una pantomima sobre peinarse.

Errores temporales:

- Secuenciales: Incluyen añadir, olvidar o cambiar el orden de una secuencia determinada de movimientos. Globalmente la mímica de la acción mantiene sentido con la orden.
- Temporales: Alteración del tiempo necesario para realizar una acción, ya sea por exceso, por defecto o alguna irregularidad en el tiempo de ejecución.
- Ocurrencia: Este error refleja cualquier multiplicación de un movimiento simple o la reducción a un solo evento en un ciclo repetitivo.

Errores espaciales:

- Amplitud: Amplificación, reducción o irregularidad de la amplitud de la mímica del movimiento.
- Configuración interna: Los errores reflejan cualquier anomalía de la mano o los dedos respecto del uso de la herramienta. Ejemplo: cuando se

- pide a alguien que cepille sus dientes y cierra herméticamente el puño, no permitiendo el espacio con el cual se pueda maniobrar con el objeto.
- Configuración externa: Alteración de la correcta disposición espacial de los dedos, la mano, el brazo y la herramienta en relación con el objeto externo que debe de recibir la acción. Los errores de este tipo involucran orientar el objeto o situar el objeto en el espacio. Ejemplo: Cuando a un sujeto se le pide cepillar sus dientes y sostiene su mano cerca de su boca pero sin la distancia necesaria para acomodar el cepillo de dientes.
 - Utilización del cuerpo como objeto: El sujeto utiliza los dedos, la mano o el brazo como si fuera la herramienta con la que debe realizar la acción. Un ejemplo de un error de este tipo se da cuando se pide al sujeto realizar la pantomima de fumar un cigarrillo y toma una bocanada de su dedo índice.

Procedimiento

Se revisó un total de 90 expedientes de pacientes con EVC que acudieron a la consulta externa o al servicio de urgencias en el periodo de tiempo de marzo-agosto del 2010. De la consulta del expediente se seleccionaron 32 sujetos que presentaban un evento isquémico lateralizado y que cumplían con los criterios de edad requeridos para la investigación. Los sujetos control fueron invitados a participar en el estudio tratando de igualar la edad y la escolaridad de los pacientes.

Tras ponerse en contacto con ellos y fijar una cita, se entregó a los pacientes y controles un consentimiento informado, en el que se especificaba que la participación era confidencial, voluntaria, no remunerada y que se otorgaba el consentimiento para ser videograbado durante la realización de la prueba de apraxia con el fin de ser calificada posteriormente.

La evaluación se llevó a cabo en una sala libre de distracción, en una sola sesión con una duración de 30 a 40 minutos aproximadamente. Se aplicó un cuestionario para obtener los datos sobre edad, género, escolaridad y antecedentes ocupacionales. Posteriormente se aplicó el MMSE, Boston y el MVPT con la finalidad de descartar deterioro cognitivo severo, afasia global y alteraciones visoespaciales, en cuyo caso el participante fue eliminado de la muestra. El FAST-R, cuya ejecución fue videograbada, se administró al final. Previo a la aplicación del FAST-R se realizaron ensayos de

entrenamiento, ya que no es extraño observar errores en sujetos sin lesiones cerebrales por vergüenza, falta de esfuerzo, etc.

El video del FAST-R fue calificado posteriormente por 2 neuropsicólogos del Departamento de Neuropsicología del INNNMVS con la finalidad de obtener un índice de acuerdo inter-jueces para la validación de los datos obtenidos en esta prueba.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo análisis descriptivos (medias, desviaciones estándar, porcentajes y frecuencias) para los datos sociodemográficos de la muestra. Estos datos se compararon entre los grupos mediante la prueba de Kruskal- Wallis para datos continuos y Chi cuadrada para datos categóricos. Para conocer las diferencias entre tipos y componentes del movimiento complejo se realizaron por separado ANOVAs de una vía con la prueba de Tukey como análisis posthoc. Adicionalmente se realizaron ANOVAs para errores específicos en el caso de que los análisis de los componentes resultaran estadísticamente significativos. El nivel de significancia se estableció en 0.05, y todos los análisis se realizaron con el programa SPSS versión 17.0.

V. RESULTADOS

Características sociodemográficas

La muestra original estuvo conformada por 32 pacientes con EVC lateralizado y 16 sujetos control. Se eliminaron 6 pacientes por criterios de exclusión. La muestra final se conformó de 26 pacientes: 15 hombres (58%), 11 mujeres (42%) y 16 sujetos control: 9 hombres (56%) y 7 mujeres (44%), cuyas características de género (Tabla 6), edad y escolaridad (Tabla 7) se describen a continuación:

Tabla 6.

Distribución de género en los tres grupos evento vascular cerebral, izquierdo, derecho y control. Valores de χ^2 (Chi cuadrada) y de P (significancia).

Género	Hombres	Mujeres	χ^2	P
Izquierdo	8	6	0.01	0.9
Derecho	7	5		
Control	9	7		

Tabla 7.

Media, Desviación Estándar (D.E.), Valores Mínimos y Máximos, Valor de Kruskal-Wallis (K.W) y significancia (P) para los datos de edad y años de escolaridad en de los tres grupos evento vascular cerebral, izquierdo, derecho y control.

	Media	D.E	Mín.	Máx.	K.W	P
Edad						
Izquierdo	47.0	12.2	19	63	0.6	0.7
Derecho	49.1	8.7	34	60		
Control	46.8	7.9	32	61		
Escolaridad						
Izquierdo	9.6	5.1	3	20	1.1	0.5
Derecho	10.7	3.3	6	16		
Control	10.0	4.2	3	18		

No se observaron diferencias significativas entre los grupos por género, edad y escolaridad, siendo la media de edad para los tres grupos de 47.5 ± 9.5 años y una media de escolaridad de 10.0 ± 4.2 años.

Características de la muestra clínica

Los 26 pacientes de la muestra final sufrieron de un EVC lateralizado del tipo isquémico. El tiempo de evolución del evento fue de 2 a 6 meses, la media de evolución para los pacientes izquierdos fue de 3.5 ± 1.0 meses y para los pacientes derechos 3.8 ± 1.4 meses. No se observaron diferencias significativas para los meses de evolución ($t = 0.7$, $p=0.5$).

Pruebas filtro.

Con el fin de descartar el compromiso cognitivo, o la alteración severa de lenguaje y habilidades visoespaciales se utilizaron las pruebas MMSE, Boston y MVPT respectivamente. Se realizó una ANOVA de un factor para comparar las ejecuciones de los pacientes y los controles en estas pruebas y posteriormente se realizó un análisis post-hoc de Tukey para valorar las diferencias específicas entre cada grupo, esto se encuentra resumido en la Tabla 9.

Tabla 9.

Comparación de Medias y desviación estándar (D.E) de los grupos con lesión izquierda, derecha y controles para las pruebas selección o filtro, valores de F y P; Resultado del Análisis post-hoc que indica la diferencia entre grupos, valores de diferencia de medias (D.M) y P

	Media	D.E	F	P	Análisis Post-hoc	
MMSE					LI y C	DM= 2.2 , p=0.04
Izquierdo	25.9	3.6	3.3	0.047*	LD y C	DM=1.3, p=0.31
Derecho	26.8	1.9				
Control	28.2	1.7				
Boston					LI y C	DM= 2.2, p=0.004
Izquierdo	27.3	2.7	5.9	0.006*	LD y C	DM=1.2, p=0.18
Derecho	28.3	1.6				
Control	28.6	0.5				
MVPT					LI y C	DM= 3.1, p=0.020
Izquierdo	28.9	4.2	4.0	0.025*	LD y C	DM=1.1, p=0.57
Derecho	30.8	2.7				
Control	32.0	1.7				

En la ejecución del pruebas control se observó diferencias significativas entre los pacientes con lesión izquierda y los controles (MMSE, DM= 2.2, $p=0.04$; Boston,

DM=2.277, p=0.004; MVPT, DM=3.1, p= 0.02). Pero no se encontraron diferencias significativas entre los pacientes con lesiones derechas y controles. No existen diferencias significativas entre los pacientes con lesión derecha e izquierda en ninguna de las pruebas control.

FAST

Con el fin de determinar el valor de la concordancia inter-evaluador en la prueba de FAST-R se realizó el análisis de Cohen-Kappa por cada ítem de la prueba en donde el valor mínimo de concordancia fue 0.682 y el valor máximo de 1, en todos los ítems la significancia fue $P \leq 0.001$. Existe un nivel alto de acuerdo para las observaciones realizadas en el video de FAST, lo cual otorga validez a la calificación de la prueba de apraxias.

Movimientos transitivos e intransitivos.

De los 26 pacientes evaluados, 9 obtuvieron puntuaciones totales en el FAST ≥ 15 , lo que los califica como pacientes apráxicos; 5 de ellos sufrieron de EVC derecho y 4 izquierdo, sin diferencia significativa entre los grupos ($\chi^2=2.4$, p=0.11). La ejecución de los 26 pacientes evaluados en la prueba FAST se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Media de errores y desviación estándar (D.E) para movimientos transitivos, intransitivos y total de la prueba FAST de EVC izquierdos, derechos y controles. Valores de F y P.

	Media	D.E	F	P
Total Transitivos				
Izquierdo	11.1	3.9	30.3	<0.0001
Derecho	10.1	3.7		
Control	3.0	1.3		
Total Intransitivos				
Izquierdo	2.9	1.8	4.2	0.022
Derecho	2.0	1.7		
Control	1.2	1.1		
FAST total				
Izquierdo	14.0	5.0	24.5	<0.0001
Derecho	12.1	4.9		
Control	4.2	1.7		

Se encontraron diferencias significativas para los movimientos transitivos, intransitivos, y para el total de la prueba del FAST entre los grupos. La Tabla 11 muestra el análisis de Tukey en la prueba post-hoc, que muestra las diferencias específicas entre los grupos.

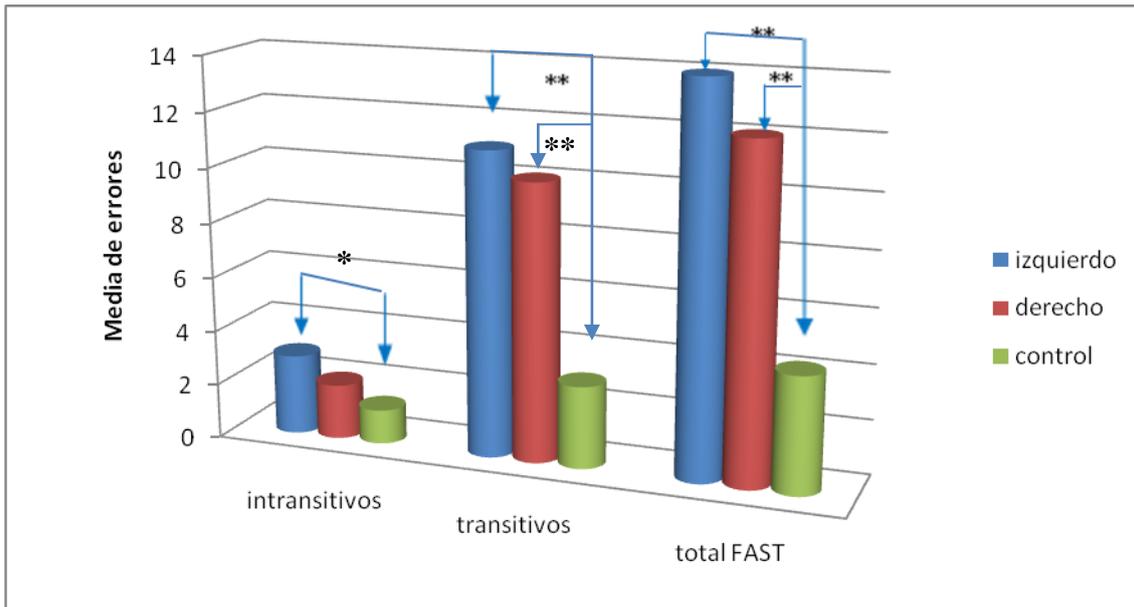
Tabla 11.

Análisis post-hoc para movimientos transitivos e intransitivos y total de la prueba FAST, valores de diferencia de medias (D.M) y p.

	Lado de la lesión		D.M	P
Total transitivos	Izquierdo	Derecho	0.1	0.7
		Control	8.1	<0.0001
	Derecho	Izquierdo	-0.1	0.7
		Control	7.1	<0.0001
Total intransitivos	Izquierdo	Derecho	0.9	0.3
		Control	1.7	0.017
	Derecho	Izquierdo	-0.9	0.3
		Control	0.7	0.4
FAST total	Izquierdo	Derecho	1.9	0.4
		Control	9.7	<0.0001
	Derecho	Izquierdo	-1.9	0.4
		Control	7.8	<0.0001

Para los movimientos intransitivos existe una diferencia significativa entre los pacientes con lesiones izquierdas y sus controles ($p=0.017$). Esta diferencia no se encuentra en la ejecución de los pacientes derechos y sus controles ($p=0.4$). No existen diferencias significativas en la media de error entre los pacientes derechos e izquierdos ($p=0.3$).

Para los movimientos transitivos se observaron diferencias significativas entre los pacientes con lesiones izquierdas y derechas en comparación con los controles ($p<0.0001$), pero no se observó diferencia significativa entre los grupos de pacientes ($p=0.7$). Esto mismo se observa con el total de la prueba de FAST, donde la población clínica cometió un mayor número de errores en comparación con los sujetos sanos ($p<0.0001$). La gráfica 1 muestra la ejecución de los pacientes para los movimientos intransitivos, transitivos y el total de la prueba FAST.



Gráfica 1. Medias de ejecución en la prueba de FAST de los 3 grupos: lesión izquierda, derecha y sujetos controles. Para los movimientos intransitivos existe diferencia entre el grupo de lesión izquierda y control; para los movimientos transitivos y el total de la prueba del FAST existe diferencia entre la ejecución de los pacientes y los controles.

Componentes específicos del movimiento

La Tabla 12 muestra las diferencias entre los grupos en los componentes específicos en ambos tipos de movimiento. Se encontraron diferencias significativas para los componentes espacio, tiempo y contenido de los movimientos transitivos. El componente de contenido para los movimientos intransitivos mostró una tendencia a ser significativamente distinto entre los grupos ($p=0.06$).

Tabla 12. Resultados del ANOVA de un factor, media y desviación estándar (D.E.) para los componentes específicos (espacio, tiempo y contenido) para cada tipo de movimiento.

	Media	D.E	F	P
Transitivos				
Errores espaciales	9.1	3.4	27.6	<0.0001
Izquierdo	7.6	3.0		
Derecho	2.2	1.3		
Control				
Errores temporales				
Izquierdo	2.0	1.6		
Derecho	2.7	1.3	10.0	<0.0001
Control	0.6	0.9		

Errores de contenido				
Izquierdo	1.4	1.9		
Derecho	0.4	0.5	5.1	0.01
Control	0.1	0.3		
Intransitivos				
Errores espaciales				
Izquierdo	0.7	0.6		
Derecho	0.5	0.7	2.2	0.9
Control	0.2	0.4		
Errores temporales				
Izquierdo	0.6	0.8		
Derecho	0.5	1.2	0.3	0.7
Control	0.4	0.5		
Errores de contenido				
Izquierdo	1.7	1.8		
Derecho	1.1	1.2	3.032	0.06
Control	0.6	0.5		

En la tabla 13 se observa el análisis post-hoc para los componentes de los movimientos transitivos e intransitivos

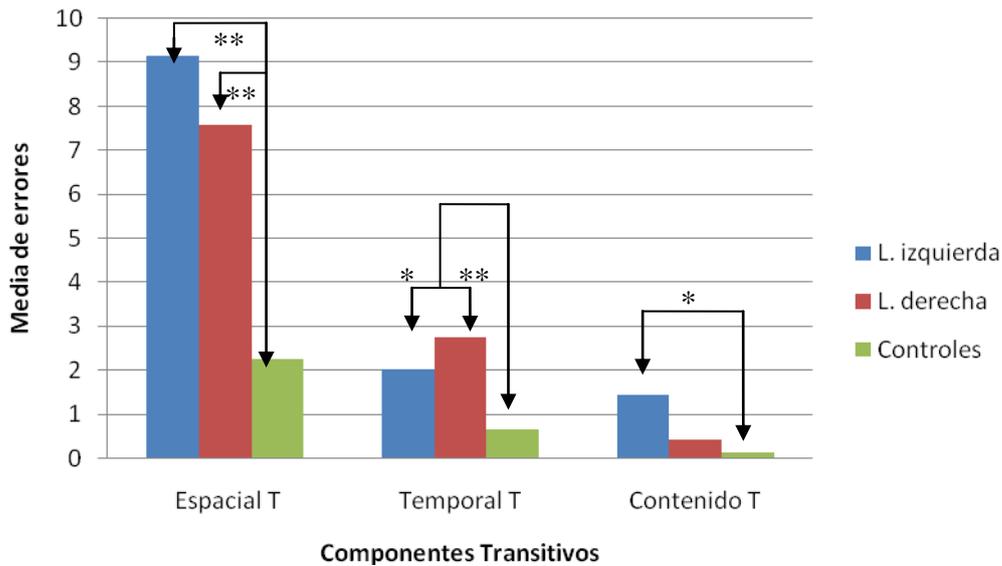
Tabla 13.
Análisis post-hoc de los componentes específicos (espacio, tiempo y contenido) tipos de movimiento que mostraron significancia en las ANOVAs.

	Lado de la lesión		D.M	P
Transitivos				
Espacial	Izquierdo	Derecho	1.6	0.3
		Control	6.9	<0.0001
	Derecho	Izquierdo	-1.6	0.3
		Control	5.3	<0.0001
Temporal	Izquierdo	Derecho	-0.7	0.3
		Control	1.4	0.01
	Derecho	Izquierdo	0.7	0.3
		Control	2.1	<0.0001
Contenido	Izquierdo	Derecho	1.0	0.08
		Control	1.3	0.01
	Derecho	Izquierdo	-1.0	0.08
		Control	0.3	0.8

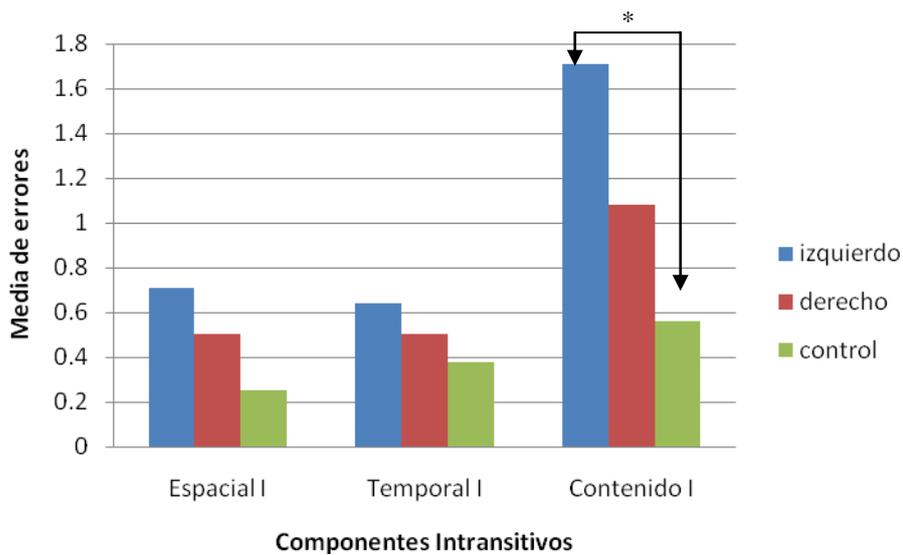
Intransitivos				
Contenido	Izquierdo	Derecho	0.6	0.4
		Control	1.1	0.04
	Derecho	Izquierdo	-0.6	0.4
		Control	0.5	0.5

Se observaron diferencias significativas para el componente espacial de los movimientos transitivos entre los pacientes izquierdo, derecho y los controles ($p < 0.0001$), sin diferencias significativa en la ejecución entre los pacientes con lesión derecha e izquierda ($p = 0.3$). El componente temporal de los movimientos transitivos mostró un patrón parecido, con diferencias significativas entre los pacientes y controles, aunque en este caso los pacientes con lesión derecha mostraron una significancia más pronunciada respecto a los controles en comparación con la de los pacientes de lesión izquierda ($p < 0.0001$ y $p = 0.01$, respectivamente). Para el componente de contenido de los movimientos transitivos, el grupo de lesión izquierda mostró un mayor número de fallas en comparación con sus controles ($p = 0.01$); no se encontraron diferencias en los errores de contenido en los pacientes derechos y controles ($p = 0.8$), tampoco existen diferencias entre los pacientes con lesión derecha e izquierda ($p = 0.08$).

Para los movimientos de tipo intransitivo, no se encontraron diferencias entre los grupos para los componentes espacial y temporal. Se encontró una diferencia en la ejecución de errores de contenido donde los pacientes izquierdos cometieron un mayor número de errores en comparación con sus controles ($p = 0.04$), los pacientes con lesiones derechas no mostraron diferencias con sus controles ($p = 0.5$), y no existe diferencia en la ejecución entre los pacientes con lesión derecha e izquierda ($p = 0.4$). La gráfica 2 resume estos hallazgos.



Gráfica 2a.



Gráfica 2b.

Gráfica 2. En la grafica a (arriba) se muestran las diferencias en la ejecución de los componentes espacio, tiempo y contenido para los movimientos transitivos. Los pacientes con lesión izquierda y derecha comenten un mayor número de errores espaciales y temporales en comparación con los sujetos control; para el componente de contenido, los pacientes izquierdos ejecutan peor que los sujetos sanos. $**p<0.001$, $*p<0.01$. **2b. Diferencias en la ejecución de los componentes espacio, tiempo y contenido para los movimientos intransitivos.** No se observaron diferencias entre los pacientes y controles para los componentes espacial y temporal. Para el componente de contenido, sólo los pacientes con lesión izquierda ejecutaron peor que sus controles $*p<0.01$.

Tipo de error

Se realizó una ANOVA de una vía, con la prueba de Tukey como análisis post-hoc para identificar las diferencias entre los grupos para los errores específicos de cada componente.

Componente espacial

La población clínica comete un mayor número de errores de amplitud en comparación con los sujetos sanos (izquierdos DM=1.28, p=0.01, derechos DM=1.25, p=0.03) pero no existe diferencia entre los grupos con lesión izquierda y derecha. Para los errores de configuración interna los pacientes con lesión izquierda mostraron una diferencia en la ejecución con sus controles (DM=1.25, p=.01); no existe diferencia en la ejecución de los pacientes derechos con sus controles, ni diferencia en la ejecución entre los dos grupos de pacientes. Los errores de configuración externa mostraron una peor ejecución de los pacientes izquierdos y controles (DM=4.06, p=0.001), no existe diferencia en la ejecución de los pacientes derechos y sus controles, pero sí entre los grupos de pacientes (DM=2.9, p=0.02) Finalmente la utilización del cuerpo como objeto mostró diferencias entre la población clínica con sus controles (izquierdos DM=2.8, p=0.004; derechos DM=2.7, p=0.007), pero sin diferencia entre los grupos con lesión.

Componente temporal

Se observó una diferencia significativa en el número de errores de secuencia entre pacientes con lesiones derecha e izquierda en comparación con sus controles (izquierdos DM=1.04, p=0.016; derechos DM= 2.02, p ≤0.0001), en donde las lesiones derechas mostraron un mayor número de errores en comparación con lesiones izquierdas (DM=0.976, p=0.040). No se observaron diferencias entre los grupos para los errores por alteración del tiempo o errores de ocurrencia.

Componente de contenido

Se encontró diferencia en la ejecución de los errores no relacionados entre los pacientes con lesiones izquierdas y su controles (DM=1.01 p=0.017), pero no se encontró diferencia entre los derechos y sujetos sanos, tampoco entre la ejecución de ambas poblaciones clínicas. No se encontró diferencia inter-grupo para los errores relacionados ni perserverantes.

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una muestra clínica de pacientes con EVC lateralizado izquierdo y derecho realizaron una prueba para la evaluación de las apraxias con la finalidad de investigar diferencias en la ejecución de dos tipos de movimiento complejo (transitivo e intransitivo) y los componentes específicos de estos movimientos (espacio, tiempo y contenido). El resultado obtenido por los pacientes fue comparado con la ejecución en la misma prueba en sujetos sanos.

El hallazgo principal de este estudio fue la descripción de una ejecución diferencial entre 2 de los errores específicos de los componentes: configuración externa y secuencia, que se afectan selectivamente por el daño en el hemisferio izquierdo y derecho respectivamente, esta diferencia en el procesamiento de información entre ambos hemisferios, da como resultado patrones de lateralización (procesamiento preferencial) para los movimientos transitivos, intransitivos y sus componentes específicos. Es necesario explicar que los datos de esta investigación muestran una diferencia en la ejecución de PLI y PLD en comparación con sujetos sanos, y que no se demuestra una diferencia significativa entre lesiones izquierdas y derechas para los movimientos transitivos, intransitivos y componentes. Esto último, nos lleva a pensar que no existe una representación completamente asimétrica debido a la falta de diferencia estadística entre los grupos clínicos, esta afirmación es cierta; no existe una asimetría total para una función, es decir, un solo hemisferio no es capaz de procesar toda la información necesaria para la correcta ejecución de funciones complejas, ya que estas son producto de la integración de elementos más simples. La definición de lateralización establece que se trata de un procesamiento **preferencial**, esta característica indica que los procesos generales como el lenguaje, percepción espacial, procesamiento de rostros y en este caso la representación del movimiento complejo, pueden ser ejecutados por ambos hemisferios, pero que la diferencia radica en la eficiencia con la que la información pueden ser procesada por cada hemisferio. Es decir, no encontraremos una diferencia marcada entre las poblaciones clínicas, ya que PLD y PLI cometen un número similar de errores cuando se califican la función completa (transitivo, intransitivo) o sus componentes más gruesos (espacial, temporal y contenido). La eficiencia entre los dos grupos se observa cuando se comparan con la ejecución en sujetos que mantienen la integridad en sus funciones, es decir la eficiencia de la ejecución se observa en la comparación con los sujetos sanos. Este método de

comparar la ejecución de una población clínica con población sana y asumir que existen diferencias provocadas por la lesión, es utilizada en muchos estudios descriptivos (Cubelli, Marchetti, Boscolo, & Salla, 2000; Jacobs, Bussel, Combeaud, & Roby-Brami, 2009; Raymer, et al., 1999; Shwartz, et al., 1999). Cuando estudiamos poblaciones con lesión unilateral, el efecto de la lateralidad se asume debido a la característica de la lesión, es decir que se encuentra en un solo hemisferio (izquierdo o derecho), si esta lesión produce una **mayor** perturbación en el déficit, es atribuido a la preferencia de procesamiento de una tarea específica. Esto nos permite hacer inferencias generales sobre síndromes unilaterales, pero las observaciones siempre están a reserva de muchas tareas que pueden ser realizadas exitosamente por otro hemisferio y diferir en eficiencia (Gazzaniga, et al., 1998).

La diferencia significativa entre las poblaciones clínicas, es decir el procesamiento diferencial (no preferencial) de las características que se ejecutan en cada uno de los hemisferios se encuentra en un nivel mucho más básico de procesamiento de la información, esto podemos observarlo en los errores específicos (errores de configuración externa-espacial y secuencia-temporal) que se afectan de forma selectiva dependiente del lado de la lesión. Sin embargo, la única forma de comprobar que la información se procesa de forma distinta en cada uno de los hemisferios, requiere otra metodología, en donde podamos estudiar el procesamiento aislado de los hemisferios, es decir la comprobación de los hallazgos encontrados con lesiones unilaterales requiere del estudio de una población en la que exista una separación de los dos hemisferios cerebrales: estudios en pacientes con Síndrome de Sperry (Funnell, Corballis, & Gazzaniga, 2001).

A la luz de la explicación anterior, los datos en la presente investigación muestran que el total de movimientos incorrectos transitivos, intransitivos y la puntuación total de la prueba de FAST fueron mayores en pacientes con lesiones izquierdas en comparación con sujetos sanos. Estos hallazgos concuerdan con la definición clásica de apraxia, según la cual una lesión izquierda provoca una discapacidad en la producción de movimientos especializados (Geschwind & Galaburda, 1975). Sin embargo, el número significativo de movimientos incorrectos encontrados en los participantes que sufrieron una lesión en el hemisferio derecho, y los 5 pacientes con lesión derecha que fueron clasificados como apráxicos demuestran que la representación del movimiento complejo se encuentra distribuida en ambos hemisferios, y que lesiones en el hemisferio derecho

pueden causar una incapacidad en la ejecución de los movimientos complejos (Heat, Roy, Westwood, & Black, 2001).

Los pacientes con lesiones izquierdas y derechas cometieron un número similar de errores en los movimientos que implican el uso de herramientas en comparación con los controles; sin embargo no cometieron el mismo tipo de error, esto indica que las características que conforman el programa motor para este tipo de movimiento se distribuyen entre los hemisferios (Hanna-Pladdy, et al., 2001; Osiurak, et al., 2009). Los resultados de esta investigación muestran que la diferencia en la ejecución de los componentes entre la población clínica radica en que los componentes específicos muestran alteraciones dependientes del lado de la lesión. El componente espacial se afecta con lesiones derechas e izquierdas, el componente de contenido se afecta selectivamente con lesiones izquierdas, mientras que el componente de tiempo muestra un mayor número de errores con lesiones en el hemisferio derecho. Este hallazgo concuerda con la hipótesis planteada por Hanna-Pladdy (2001), que señala la posibilidad de una distribución de las características del movimiento complejo entre los hemisferios.

Por otro lado, la ejecución de los movimientos intransitivos se vio afectada únicamente por el daño en el hemisferio izquierdo; al analizar los componentes específicos para este tipo de movimiento se encontró que el componente de contenido es el que presenta un mayor número de errores, y que al igual que los movimientos transitivos, se afecta de forma selectiva con lesiones del hemisferio izquierdo.

Es evidente que existe una diferencia en la ejecución de movimientos transitivos e intransitivos, en donde los primeros se ven más claramente afectados por una lesión. Este fenómeno puede ser explicado porque el número de errores que se puede cometer está en función de la complejidad de la tarea. El uso de herramientas requiere de un procesamiento de la información mucho más elaborado y por lo tanto de una demanda neurocognitiva mayor en comparación con los gestos de comunicación (Carmo & Rumiati, 2009). Las características de la manipulación de objetos requieren de configuraciones cognitivas especiales, como la configuración interna y externa, que implican la interacción del cuerpo con los objetos (Buxbaum, et al., 2005). Esta interacción involucra la posición dinámica de las partes del cuerpo con respecto a otro

cuerpo sobre determinado tiempo, por lo que las fallas en este esquema dinámico explican la ejecución fallida de gestos que involucran el uso de herramientas (Buxbaum, et al., 2000). Los gestos de comunicación no precisan de configuraciones espaciales tan definidas, por lo que la demanda neurocognitiva es menor.

Esta diferencia en la demanda de recursos entre los movimientos transitivos e intransitivos, podría explicar por qué en las pantomimas de uso de herramientas se encuentra una distribución tan marcada de los componentes. Al incrementar la complejidad de una tarea como en el caso del uso de herramientas, la carga cognitiva de los componentes se distribuye, propiciando un procesamiento paralelo de las características del movimiento. De esta manera cada hemisferio realiza por separado el procesamiento distinto y complementario de la información necesaria para la correcta ejecución de éste. Este tipo de distribución de los componentes permitiría evitar una transferencia inter-hemisférica lentificada, lo cual reafirma las ventajas funcionales de poseer un sistema lateralizado (Belger & Banich, 1992; Bizzasa, et al., 1998; Hirnstein, et al., 2008).

Por otro lado, la representación asimétrica de los movimientos transitivos e intransitivos también podría explicarse considerando las características propias de los hemisferios para el procesamiento de la información; tomando en cuenta que hemisferio izquierdo está involucrado en la discriminación de categorías previamente reconocidas (Brown, et al., 2007) y que codifica información con contenido lingüístico (Ardila & Ostrosky-Solis, 2005). Parece acertado pensar que la representación de movimientos que tienen un alto grado de automatización y que además contienen elementos de tipo lexical como los gestos de comunicación, se ejecuten de forma preferencial por el lado izquierdo del cerebro. En el caso de los movimientos transitivos se requiere de la participación de ambos hemisferios cerebrales, mientras que el hemisferio izquierdo se encarga de elaborar comparaciones entre categorías perceptuales, participa en el proceso de análisis secuencial de la información sensorial y analiza semánticamente el contenido de la acción (Ardila & Ostrosky-Solis, 2005), el hemisferio derecho ejecuta respuestas a estímulos poco familiares y procesa información sobre objetos nuevos (Brown, et al., 2007; Rumiati, 2000), lo que representa una respuesta a los elementos poco consolidados en el caso de los movimientos que involucran el uso de herramientas.

Los hallazgos en esta investigación también muestran que existe una diferencia en la ejecución de los componentes específicos espacio, tiempo y contenido. En el componente espacial se observa que la lesión derecha o izquierda provoca un rendimiento menor en comparación con los controles. El componente temporal muestra un patrón similar en donde ambas lesiones producen errores, sin embargo la ejecución de los pacientes con lesión derecha predispone a cometer un mayor número de errores, esto en comparación con sujetos sanos. Finalmente el componente de contenido muestra que las lesiones izquierdas producen un déficit de este componente en comparación con los sujetos sanos, a diferencia de los pacientes con lesión derecha que no muestran una diferencia en comparación con sus controles. Esta descripción de la diferencia del procesamiento de componentes, muestra que existe una preferencia en la codificación de la información por uno u otro hemisferio en la realización de movimientos complejos, específicamente en los movimientos con una mayor carga cognitiva como son los movimientos transitivos.

La descripción del componente espacial mostró que la amplitud de los movimientos y el uso del cuerpo como objeto se vieron igualmente afectados por lesiones derechas e izquierdas, lo cual es consistente con la literatura (Hanna-Pladdy, et al., 2001), mientras que las configuraciones espaciales, específicamente la configuración externa se afecta exclusivamente por lesiones del hemisferio izquierdo, lo cual también concuerda con lo reportado por Iachini, Ruggiero, Conson y Trojano (2009). La diferencia encontrada en el componente temporal indica que los errores de secuencia son más frecuentes en pacientes con un daño en el hemisferio derecho, esto difiere de lo reportado en la literatura, en donde los errores más frecuentes se refieren a la alteración de la velocidad de los movimientos (Hanna-Pladdy, et al., 2001; Yelnik, et al., 1996). Sin embargo el hallazgo de los errores de secuencia en pacientes con EVC derecho concuerda con lo reportado por Shwartz, Buxbaum, Montgomey, Fitzpatrick-DeSalme, Hart, Ferrano, Lee y Coslett (1999) en donde un total de 30 pacientes con un EVC derecho mostraron errores de secuencia en la realización de acciones complejas. Para el componente de contenido, la diferencia significativa radicó en los errores de contenido no relacionado, en donde se realizan movimientos sin la intención real de la orden, este tipo de errores sólo fueron cometidos por pacientes con daño izquierdo (Hanna-Pladdy, et al., 2001). Al parecer la destrucción de la representación conceptual produce el déficit específico para el componente de contenido. Al respecto, el modelo de Rothi (1991) para el estudio de

las apraxias propone que existen dos rutas para la ejecución del movimiento: una ruta semántica que contiene el sistema conceptual de la praxis, al parecer estas propiedades semánticas se codifican desde el hemisferio izquierdo. Y por otro lado la ruta de la imitación, que se utiliza para la ejecución de gestos que no contienen una estructura lingüística, es decir, gestos que no tienen un significado establecido y que se realizan a través de un input visual.

Los hallazgos mencionados anteriormente nos indican que es el tipo de error cometido, el que refleja la información que se codifica en cada uno de los hemisferios, esto es consistente con el hallazgo principal de esta tesis, que muestra que existe un procesamiento diferencial para 2 características específicas del movimiento, la configuración externa que se procesa en el hemisferio izquierdo y la secuencia de movimientos que se procesa en el hemisferio derecho. Tomando como ejemplo la clasificación funcional que realiza Ardila (2005) es posible que la organización funcional de las características más elementales del movimiento se dé de esta manera:

Tabla 15
Procesamiento asimétrico de las características necesarias para el movimiento complejo.

	Izquierdo	Derecho
Espacial	Realiza categorías de características perceptuales. Error esperado: configuración interna, externa	Coordina las relaciones de tipo visoespacial. Error esperado: amplitud
Temporal	Programación de los patrones específicos de tiempo. Error esperado: Alteración de la velocidad Ocurrencia	Participa en la programación de la secuencia de las acciones. Error esperado: secuencia
Contenido	Codifica información sensorial con base en la descripción lingüística. Error esperado: relacionado- no relacionado	Codifica información sensorial en términos de imágenes. Error esperado: Fallas en la imitación de gestos.

Tomando en cuenta la distribución encontrada para cada uno de las características de procesamiento, es lógico pensar que lesiones distintas pudieran provocar un error específico. La apraxia es considerada un síndrome de desorganización funcional que se manifiesta por la destrucción de la representación del movimiento o la desconexión de

los distintos componentes que conforman esta representación. Heilman (2008) describe que daños inter-hemisféricos e intra-hemisféricos producen manifestaciones de apraxia. El ejemplo más representativo es la apraxia ideomotora, que puede ser provocada por la lesión de cuerpo calloso (inter-hemisférica) en cuyo caso se aísla la representación espacio-temporal y la configuración lingüística almacenada en el hemisferio izquierdo del sistema motor del hemisferio derecho; por otro lado lesiones intra-hemisféricas como la lesión del fascículo longitudinal superior, que conecta la región inferior del lóbulo parietal (representación del movimiento) con las regiones dorsales del área premotora (codificación para la ejecución del movimiento), también puede inducir apraxia ideomotora. La desconexión callosa puede inducir además otro tipo de apraxia como la conceptual, apraxia de disociación y visual-imitativa. Mientras que lesiones intra-hemisféricas como la lesión del tracto corticoespinal que conecta la corteza motora primaria y la médula espinal, así como las lesiones de la materia blanca subcortical, pueden inducir apraxias de tipo cinético.

Tomando en cuenta las descripciones anteriores, no parece extraño que las lesiones en distintas estructuras produzcan errores en la realización del movimiento complejo; en el caso de la muestra clínica estudiada en esta investigación las lesiones fueron heterogéneas en cuanto a su estructura y a su división cortico-subcortical, este hallazgo implica que las correlaciones anatomo-clínicas para apraxia pueden variar dependiendo de la contribución de cada región. Es claro que lesiones corticales, como en el caso de los lóbulos parietales, pueden provocar una dificultad en la realización de la praxis: se ha establecido que el uso de herramientas y la imitación de gestos dependen de la integridad de los lóbulos parietales, ya que éstos contienen la representación categórica de las relaciones espaciales, es decir, se encargan de integrar la información propioceptiva que proporciona la posición del cuerpo con respecto a otro punto en el espacio (Goldenber, 2009), y que en su dicotomía funcional el parietal derecho se encarga de la percepción espacial y la acción, y el izquierdo se encarga del reconocimiento de la acción, además de la prensión y manipulación de objetos (Banich, 1997; Goldenber, 2009; Palermo, et al., 2008).

También se ha encontrado que las lesiones en regiones subcorticales pueden causar manifestaciones del síndrome apráxico, el estudio de la participación de los ganglios basales indica que su lesión por sí misma no causa apraxia, pero que su disfunción afecta los circuitos necesarios para la selección de los parámetros de amplitud, la

dirección de los brazos, la representación de la secuencia de las acciones y afecta el componente subcortical del circuito parieto-frontal, dedicado a la transformación sensorio-motora (Leiguarda, 2001). Una de las contribuciones específicas que se ha estudiado en los ganglios basales es su relación con la secuencia de movimiento y patrones específicos de tiempo. El estudio de Boyd, Edwards, Siengsukon, Vidoni, Wessel y Linsdell (2009) muestra que sujetos que sufrieron un EVC en los ganglios basales tienen dificultades para la realización de secuencias de movimiento en comparación con sujetos sanos; una posible explicación es que el daño específico en el caudado y el putamen retarda el inicio de la secuencia de respuestas aprendidas y quizás obstaculiza la planeación total del movimiento. Este patrón de tipo secuencial también muestra alteraciones por lesión en diferentes áreas del cerebro dependiendo del grado de familiaridad del movimiento: al parecer los movimientos que tienen un grado alto de automatización son primariamente codificados por áreas subcorticales y áreas motoras suplementarias, en comparación con el aprendizaje de nuevos movimientos, que involucran en mayor medida áreas corticales como la corteza motora primaria y la corteza prefrontal (Ashe, Lungu, Basford, & Lu, 2006).

Otro tipo de estructuras subcorticales como el tálamo también tienen implicaciones importantes en la realización de los movimientos. Su lesión provoca múltiples manifestaciones sensoriales y motoras debido a que mantiene conexiones con prácticamente todo el cerebro, la lesión específica de los núcleos ventral anterior, ventral media y ventral lateral alteran la programación motora y la realización de movimientos complejos, mientras que la lesión en el núcleo lateral posterior puede causar alteraciones en la integración de información somatosensorial y visoespacial de orden superior, provocando déficits importantes en la cognición espacial necesaria para la realización de los movimientos (Schmahmann & Pandya, 2008). Características como la coordinación de los movimientos complejos, la corrección de errores y la especificación de la velocidad también se regulan por regiones subcorticales como el cerebelo (Johnson & Ebner, 2000; Schmahmann & Pandya, 2008).

Por otro lado, características de tipo semántico que se representan desde el hemisferio izquierdo involucran diferentes estructuras dependiendo del tipo de función lingüística que se requiera: para la correcta identificación y la denominación de herramientas se requiere de la participación de los lóbulos temporal, parietal y occipital (Lewis, 2006).

Pero para el control semántico y la memoria asociada al uso de objetos se relaciona principalmente con la corteza del lóbulo temporal (Mayes, Montaldi, & Migo, 2007). Esto es consistente con las descripciones clínicas, en donde las apraxias de tipo conceptual, que se caracterizan por un gran número de errores de contenido, se relacionan con la pérdida de la memoria semántica y se asocian con lesiones temporales izquierdas (Heilman, 2008).

En la muestra evaluada en este estudio, los 9 pacientes que fueron clasificados como apráxicos no mostraron una diferencia significativa entre las lesiones de tipo cortico-subcortical. Sin embargo resulta interesante analizar a la luz de los hallazgos anatomo-clínicos presentados anteriormente que los pacientes con mayor número de errores transitivos e intransitivos sufrieron de una lesión en estructuras que involucran la integración de gran parte de la información sensorial, específicamente en el lóbulo parietal y tálamo. En la descripción de la ejecución de estos pacientes también se observa que el componente más afectado fue el espacial, independientemente del lado de la lesión. Otro dato consistente fue precisamente que los pacientes con una lesión izquierda mostraron el mayor número de errores en el componente de contenido, sin embargo ninguno de estos pacientes tuvo una lesión circunscrita al lóbulo temporal, una vez más los pacientes que presentaron una ejecución más pobre en el componente de contenido sufrieron de lesión talámica y parietal.

Como puede apreciarse, diferentes tipos de manifestación clínica relacionadas con el movimiento complejo pueden observarse por el déficit de la contribución subcortical y cortical en la distribución de los circuitos neurales. Esto provoca que la localización única para identificar el síndrome apráxico resulte difícil; es precisamente esta dificultad es la que justifica el estudio del movimiento complejo en términos de modularidad, este modelo tiene la ventaja de poder analizar funciones gruesas del movimiento (espacio, tiempo y contenido) y describirlas en términos de unidades más simples (tipo de error), la descripción minuciosa de las características del movimiento complejo nos permite pensar en los componentes específicos como circuitos cerebrales integrados por subunidades más simples (áreas específicas), esto concuerda con las descripciones de la apraxia como un síndrome de desorganización funcional, y con las descripciones anatómicas que revelan que áreas específicas procesan características simples, y que sus conexiones con otras áreas (es decir la formación de circuitos)

permiten la integración de la información para crear una unidad más compleja (componente), la integración final del procesamiento realizado en diferentes circuitos darán como resultado la actividad motora voluntaria (transitivo vs intransitivo). Una consideración pertinente es que si bien es cierto que la información es procesada en un área u otra, la información que se integra en las conexiones establecidas, es decir el procesamiento que puede llevarse a cabo entre las vías que conectan las áreas, no puede analizarse bajo este modelo, esto es una limitación importante porque dificulta la explicación del déficit motor desde una perspectiva de sindrómica. A pesar de esto, otra ventaja que nos ofrece un modelo dividido en componentes consiste en que permite conocer las relaciones de jerarquía entre las distintas características que integran cada componente; aunque para conocer a profundidad esta jerarquía se requiere de otro estudio en donde podamos evaluar el tipo de error cometido y asociarlo con una estructura particular.

La principal ventaja de este estudio radica en que la muestra estudiada se seleccionó de una forma rigurosa, en donde los criterios de exclusión permitieron establecer que las alteraciones observadas no se debían al compromiso de otro tipo de funciones como el lenguaje o la percepción viso-espacial, sin embargo esto queda a reserva de que otro tipo de manifestaciones clínicas del mismo proceso de lenguaje y otras modalidades perceptuales no fueron evaluadas, porque no correspondían con el objetivo principal de esta tesis. Otra ventaja en este estudio es que el número de sujetos por grupo (PLI y PLD) fue más extenso en comparación con reportes anteriores, lo cual permitió que la variabilidad entre grupos muestre diferencias significativas.

La limitación de este estudio también radica en la muestra clínica, ya que a pesar de ser más amplia con respecto a estudios anteriores, no permite crear subgrupos por sitio de lesión, cual podría ofrecer datos concisos sobre el tipo de error asociado con lesiones específicas; y no permite crear subgrupos por edades, lo cual podría ofrecer datos sobre un posible desarrollo de los patrones de lateralización o datos sobre el efecto de pérdida de asimetría relacionada con la edad.

Las propuestas sobre estudios futuros versan precisamente sobre las limitaciones de este estudio: es necesario estudiar poblaciones con lesiones focales para establecer con certeza que tipo de error se relaciona con el estilo de procesamiento de cada

hemisferio, adicionalmente las diferencias que se pueden encontrar por grupos de edades permitirán observar si existe un desarrollo en la lateralización del movimiento al igual que en otro tipo de funciones como en lenguaje o el procesamiento de caras. Otro punto importante a considerar serían las posibles diferencias por género y la dominancia manual, ya que las representaciones del movimiento complejo pueden variar dependiendo de este tipo de características en la población general.

Las conclusiones finales de este trabajo son:

- a) Existen diferencias en la representación del movimiento complejo en su tipo transitivo e intransitivo. En donde los movimientos transitivos tienen una representación bilateral y los intransitivos tienen una representación mayoritariamente izquierda.
- b) La diferencia en la representación depende del grado de complejidad en cada movimiento: al incrementar la demanda neurocognitiva se produce una mayor lateralización de los componentes específicos. Los movimientos que involucran el uso de las herramientas requieren de un procesamiento paralelo de la información, por esta razón se observa la lateralización de sus componentes específicos: el componente espacial se representa en ambos hemisferios, el componente temporal se ejecuta principalmente desde el hemisferio derecho y el componente de contenido se ejecuta desde el hemisferio izquierdo.
- c) La distribución de los componentes depende del tipo de información que se procesa en cada uno de los hemisferios, por lo cual es posible identificar errores específicos dependientes del lado de la lesión.

REFERENCIAS

- Ardila, A., & Ostrosky-Solis, F. (2005). *Diagnostico del daño cerebral* (Octava ed.). México: Trillas.
- Asai, T., Sugimori, E., & Tanno, Y. (2009). Schizotypal personality traits and atypical lateralization in motor and language function *brain and Cognition*, *71*, 26-37.
- Ashe, J., Lungu, O., Basford, A., & Lu, X. (2006). Cortical control of motor sequences. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*, 213-221.
- Babiloni, C., & Caducchi, F. (2003). Hemispherical asymmetry in human SMA during voluntary simple unilateral movements. *Cortex*, *39*, 293-305.
- Banich, M. T. (1997). *Neuropsychology the neural bases of mental function*. . U.S.A.: Houghton Mifflin Company.
- Belger, A., & Banich, M. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, *30*, 923-929.
- Bizzasa, A., Rogers, J., & Vallortigara, G. (1998). The origins of cerebral Asymmetry: A Review of Evidence of Behavioral and Brain Lateralization in fishes, reptiles and amphibians. *Neurosciences and Biobehavioral Reviews*, *22*, 411-426.
- Boles, D., Barth, J., & Merrill, E. (2008). Asymmetry and performance: Toward a neurodevelopmental theory. *Brain and Cognition*, *66*, 124-139.
- Boyd, L. A., Edwards, J. D., Siengsukon, C. S., Vidoni, E. D., Wessel, B. D., & Lindsell, M. A. (2009). Motor sequences chunking is impaired by basal ganglia stroke. *Neurobiology of Learning and Memory*, *92*(35-44).
- Brown, C., Western, J., & Braithwaite, V. (2007). The influence of early experience on, and inheritance of cerebral lateralization. *Animal behavior*, *74*, 231-238.
- Bush, G. (1990). Presidential Proclamation 6158: project decade of the brain. Library of congress. Retrieved. <<http://www.loc.gov/loc/brain/proclaim.html>>.
- Buxbaum (2001). Ideomotor apraxia: A call to action. *Neurocase*, *7*, 445-458.
- Buxbaum, Frey, S. H. J., & Bartlett-Williams, M. (2005). Deficient internal model for planning hand-objet interactions in apraxia. *Neuropsychologia*, *43*, 917-929.
- Buxbaum, Giovannetti, T., & Libon, D. (2000). The role of the dynamic body schema in praxis: Evidence from Primary Progressive Apraxia. *Brain and Cognition*, *44*, 166-191.
- Calarusso, R., & Hammill, D. (1972). *The Motor-Free Visual Perception Test (MVPT)*. San Rafael C.A.
- Carmo, J., & Rumiati, R. (2009). Imitation of transitive and intransitive actions in healthy individuals. *Brain and Cognition*, *69*, 460-464.
- Cataltepe, O., & Jallo, G. I. (2010). *Pediatric epilepsy surgery: preoperative assessment and surgical intervention*. New York: Thieme Medical Publishers.
- Corbera, X., & Grau, C. (1993). Metodología de la presentación taquistoscópica en hemicampos visuales. *Anuario de Psicología*, *58*, 27-37.
- Cubelli, R., Marchetti, C., Boscolo, G., & Salla, S. D. (2000). Cognition in action: testing a model of limb apraxia. *Brain and Cognition*, *44*, 144-165.
- Chiarello, C., Welcome, S., Halderman, L., & Leonard, C. (2009). Does degree of asymmetry relate to performance? An investigation of word recognition and reading in consistent and mixed handers. *Brain and Cognition*, *69*, 521-530.
- Ferreira, B., & Lemus, P. (2005). *Creacion y aplicación de una pauta de evaluación de pantomima en base a un modelo neuropsicologico*. Universidad de Chile.
- Folstein, M. F., & Folstein, S. E. (1975). Mini-mental State. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Psychiatr Res*, *12*, 189-198.

- Funnell, M., Corballis, P., & Gazzaniga, M. (2001). Hemispheric processing asymmetries: Implications for memory. *Brain and Cognition*, 21(2), 211-230.
- Gao, Q., Chen, H., & Gong, Q. (2008). Evaluation of the effective connectivity of the dominant primary motor cortex during bimanual movement using Granger causality. *Neuroscience Letters*, 443, 1-6.
- Gazzaniga, M., Ivry, R., & Ronald, G. (1998). *Cognitive neuroscience: the biology of the mind*. New York: W. W. Norton.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. (1975). The apraxias: Neural Mechanisms of disorders of learned movement. *American Scientist*, 63, 188-195.
- Goghari, V. M., & MacDonald, A. W. (2009). The neural basis of cognitive control: Response selection and inhibition. *Brain and Cognition*, 71, 72-83.
- Goldenber, G. (2009). Apraxia and the parietal lobes. *Neuropsychologia*, 47, 1449-1459.
- Goodglass, H., Kaplan, E., & Barresi, B. (1996). *La evaluación de la afasia y de trastornos asociados* (2da ed.): Medica Panamericana.
- Grieve, J. (2000). *Neuropsicología para Terapeutas Ocupacionales. Evaluación de la percepción y cognición*. Madrid: Panamericana.
- Haines, D. E., & Lancon, J. A. (2007). *An Atlas of Structures, Sections, and System*. (6ta ed.). Boston: Lippincott Williams & Wilkins.
- Hamilton, C., & Vermeire, B. (1998). Inversion Effect for faces in split brain monkeys. *Neuropsychologia*, 36, 1003-1014.
- Hanna-Pladdy, B., Daniels, S., Fieselman, A., Thompson, K., Vasterling, J. J., Heilman, K., et al. (2001). Praxis lateralization: errors in right and left hemisphere stroke. *Cortex*, 37, 219-230.
- Heat, M., Roy, E. A., Westwood, D., & Black, S. E. (2001). Patterns of apraxia associated with the production of intransitive limb gestures following left and right stroke. *Brain and Cognition*, 46, 165-169.
- Heilman, K. (2008). The disconnection apraxias. *Cortex*, 44, 975-982.
- Hendelman, W. J. (2006). *Atlas of functional neuroanatomy*. (2da. ed.). Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group.
- Hier, D. B., Lemay, M., & Rosenberger, P. (1979). Autism and unfavorable left-right asymmetries of the brain. *Autism dev. Disord.*, 9, 153-159.
- Hirnstein, M., Hausmann, M., & Güntürkün, O. (2008). The evolutionary origins of functional cerebral asymmetries in human: Does lateralization enhance parallel processing? *Behavioral Brain Research*, 187, 297-303.
- Horn, J. D. V., Berman, K. F., & Weinberger, D. R. (1996). Functional Lateralization of the Prefrontal Cortex during Traditional Frontal Lobe Tasks. *Biol. Psychiatry*, 39, 389-399.
- Iachini, T., Ruggiero, G., Conson, M., & Trojano, L. (2009). Lateralization of egocentric and allocentric spatial processing after parietal brain lesions. *Brain and Cognition*, 69, 514-520.
- Jacobs, S., Bussel, B., Combeaud, M., & Roby-Brami, A. (2009). The use of a tool requires its incorporation into the movement: Evidence from stick-pointing in apraxia. *Cortex*, 45, 444-4555.
- Jansen, A., Menke, R., Sommer, J., Föster, A., Bruchmann, S., Hempleman, J., et al. (2006). The assessment of hemispheric lateralization in functional MRI-Robustness and reproducibility. *NeuroImage*, 33, 204-217.
- Jeannerod, M. (2001). Neural Simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, 103-109.
- Johnson, M., & Ebner, T. J. (2000). Processing of multiple kinematic signals in the cerebellum and motor cortices. *Brain Research Reviews*, 33(2-3), 155-168.

- Keele, S. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70(6), 387-403.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2003). *Fundamentals of Human Neuropsychology* (Quinta ed.): W.H. Freeman & Co. LTD.
- Lashley, K. S. (1951). *Cerebral Mechanisms in Behavior* (1ra ed.). New York: L.A. Jefress
- Lausberg, H., Davis, M., & Rothenhäusler, A. (2000). Hemispheric specialization in spontaneous gesticulation in a patient with callosal disconnection. *Neuropsychologia*, 38, 1654-1663.
- Lausberg, H., & Kita, S. (2002). Dissociation of right and left gestures spaces in split-brain patients. *Cortex*, 38, 883-886.
- Leiguarda, R. (2001). Limb Apraxia: Cortical or Subcortical. *NeuroImage*, 14, 137-141.
- Lewis, R. (1988). The relationship between cerebral lateralization and cognitive ability: Suggested criteria for empirical test. *Brain and Cognition*, 8, 275-290.
- Lewis, J. W. (2006). Cortical networks related to human use of tools. *Neuroscientist*, 12, 211-231.
- Mayes, A., Montaldi, D., & Migo, E. (2007). Associative memory and the medial temporal lobes. *Trends in cognitive Sciences*, 11, 126-135.
- Meguerditchian, A., & Vauclair, J. (2009). Contrast of hand preferences between communicative gestures and non-communicative actions in baboons: implication of the origins of hemispheric specialization for language. *Brain and Language*, 108, 167-174.
- Mercure, E., Ashwin, E., Dick, F., Halit, H., Auyeung, B., Baron-Cohen, S., et al. (2009). IQ fetal testosterone and individual variability in children's functional lateralization. *Neuropsychologia*, 47(12), 2537-2543.
- Merians, A., Clark, M., Poizner, H., Jacobs, D., Adair, J., Macauley, B., et al. (1999). Apraxia differs in corticobasal degeneration and left-parietal stroke: A case study. *Brain and Cognition*, 40, 314-.
- Mostofsky, S., Cooper, K., Kates, W., Denckla, M., & Kaufmann, W. (2002). Smaller prefrontal and premotor volumes in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol. Psychiatry*, 52, 758-794.
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representation. *Brain Research Reviews*, 60(2), 306-326.
- Novelline, R. A. (2003). *Fundamentos de radiología* (segunda edición ed.). Barcelona: Masson.
- Osiurak, F., Jarry, C., Allain, P., Aubin, G., Etcharry-Bouyx, F., Richard, I., et al. (2009). Unusual use of objects after unilateral brain damage. The technical reasoning model. *Cortex*, 45, 769-783.
- Ostrosky-Solis, F., & Ardila, A. (1986). *Hemisferio derecho y conducta, un enfoque neuropsicologico* (Primera ed.): Trillas.
- Palermo, L., Bureca, I., Matano, A., & Guariglia, C. (2008). Hemispheric contribution to categorial and coordinate representational processes: A study on brain-damage patient. *Neuropsychologia*, 46, 2802-2807.
- Pamies, M. P. (1998). *Psicobiología II*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Paus, T., Petrides, M., Evans, A. C., & Meyer, E. (1933). Role of the human anterior cingulate cortex in the control of oculomotor, manual and speech responses: a positron emission tomography study. *Neurophysiology*, 70, 453-469.

- Peña-Casanova, J., Gramunt, N., & Gich, J. (2004). *Test neuropsicológicos, fundamentos para una neuropsicología clínica basada en evidencia* (primera ed.). España: Masson.
- Pribram, K. H., & Ramírez, J. M. (1995). *Cerebro y Conciencia* (Primera Edición ed.). Madrid: Diaz de Santos.
- Rapcsak, S., Ochipa, C., Beeson, P., & Rubens, A. (1993). Praxis and the right hemisphere. *Brain and Cognition*, *23*, 450-463.
- Raymer, A., Merians, S., Adair, J., Schwartz, R., Williamson, D., Rothi, L., et al. (1999). Crossed apraxia: implications for handedness. *Cortex*, *35*, 183-199.
- Renzi, E. D., & Luchelli, F. (1988). Ideational apraxia. *Brain and Cognition*, *111*, 1173-1185.
- Rey, M., Dellatolas, G., Bancaud, J., & Talairach, J. (1988). Hemispheric lateralization of motor and speech functions after early brain lesion: study of 73 epileptic patients with intracarotid amytal test. *Neuropsychologia*, *26*, 167-172.
- Rogers, L. (2000). Evolution of Hemispheric Specialization: Advantages and Disadvantages. *Brain and Language*, *73*, 236-253.
- Rogers, L. (2008). Development and function of lateralization in the avian brain. *Brain Research Bulletin*, *76*, 235-244.
- Rothi, L., Mack, L., Verfaellie, M., & Brown, P. (1988). Ideomotor apraxia: error pattern analysis. *Aphasiology*, *2*, 381-388.
- Rothi, L., Raymer, A., & Heilman, K. (1991). A cognitive neuropsychological model of limb praxis. *Cognitive Neuropsychology*, *8*, 443-458.
- Rowan, A., Liegois, F., Vargha-Khadem, F., Gadian, D., Connelly, A., & Galdeweg, T. (2004). Cortical lateralization during verb generation: a combined ERP and fMRI study. *NeuroImage*, *22*, 665-675.
- Rumiati, R. I. (2000). Cognitive Neuroscience of Action: A Whole is greater than the sum of its parts. *Brain and Cognition*, *44*, 117-123.
- Sabaté, M., González, B., & Rodríguez, M. (2004). Brain lateralization of motor imagery: motor planning asymmetry as a cause of movement lateralization. *Neuropsychologia* *47*, 1041-1049.
- Sauerwien, H. C., & Lassonde, M. (1994). Cognitive and sensori-motor functioning in the absence of the corpus callosum: neuropsychological studies in callosal agenesis and callosotomized patients. *Behavioral Brain Research*, *64*, 229-240.
- Schluter, N. D., Krams, M., Rushworth, M. F. S., & Passingham, R. E. (2001). Cerebral dominance for action in the human brain: the selection of action. *Neuropsychologia*, *39*, 105-113.
- Schmahmann, J., & Pandya, D. N. (2008). Disconnection syndromes of basal ganglia, thalamus, and cerebellar systems. *Cortex*, *44*, 1037-1066.
- Semmes, J. (1968). Hemispheric Specialization: A possible clue to Mechanism. *Neuropsychologia*, *6*, 11-26.
- Shwartz, M. F., Buxbaum, L. J., Montgomey, M. W., Fitzpatrick-DeSalme, E., Hart, T., Ferrano, M., et al. (1999). Naturalistic action production following right hemisphere stroke. *Neuropsychologia*, *37*, 51-66.
- Singh-Curry, V., & Husain, M. (2009). The functional role of the inferior parietal lobe in the dorsal and ventral stream dichotomy. *Neuropsychologia*, *47*, 1434-1448.
- Spironelli, C., & Angrilli, A. (2009). Developmental aspects of automatic word processing: Language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-age subjects. *Biological Psychology*, *80*, 35-45.
- Springer, S., & Deutsch, G. (1999). *Cerebro izquierdo, Cerebro derecho*. España: Gedisa.

- Stephan, K., Fink, G., & Marshall, J. (2007). Mechanisms of hemispheric specialization; insights from analyses of connectivity. *Neuropsychologia*, *45*, 209-228.
- Su, C.-Y., Chang, J.-J., Chen, H.-M., Su, C.-J., Chien, T.-H., & Huang, M.-H. (2000). Perceptual Differences Between Strokes Patients With Cerebral Infarction and Intracerebral Hemorrhage. *Arch Phys Med Rehabil.*, *81*, 706-714.
- Sun, T., Patoine, C., Abu-Khalil, A., Visvader, J., Sum, E., & Cherry, T. J. (2005). Early Asymmetry of Gene Transcription in Embryonic Human Left and Right Cerebral Cortex. *Science*, *308*, 1794-1798.
- Vallortigara, G., Rogers, L., & Bisazza, A. (1999). Possible evolutionary origins of cognitive brain lateralization. *Brain Research Reviews*, *30*, 164-175.
- Van'tEnd, D., & Apkarian, P. (1998). Inter-hemispheric lateralization of event related potential; motoric versus non-motoric cortical activity. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, *107*, 263-276.
- Wagner, D. D., Sziklas, V., Gaver, K. E., & Jones-Gotman, M. (2009). Material-specific lateralization of working memory in the medial temporal lobe. *Neuropsychologia*, *47*, 112-122.
- Weiss, P. H., Dohle, C., Binkofsky, F., Shinitzler, A., Freund, H. J., & Heftner, H. (2001). Motor impairment in patients with parietal lesion: disturbances of meaningless arm movement sequences. *Neuropsychologia*, *39*, 397-405.
- Wheaton, Hallett, M. (2007). Ideomotor Apraxia: A review. *Journal of the Neurological Sciences*, *260*, 1-10.
- Wheaton, K. J., Thomson, J. C., Syngeniotes, A., Abbott, D. F., & Puce, A. (2004). Viewing the motion of human body parts activates different regions of premotor, temporal, and parietal cortex. *NeuroImage*, *22*, 277-288.
- Wheaton, L., Fridman, E., Bohlhalter, S., Vorbach, S., & Hallett, M. (2009). Left parietal activation related to planning, executing and suppressing praxis hand movements. *Clinical neurophysiology*, *120*, 980-986.
- Wright, C. E. (1990). *Invitation of Cognitive Science: visual Cognition and Action*. (Vol. 2). Cambridge: MIT.
- Xiao, Q., & Güntürkün, O. (2009). Natural split-brain? Lateralized memory for task contingencies in pigeons. *Neuroscience Letters*, *458*, 75-78.
- Yelnik, A., I. Bonan, M. Debray, E. Lo, Gelbert, F., & Bussel, B. (1996). Changes in the execution of a complex manual task after ipsilateral ischemic cerebral hemispheric stroke. *Arch Phys Med Rehabil.*, *77*, 806-810.
- Zaidat, O. O., & Lerner, A. S. (2003). *El pequeño libro negro de neurología* (4ta ed.). Madrid: Mosby.