



DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NEUROPSICOLOGÍA

Trabajo de tesis previo a la obtención de título de
Magíster en Neuropsicología

**“Revisión Sistemática sobre estudios de tractografía mediante imágenes por
tensión de difusión aplicados con paradigmas de atención”**

AUTOR: Psic Cl. Galo Alexander Paida Barreto
DIRECTOR: Dr. René Fernando Estévez Abad

CUENCA - ECUADOR

DEDICATORIA

David Santiago, eres la prolongación de mi existencia y la fuerza que impulsa mi vida día a día, a pesar de las pruebas que se han presentado en este camino recorrido.

Querido hijo, siempre dedicaré cada uno de mis logros y progresos a tu sonrisa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar presente en mi vida, por la fortaleza que me da cada día y por iluminar mi sendero hacia la concreción de mis proyectos.

Mi gratitud a mi Familia, quienes han creído en mí y han estado conmigo en el transitar por esta dura pero fascinante experiencia de crecimiento profesional.

Mi agradecimiento también a mi tutor académico, Doctor Fernando Estévez, por sus importantes contribuciones en la guía de este trabajo investigativo.

Así mismo, quiero agradecer a mis compañeros y amigos que de una u otra forma estuvieron también presentes en este proceso, en especial a María Cristina, gracias por el apoyo brindado.

Partiendo del supuesto de que el saber es una de las cosas más valiosas y dignas de estima y que ciertos saberes son superiores a otros bien por rigor o por ocuparse de objetos mejores y más admirables, por uno y otro motivo deberíamos con justicia colocar entre las primeras la investigación en torno al alma.

Aristóteles (s.f.)

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	
Agradecimientos	
Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Capítulo I: Marco teórico y Estado del arte	10
1.1 Principales conceptos de neuropsicología	10
1.2 La atención como un dominio cognitivo básico	10
1.3 Técnicas de neuroimagen- Resonancia Magnética y estudios de tractografía ..	11
1.4 Déficit cognitivo por daño axonal difuso	13
1.5 Paradigmas Experimentales en procesos cognitivos de atención	14
1.6 Uso e importancia de los paradigmas en la práctica clínica y neuropsicológica	15
2. Estudios sobre paradigmas de atención aplicados en tractografías por imágenes de tensión de difusión	16
Capítulo II Metodología	32
3.1 Metodología Prisma	32
3.2 Pregunta de Investigación	32
3.3 Justificación	33
3.4 Objetivos	34
3.5 Hipótesis de Investigación	34
3.6 Estrategias de búsqueda y fuentes de información	35
3.7 Criterios de Inclusión y Exclusión	35
3.8 Adquisición de la evidencia	36
3.9 Selección de estudios	38
3.10 Síntesis de la evidencia	39
3.11 Evaluación de riesgo de los sesgos: Calidad de la evidencia	40
Capítulo III Resultados	41
4. Porcentajes de la ubicación geográfica de los estudios incluidos	41
4.1 Porcentajes de las funciones neuropsicológicas evaluadas a través de los paradigmas	42
4.2 Evaluación del riesgo de sesgos de los estudios incluidos en la búsqueda	43
4.3 Cálculo en porcentajes del sesgo sistemático de los estudios integrados a la búsqueda	46
4.4 Características de los paradigmas empleados en los estudios incluidos	47
Capítulo IV Discusiones	53
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

Resumen

Revisión sistemática sobre estudios que demuestran la eficacia de la tractografía mediante imágenes por tensión de difusión aplicados con paradigmas de atención; las bases de datos incluidas fueron: Ebsco, Hinari, y Scopus. Los criterios de inclusión fueron: artículos en inglés y español, artículos originales, estudios de hasta 10 años de antigüedad, se admitieron estudios que analizaron poblaciones con o sin compromiso orgánico; se excluyeron estudios publicados en revistas no indexadas, tesis de pre y posgrados y estudios que no incluyan la atención como función a evaluar. Se utilizaron las palabras claves en inglés: “Tractography - paradigms of attention”, “Diffusion tensor imaging - paradigms of attention” y en español: “tensión de difusión – paradigmas de atención”. La investigación guardó la finalidad de evidenciar el aporte de las ITD en el diagnóstico y pronóstico neuropsicológico.

Palabras claves: Tensión – difusión – tractografía - paradigmas- atención.

Abstract

Systematic review of studies that demonstrate the efficacy of diffusion stress imaging tractography applied with paradigms of care; the databases included were: Ebsco, Hinari, and Scopus. The inclusion criteria were: articles in english and spanish, original articles, studies up to 10 years old, studies that analyzed populations with or without organic compromise were admitted; studies published in non-indexed journals and pre and postgraduate theses or monographs were excluded. The following key words in english were used: "Tractography - paradigms of attention", "Diffusion tensor imaging - paradigms of attention" and in spanish: "diffusion tension - paradigms of attention". The research kept the purpose of demonstrating the contribution of ITD in the neuropsychological diagnosis and prognosis.

Keywords: Tension - diffusion - tractography - paradigms - attention.



Translated by

GALO
ALEXANDER
PAIDA
BARRETO

Firmado
digitalmente por
GALO ALEXANDER
PAIDA BARRETO
Fecha: 2021.11.08
09:59:21 -05'00'

Galo Paída

Introducción

La Neuropsicología es una rama de las neurociencias cuyo interés recae sobre las funciones cerebrales de lenguaje, atención, memoria, sistemas perceptivos, funciones ejecutivas y las praxias en el desarrollo normal y patológico (Ramos et al., 2017). Para el análisis y diagnóstico de estas funciones, la neuropsicología hace uso de procedimientos clínicos apoyados en la psicometría y estudios de neuroimagen (Ardila y Ostrosky, 2012); entre estos estudios encontramos a la Tractografía basada en imágenes de tensor de difusión (ITD), una técnica no invasiva y con alta resolución espacial en localización anatómica que permite cuantificar el grado de anisotropía de los protones de agua en los tejidos (Martínez et al., 2010).

El uso de ITD permite mapear la difusión tridimensional de las moléculas de agua entre las fibras de sustancia blanca cerebral, y, de esta forma, monitorear su desplazamiento aleatorio natural o *random walk* provocado por la energía térmica presente en ellas (Rueda y Enríquez, 2018).

A partir de esto se han desarrollado investigaciones sobre las funciones cerebrales, principalmente en Norteamérica y Europa (Rubio y Miranda, 2013), sin embargo, existen pocos reportes e investigaciones a nivel de Latinoamérica (Armony et al., 2012 y Muñoz et al., 2013), por lo que se puede decir que la aplicación de tales técnicas en neuropsicología resulta nueva para nuestro medio (Aguirre, 2012).

La importancia de que se desarrolle este tipo de investigaciones radica en que sus resultados son de gran utilidad en la planificación quirúrgica cerebral y permiten evitar lesiones en la cirugía, previniendo el deterioro clínico en el posoperatorio y la conservación de los tractos que transmiten impulsos nerviosos al resto del cuerpo (Ordóñez et al., 2019), por lo que la investigación se justifica.

La presente búsqueda se basó en el método P.R.I.S.M.A., (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyse) (Moher et al., 2009) el mismo que abriga la estrategia PICO, que analiza la población de estudio, la intervención o tratamiento que evalúa, la comparación de esa intervención y los resultados.

Capítulo I

Marco teórico-conceptual y Estado del arte

Ustárroz y Tirapu (2011), consideran a la neuropsicología como “Un buen paradigma para acercarnos al conocimiento de la complejidad de la relación cerebro – mente - conducta” (p.23).

1.1 Principales conceptos de neuropsicología

Desde mediados de los años 70 del siglo XX y hasta la actualidad la neuropsicología ha evolucionado positivamente hasta llegar a tener un gran impacto dentro de la psicología y las neurociencias en general, a partir de los avances tecnológicos, como la imageonología cerebral (Ardila y Rosselli, 2019).

La neuropsicología se puede definir como la rama especializada de la psicología que estudia la organización cerebral de la actividad cognitiva-conductual, aporta conocimientos fundamentales sobre el funcionamiento del cerebro, la valoración e identificación de las alteraciones cognitivas y la relación de estas con las bases neurales (Godínez y Olvera, 2019; Ardila y Rosselli, 2007).

1.2 La atención como un dominio cognitivo básico

La literatura científica categoriza a la atención y memoria como uno de los dominios básicos más importantes dentro de la actividad cognitiva de todo ser humano, los mismos que se consideran como dominios responsables del funcionamiento de los dominios restantes como el lenguaje, percepción, pensamiento, inteligencia, etc (Gómez, 2016).

Siendo la atención uno de los dominios cognitivos más importantes y complejos, ésta es fundamental para el buen funcionamiento del desempeño ejecutivo porque permite guiar y monitorear la búsqueda de alternativas más adecuadas a la situación o la tarea, y sobre este dominio se debe actuar en toda intervención neuropsicológica. En lo que respecta a su topografía cerebral, la formación reticular y la corteza prefrontal son las estructuras encefálicas que intervienen en el desarrollo de esta función (Lepe, *et al.*, 2018; Portellano *et al.*, 1999, p.59).

Esta función cognitiva es la encargada de organizar la información. La selectividad es una característica fundamental de esta función, además permite sin perder el interés principal, anular otros distractores internos o externos que se puedan presentar. Considerando los mecanismos implicados, la atención ha sido tipificada como selectiva, sostenida y dividida (Ison, 2009; Moscoso *et al.*, 2010; Ríos-Lago y Adrover-Roig, 2014).

1.3 Técnicas de neuroimagen- Resonancia Magnética y estudios de tractografía.

Al ser la neuropsicología una rama de la psicología y las neurociencias, ésta enfoca su atención en la funcionalidad de las estructuras cerebrales, para ello, la misma se apoya en estudios de neuroimagen que permiten valorar el funcionamiento cerebral en tiempo real, estas técnicas pueden ser estructurales como funcionales. Las técnicas de neuroimagen estructurales detectan y localizan una lesión (por ejemplo, tumores cerebrales) además permiten comparar y controlar diferentes trastornos patológicos agudos y subagudos como, la absorción o expansión del edema o hematomas cerebrales después de un T.C.E, como ejemplo se puede citar: a la tomografía axial computarizada (TAC), las imágenes con tensor de difusión (ITD) y la resonancia magnética nuclear (RMN).

Por su parte, las técnicas de neuroimagen funcional registran la perfusión sanguínea regional y el metabolismo de la glucosa o el consumo de oxígeno, la idea central para entender su funcionamiento es que tanto el flujo sanguíneo como el metabolismo aumentan de forma proporcional al incremento de la actividad en una determinada región cerebral, como ejemplo podemos citar: la resonancia magnética funcional (RMf), la tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) (Ramos et al., 2017; Tirapau, 2007).

Hipólito (s.f) define al tensor de difusión como:

“Una técnica de resonancia magnética que permite la evaluación de la conectividad de la sustancia blanca y determina parámetros como la anisotropía y la difusividad, las cuales están alteradas en diversas patologías que afectan principalmente la sustancia blanca del cerebro” (p.28).

Varios estudios consideran la aplicación del tensor de difusión (ITD) y de la tractografía en el estudio de nervios periféricos. Dentro de las posibles aplicaciones reportadas se encuentran la evaluación, pronóstico y seguimiento posterior al tratamiento de múltiples patologías. El ITD es un método no invasivo y cuantitativo, que revela la microestructura y la organización del tejido sobre la base de su capacidad para monitorizar los movimientos aleatorios de las moléculas de agua. La difusión del tejido es evaluada a través de imágenes potenciadas en difusión, que nos aportan información de la difusión en una dirección y que a partir de sus valores se determina el grado y la dirección de preferencia de la difusión de las moléculas que lo componen, luego, a través de un software de procesamiento, se reconstruyen con una visión tridimensional los tractos nerviosos, recibiendo el nombre de tractografía (Yañez, et al., 2009).

La ITD nos proporciona un campo vectorial tridimensional, en el cual cada vector representa la orientación de las fibras. La tractografía de fibras por tensor de difusión es un método de reciente aparición para localizar las vías de tractos fibrosos en el Sistema Nervioso Central. Dichos tractos se generan a partir del campo de dirección de la fibra de manera similar a un campo de velocidad de fluidos (Duque, Roa, Castedo, 2008).

1.4 Déficit cognitivo por daño axonal difuso

Mujica et al. (2003) define al daño axonal difuso (DAD) como:

“Aquel daño traumático del encéfalo provocado por un mecanismo brusco de aceleración/desa-celeración, que generalmente se acompaña de grados variables de fuerzas rotacionales, causando ruptura de axones” (p.182)

Una lesión difusa no ocupa un volumen bien definido dentro del compartimento intracraneal y puede deberse a lesiones axonales, su detección se realiza mediante la técnica de resonancia magnética y la medición volumétrica, que al ser estudios de neuroimagen aportan datos relevantes sobre las estructuras cerebrales y funcionales (Narberhaus, et al.,2003).

El estado madurativo del cerebro al igual que la integridad de los circuitos neuronales al momento del trauma, funciona como un factor influyente para el pronóstico neuropsicológico de la persona afectada, es decir a menor edad de la aparición del trauma mayores serán las complicaciones cognitivas-conductuales, ya que interrumpen el proceso de desarrollo del sistema nervioso.

Por otra parte las funciones neuropsicológicas más afectadas tras un daño cerebral difuso suelen ser la velocidad psicomotora, la memoria en todas sus modalidades, el funcionamiento ejecutivo y la atención, a más de eso los lóbulos frontales y temporales suelen ser los más perjudicados, provocando con ello un déficit en los procesos atencionales y de aprendizaje, así como también las actividades de la vida diaria (básicas, instrumentales y avanzadas); de igual forma es muy atípico que se produzca un trastorno en forma de afasia (Sans, López y Boix 2009; Cala, Castellanos y Duarte 2016).

1.5 Paradigmas experimentales en procesos cognitivos de atención.

Un paradigma es un conjunto de estímulos que, organizados con determinadas pautas temporales y de diseños, (conjuntos de estímulos organizados) conforma las tareas que debe desempeñar el sujeto durante la adquisición de las imágenes por resonancia magnética funcional. Por medio de los paradigmas se ponen en marcha procesos cognitivos para localizar la arquitectura funcional subyacente a ellos (Cevallos, 2017).

Un paradigma de búsqueda se puede definir como aquel en el que se presenta al sujeto uno o más estímulos en una determinada proyección y puede ser de dos tipos: positivos, cuando se presenta algún estímulo en el encuadre proyectado, y negativo cuando solo se presenta ítems distractores. Cuando el paradigma de búsqueda se usa para el estudio de los procesos atencionales, entonces se denomina búsqueda visual.

El paradigma de doble tarea fue utilizado ya en el siglo XIX y principios del siglo XX siendo en la actualidad uno de los paradigmas más usados en el campo de la atención, es por ello que también se le conoce con el nombre de técnica de atención dividida.

La realización de cada acción o actividad cognitiva requiere de la participación de diversos factores neuropsicológicos, es decir, de la activación de diferentes zonas cerebrales, las cuales constituyen un sistema funcional complejo, para ello, el neuropsicólogo establece el perfil del paciente y con esta información selecciona los paradigmas apropiados para su evaluación según los hallazgos. El diseño de los paradigmas debe tener una alta especificidad, equiparable a la especificidad de las baterías neuropsicológicas, donde se busca independizar los factores de cada función cerebral superior para evaluar lo que realmente se pretende (Cabral, 2015; Sevilla, 1991).

1.6 Uso e importancia de los paradigmas en la práctica clínica y neuropsicológica

El diseño de los paradigmas debe tener una especificidad similar a las baterías neuropsicológicas de la práctica clínica, en los que se busque independizar los factores de cada función cerebral superior para evaluar lo que realmente se pretende; así mismo, estos paradigmas deben ser replicables en estudios control y estar diseñados según el nivel educativo de los sujetos analizados (Muñoz et al., 2013). De igual manera, deben estar basados en un sólido conocimiento de los procesos cognitivos a evaluarse y considerar sus posibles interacciones con otros procesos que pudiesen reclutarse en el estudio (Cabral, 2015).

Las afecciones cerebro vasculares tienen un impacto importante en la sociedad, la familia y el ámbito laboral de quien las presenta, por lo que es importante la detección temprana de las mismas para su tratamiento adecuado. Una manera de prevenir complicaciones en los cuadros de afectación neurológica y brindar pronósticos positivos, es tener mayor conocimiento del funcionamiento normal y patológico cerebral, que permita mejores propuestas para los procesos de intervención neurológica y neuropsicológica.

2. Estudios sobre paradigmas de atención aplicados en tractografías por imágenes de tensión de difusión

Ha resultado objeto de interés investigar la relación existente entre la integridad de la sustancia blanca y el lóbulo frontal en procesos cognitivos como: la velocidad del procesamiento, la atención y la memoria de trabajo. Se tomó como muestra a 29 participantes menores a 22 años, que sean sobrevivientes de tumores cerebelosos en la infancia y 29 controles con neuroimagen, del mismo rango etario. Como paradigmas aplicados se utilizaron las siguientes pruebas:

- La escala de memoria Wechsler (WMS-III) como medida de capacidad de atención auditiva básica (Wechsler, 1997).
- Digit Span Forward se utilizó como medida de atención. (Wechsler, 1997). Esta prueba corresponde a una tarea de repetición de dígitos.
- Delis-Kaplan (DKEFS) para proporcionar una medida de atención visual (Delis, Kaplan y Kramer, 2001).

Todos los participantes completaron la resonancia magnética en estado de vigilia. Entre los resultados se determinó que la integridad de la sustancia blanca, el cerebelo y el lóbulo frontal están más relacionados con la capacidad de atención auditiva que con la memoria de trabajo (Ailion, 2020).

En lo que respecta a problemas del neurodesarrollo, el Trastorno por Déficit de Atención, resulta ser uno de los más comunes en la infancia, los estudios de neuroimagen han sugerido que estas alteraciones del comportamiento están asociadas con una conectividad funcional anormal entre las regiones del cerebro.

Se tomó una población de 30 niños de 8 a 14 años diagnosticados con TDAH (sin consumo de fármacos) y 30 niños control (sin el trastorno) de la misma edad. Se aplicaron imágenes de resonancia magnética de difusión y el método de tractografía probabilística para examinar la conectividad estructural de la sustancia blanca. Se aplicaron pruebas de permutación no paramétricas para las comparaciones entre grupos de estas métricas gráficas. Los padres de los niños del grupo TDAH calificaron a sus hijos usando la Escala de Calificación IV de TDAH (RS-IV), que contiene todos los síntomas de inatención e hiperactividad / impulsividad de TDAH según el DSM-IV.

Los resultados determinaron que el grupo con TDAH mostró una disminución de la conectividad en el circuito prefrontal y una mayor conectividad en el circuito orbitofrontal-estriatal, y estos cambios se correlacionaron significativamente con los síntomas de inatención e hiperactividad / impulsividad, respectivamente (Cao, et al., 2013).

En la misma línea de análisis Lin et al. (2014) examinaron la variabilidad del tiempo de reacción en niños y adolescentes con TDAH, al ser sometidos a una tarea cognitiva, evaluando a 28 sujetos con TDAH (8 a 17 años; 25 hombres) y a 28 sujetos con desarrollo típico. Se evaluó la micro estructura de los tractos fronto-estriatales con funciones ejecutivas y atención mediante la técnica de tractografía de imágenes de espectro de difusión en un sistema de resonancia magnética 3-T.

Para ello, se aplicó el paradigma “Test go- /no-go” prueba neuropsicológica de tareas automatizadas que se trata que la persona responda presionando la barra espaciadora cuando aparece una letra, excepto cuando aparece la letra X (objetivo). Entre los resultados se determinó que los sujetos con TDAH tuvieron un tiempo de respuesta significativamente más largo en las tareas ejecutadas.

En una muestra de 12 pacientes con ACV en el hemisferio derecho (negligencia visual izquierda) y 12 pacientes control, sin daño neurológico, con edades comprendidas entre 18 a 80 años, se aplicó la técnica de tractografía de imágenes con tensor de difusión mediante resonancia magnética, la misma que identificó desconexiones específicas de las vías fronto-parietal y fronto-occipital en el grupo de negligencia. Tras la aplicación de paradigmas de atención que consistieron en tareas de cancelación de tres tipos: líneas, letras y objetos y una copia de un dibujo lineal que representa una casa central y cuatro árboles, se evaluó la extinción visual.

Los resultados indican que la negligencia visual crónica puede correlacionarse con daño a las conexiones fronto-parietales en el hemisferio derecho, dentro de redes corticales para orientar la atención espacial, la excitación y la memoria de trabajo espacial (Urbanski,2011).

La atención es un dominio cognitivo, que permite entre sus muchas funciones el reconocimiento de objetos y seleccionar algunas características de objetos mientras se filtran otros. Los estudios de neuroimagen demuestran la existencia de sustancia gris en estructuras cerebrales encargadas de la atención, pero lo que aún resulta motivo de interés investigativo, es la existencia de materia blanca en estructuras cerebrales que intervengan en esta función, es por ello que, Mayer y Vuong (2013) enfatizan su interés en revelar si la técnica de tractografía mediante ITD demuestran conexiones de materia blanca para prestar atención a las características de objetos estímulo.

En su investigación los autores toman a 16 voluntarios (8 hombres, 8 mujeres) de 26 años de edad. Los estímulos consistieron en 64 objetos de cuatro formas, colores y cuatro movimientos distintos, los mismos que fueron proyectados en una pantalla de escáner.

Los participantes respondieron a través de una caja de respuesta compatible con resonancia magnética, usando el dedo índice y medio de su mano dominante.

El experimento utilizó un diseño intra-sujetos con dos tipos de prueba (iguales y diferentes) y cuatro condiciones de atención (asistencia-forma, asistencia-movimiento, asistencia-color y asistencia a todas las características), en la que los participantes juzgaban si el estímulo del ensayo 1 era igual o diferente del ensayo 2. Cada condición de atención se presentó una vez en cada conjunto.

También se presentaron 13 bloques de fijación que consistieron en una cruz de fijación blanca sobre un fondo negro. Los participantes mantuvieron la fijación en la cruz durante 31 segundos y fueron evaluados en tres carreras funcionales, cada una de aproximadamente 9 minutos de duración. Al comienzo de cada bloque experimental, la palabra "Color", "forma", "movimiento" o "todo" se mostraba para indicar la función atendida para ese bloque.

Si no respondieron mientras el objeto estaba presente, la prueba se contó como una prueba de error y el programa pasó a la siguiente prueba. Se registra en el experimento al menos 1 ensayo por cada bloque, antes de someterse al escáner, para familiarizarse con el procedimiento y mapeo de respuestas. Los resultados demuestran que se debe tener en cuenta tanto la información funcional como la estructural para comprender la atención selectiva y la percepción de objetos.

El departamento de investigación del Hospital de Taiwán, recluta a 45 jóvenes con diagnóstico de TDAH y 45 jóvenes control, excluyendo la existencia de una comorbilidad con cualquier otra patología. Con la finalidad de analizar los diferentes sustratos neurales en el desempeño cognitivo de la muestra seleccionada, se aplican los siguientes paradigmas:

- La prueba computarizada “CANTAB” (Fray, Robbins, & Sahakian, 1996) como paradigma que evalúa el desempeño del funcionamiento ejecutivo.
- La prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin (Grant y Berg, 1948) para evaluar la atención selectiva.
- El procesamiento rápido de información visual (RVP) que se trata de una prueba de rendimiento visual continuo de 4 minutos, es diseñada para evaluar la atención sostenida.
- Prueba de la Torre de Londres (Shallice, 1982) la que consiste en presentar a los participantes tres clavijas montadas sobre una base rectangular y una esfera verde, roja y azul, las tres esferas deben ser colocadas sobre las clavijas de acuerdo con una posición de la meta con órdenes y ubicaciones dadas.

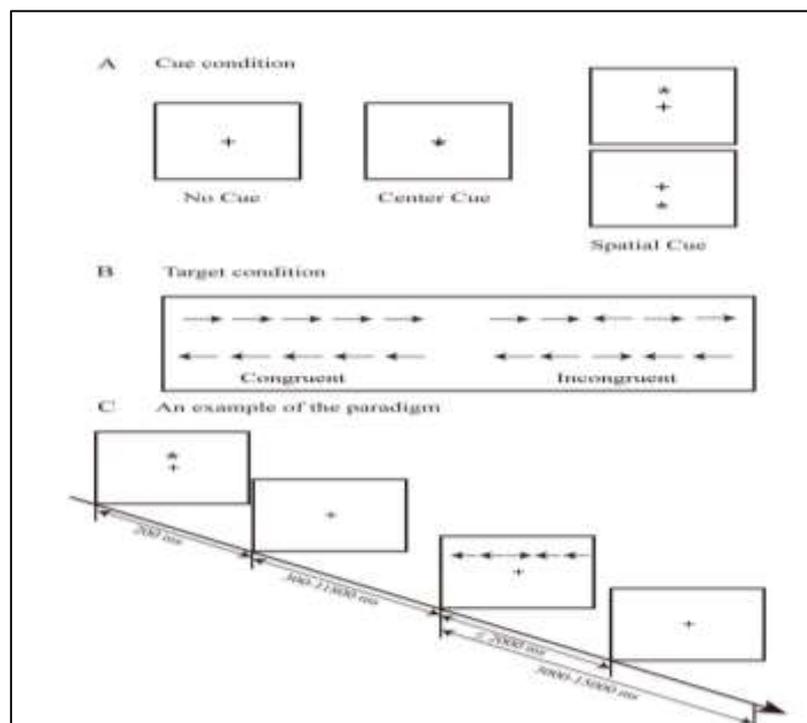
La tractografía mediante ITD demostró que los jóvenes con TDAH tendían a presentar un rendimiento peor que el grupo control, por otro lado, los tractos fronto-estriatales se asociaron con la mayor parte del funcionamiento ejecutivo, es decir, atención sostenida, trabajo memoria y planificación en jóvenes control.

Estudios de Ge et al. (2013) afirman que la atención se puede dividir en sub tareas, tales como: alerta, orientación y control ejecutivo, sin embargo, la relación entre la sustancia blanca y estructuras cerebrales de la atención aun es objeto de estudio, por ello, se recluta a 85 adolescentes de 17 años de edad con desarrollo típico, se aplicó el paradigma de red de atención “ANT” (Posner, 1978) mediante la técnica de tractografía por ITD, para evaluar su tiempo de respuestas en estas tres sub tareas de atención (alerta, orientación y control ejecutivo), a más de eso, se recalca que se realizó ensayos previos.

El paradigma estuvo compuesto por tres condiciones de señal (sin señal, señal central, señal espacial). Cada sujeto realizó un total de seis bloques, cada bloque constó de 36 ensayos, todos los ensayos presentaron un estímulo objetivo, ya sea por encima o por debajo de la cruz de fijación. La precisión media del rendimiento del paradigma ANT para todos los sujetos fue del 97%. No hubo diferencia significativa en las puntuaciones de alerta, orientación y control ejecutivo. Los resultados revelaron la existencia de materia blanca involucrada en las sub tareas de la atención. (alerta, orientación y control ejecutivo).

Figura 1

Paradigma de la tarea de red de la atención.



El paradigma de la tarea de la red de atención (ANT).

(A) Tres condiciones de señal en ANT. (B) Las dos condiciones objetivo en ANT y (C) un ejemplo del paradigma ANT

Fuente: Ge, et al.,(2013).

Con la finalidad de examinar la neuroanatomía funcional de la inteligencia humana, se combina imágenes de tensión de difusión (ITD) que permitan reflejar la integridad de la sustancia blanca prefrontal mediante paradigmas neuropsicológicos. Este experimento reclutó a 26 hombres con desarrollo típico, entre 19 a 55 años. Los paradigmas neuropsicológicos que se administraron fueron:

- Trail Making Prueba (TMT; Reitan, 1992), (prueba neuropsicológica de atención visual y tarea).
- Prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WCST; Heaton, 1981).
- Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition (WAIS-III; Wechsler, 1997).

La prueba “TMT” consta de dos partes (Parte A y Parte B). En la Parte A se mide la velocidad del procesamiento y se indica al sujeto que conecte los números en orden secuencial y la Parte B mide el funcionamiento ejecutivo, indicándole al sujeto que alterne entre números y letras en la hoja (por ejemplo, 1 → A → 2 → B, etc.). El tiempo dedicado a la prueba se utiliza como la métrica de rendimiento principal.

El WCST es una prueba neuropsicológica de aprendizaje de categorías en la que, se presenta una serie de tarjetas a los sujetos y ellos deberán hacerlas coincidir, esta tarea mide funciones cognitivas como la atención, la memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento, y permite la especulación clínica sobre la planificación estratégica y organizada y finalmente, el WAIS-III es una prueba que permite obtener el coeficiente intelectual.

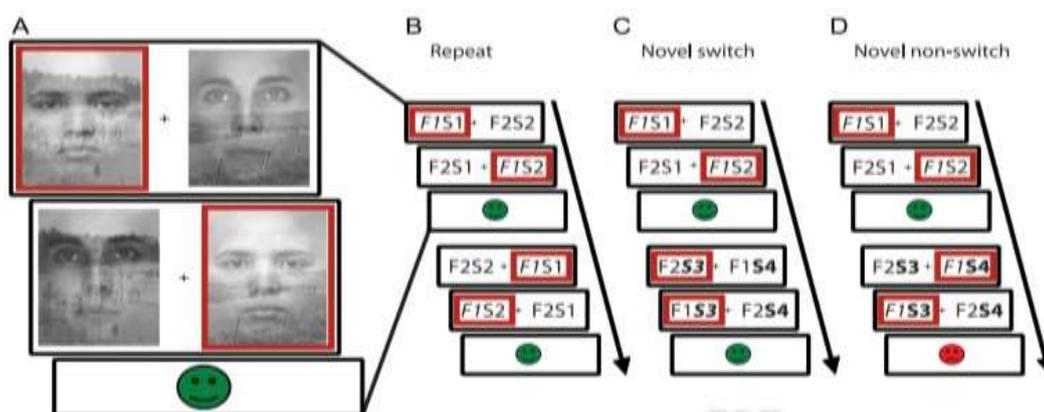
Mediante la tractografía por ITD, se determinó que la integridad de la materia blanca, tiene un mayor control de la atención; capacidad que fue medida por un tiempo de rendimiento en el paradigma TMT-B más rápido y mejores puntajes de CI (Ohtani, 2017).

Van (2014) analizó la influencia de los ganglios basales en el desempeño cognitivo, para analizar dicha relación, se llevó a cabo la técnica de tractografía mediante ITD, aplicando paradigmas de atención en 19 adultos con TDAH y 19 controles (no se especifica edad, pero si un entrenamiento previo al paradigma); se empleó un paradigma de cambio de atención.

Este estudio requirió que los sujetos seleccionaran un ejemplo de estímulo (izquierda versus derecha) dentro de una dimensión (caras versus escenas), en cada prueba. (A). Cada ensayo consistió en dos respuestas consecutivas seguidas de comentarios. Los cuadros rojos indican una posible secuencia de respuesta. (B) - (D) muestran dos ensayos con respuestas que definen los tres tipos de ensayos diferentes. Para aclarar, los estímulos se muestran esquemáticamente (F1, cara 1; S1, escena1; F2, cara 2; S2, escena 2). El estudio determinó la existencia de una relación entre los ganglios basales en el desempeño cognitivo.

Figura 2

Paradigma de cambio de atención.



Fuente: (Van, 2014).

La relación entre la atención sostenida y la sustancia blanca también ha sido estudiada en niños con desarrollo típico. Klarborg et al. (2012) reclutó a 76 niños en edades comprendidas entre los 7 y los 13 años. Mediante la técnica de tractografía por ITD se aplicó un paradigma de procesamiento rápido de información visual "RVP" con la finalidad de evaluar la atención sostenida, tomando en cuenta dos parámetros centrales: el índice de sensibilidad y coeficiente de variación en los tiempos de reacción.

El paradigma RVP consistió en presentar a los participantes una serie de números de un dígito en blanco sobre un fondo negro y detectar la secuencia objetivo ("3-5-7") y responder presionando un botón en un teclado de respuesta con la mano dominante.

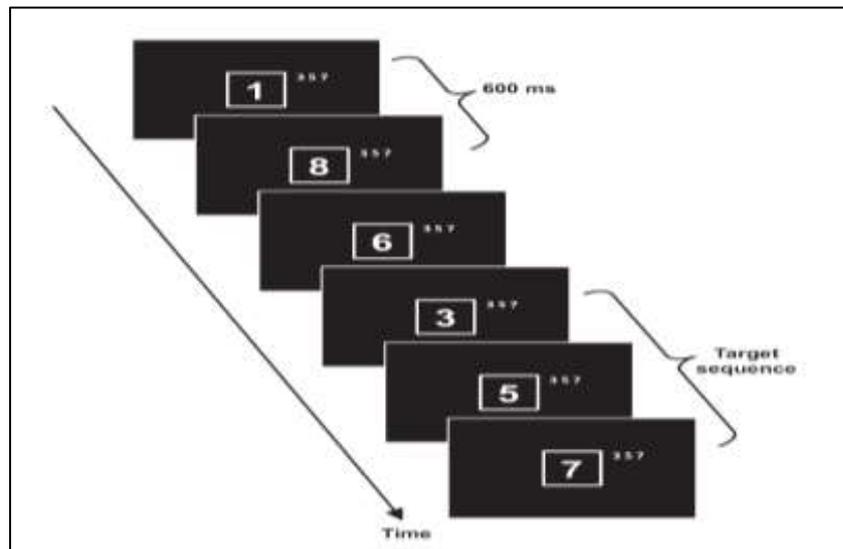
La secuencia de destino estaba escrita en la pantalla junto a una caja blanca para reducir la demanda de memoria durante la prueba. Se registró un período de entrenamiento previo a la aplicación del paradigma real, sin embargo, el primer minuto de la prueba real también fue considerado como práctica.

El estudio concluyó que un mejor desempeño de la atención sostenida se asoció con una mayor anisotropía fraccional de sustancia blanca conectando las cortezas frontal y parietal derecha.

A continuación, se ilustra en la figura 3 la representación gráfica del paradigma de procesamiento rápido de información visual (RVP), el flujo continuo de números fue presentado durante 600 ms siendo el objetivo detectar la secuencia de destino "3-5-7".

Figura 3

Paradigma de atención sostenida - procesamiento rápido de información visual



Fuente: Klarborg, et al., (2012)

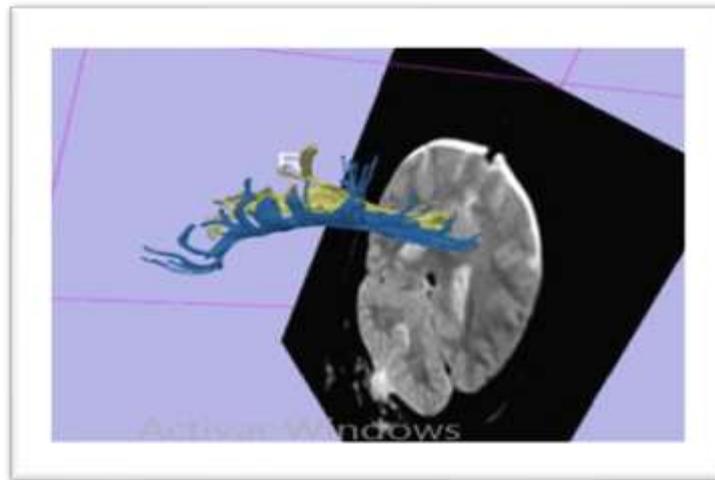
Los déficits de atención y memoria en casos de esquizofrenia, han resultado un tema investigativo para las disciplinas de la neurociencia y neuropsicología. Kubicki et al. (2009), tomaron una muestra de 18 sujetos esquizofrénicos y 18 sujetos de comparación control, en edades entre 18 y 55 años, sin antecedentes de tratamiento de choque electroconvulsivo, enfermedad neurológica y dependencia de alcohol o drogas en los últimos 5 años; también se evidenció que todos los participantes presenten un coeficiente intelectual verbal superior a 70.

El paradigma aplicado fue la prueba Stroop de color para el control de la atención en la que, se les pidió que nombraran el color de la tinta de las palabras de colores (por ejemplo, ROJO en tinta azul). Las entradas de representación léxica (nombre del color) interfieren con la representación perceptiva (color de la tinta) que requiere control, anulación o inhibición.

Además, se midió, el efecto de cebado negativo, reflejado conductualmente por respuestas particularmente lentas a la tinta color de un elemento (por ejemplo, VERDE impreso en tinta roja).

Figura 4

Ejemplo de un modelo de tractografía 3D



Modelo 3D de la tractografía del haz cíngulo generado a partir de las regiones anatómicas de interés. (amarillo-derecha, azul-izquierda).

Fuente: Kubicki, (2009,p.194).

Figura 5

Paradigma aplicado “Stroop Color”

Stimulus	Distractor	Target	Type of Trial
BLUE	blue	blue	Congruent
RED	red	yellow	Incongruent
BLUE RED	blue red	blue yellow	Stroop Effect
RED GREEN	red green	yellow red	Negative Priming Effect

Fuente: Kubicki, (2009, p.194).

Los resultados determinaron que, en el grupo de esquizofrenia, la anisotropía fraccional se encontró reducida en el haz del cíngulo, el mismo que es un importante tracto de fibra de materia blanca límbica que conecta con regiones prefrontal, parietal y temporal.

Finalmente, y lo que es más importante, solo en la población con esquizofrenia, los tiempos de respuesta se asociaron con todas las condiciones del paradigma de Stroop; así como con el efecto del Stroop, se correlacionaron negativamente con la anisotropía fraccional del haz del cíngulo izquierdo, una medida de integridad de la materia blanca.

Toba et al. (2018) por su parte analiza la negligencia visual como un daño hemisférico derecho, que se caracteriza por la incapacidad de poder prestar atención al campo visual izquierdo. Estas ubicaciones muestran la activación de redes de atención fronto-parietal demostradas en estudios de neuroimagen funcional.

Con la finalidad de explorar las correlaciones anatómicas de esta negligencia con la función de la atención, se integraron a la investigación 25 pacientes con ACV agudo en el hemisferio derecho y se utilizó la técnica de tractografía por ITD, aplicando el paradigma (GEREN) (Azouvi et al., 2006) que incluye tareas de búsqueda visual (cancelación de campanas), copia de paisaje, cancelación de cartas y lectura de texto. Si bien es cierto, dichas tareas evalúan la direccionalidad visual, también desvelan el nivel de atención de cada participante.

Los resultados determinaron que los procesos cognitivos relacionados con la bisección de la línea involucran la percepción, atención y desarrollo motor, sin embargo, las estrategias cognitivas necesarias para resolver este paradigma, implican un juicio visual de longitudes horizontales y procesos atencionales.

Con la finalidad de evaluar las alteraciones de la marcha correlacionadas con la sustancia blanca y el desempeño de la atención espontánea, se tomó una muestra de 59 sujetos sanos, de edades comprendidas entre 59 – 88 años, para ello, se aplicó el paradigma de doble tarea, con el objetivo de controlar la capacidad de la marcha mediante una tarea de escucha dicótica y a su vez evaluar el nivel de atención espontánea.

Dicho paradigma comprendía tres condiciones: 1) Condición no forzada, donde se instruyó a los participantes para que informaran libremente los mejores estímulos percibidos independientemente del oído, 2) Condición de derecho forzado, donde se pidió a los participantes que informaran estímulos administrados al oído derecho y 3) Condición forzada-izquierda donde se pidió a los participantes que informaran sobre los estímulos administrados al oído izquierdo.

Los resultados determinaron que las perturbaciones en la velocidad de la marcha causadas por la atención espontánea se relacionaron con la integridad del circuito frontal, incluido el cuerpo calloso, mientras que las perturbaciones en la velocidad de la marcha y la longitud del paso producidas por la atención lateralizada voluntaria se asociaron con tractos que favorecen la integración viso-motora y la función frontal.

Las perturbaciones de la marcha causadas por la atención espontánea se relacionaron con los tractos frontales y los efectos de la marcha causados por la atención voluntaria se relacionaron con los tractos de integración frontal y viso-motora (Castro, et al.,2019).

Resulta interesante indagar sobre la integridad de la sustancia blanca de ciertos tractos cerebrales en el envejecimiento normal, para ello, se reclutaron a 48 adultos sanos (no se especifica la edad), y mediante un estudio de tractografía por ITD, se calculó el rendimiento cognitivo con la edad de cada sujeto individualmente, a través de la aplicación del paradigma "RBANS" (Randolph, Tierney, Mohr y Chase, 1998), el mismo que se trata de una prueba neuropsicológica diseñada para controlar la atención, lenguaje, y memoria. Las tareas de atención de esta prueba consisten en decirle al paciente una serie de números y pedirle que los repita después de un segundo, solo si falla en el primer intento se procede al segundo ensayo.

Todos los tractos intra-hemisféricos mostraron una disminución significativa relacionada con la edad. El estudio determinó que la edad y el tracto de la integridad de la materia blanca determinaba el rendimiento cognitivo atencional y ejecutivo.

Dentro de las diferentes facetas de la atención, tenemos a la atención viso-espacial, la misma que nos permite seleccionar un subconjunto de estímulos visuales relevantes mientras ignoramos estímulos distractores. La atención viso-espacial depende de grandes redes distribuidas en ambos hemisferios, con áreas corticales interconectadas por vías fronto-parietales.

Con el objetivo de investigar la organización de las vías de la sustancia blanca que contribuyen tanto a la lateralización anatómica de las redes de atención fronto-parietales como a las funciones de atención, se tomó como muestra a 48 voluntarios con desarrollo típico, con edades comprendidas entre 5 a 26 años. En el presente estudio se utilizó el paradigma "CombiTVA" (Vangkilde et al., 2011) que permite la evaluación completa de distintas facetas de la atención visual dentro de una sola tarea.

Al comienzo de la sesión de prueba, todos los participantes estaban sentados en una habitación semi oscura a 60 cm del monitor LED; todo el paradigma tardó 45 minutos y se dividió en nueve bloques experimentales, cada uno de los cuales constaba de 36 ensayos, que siguieron a 24 ensayos de práctica.

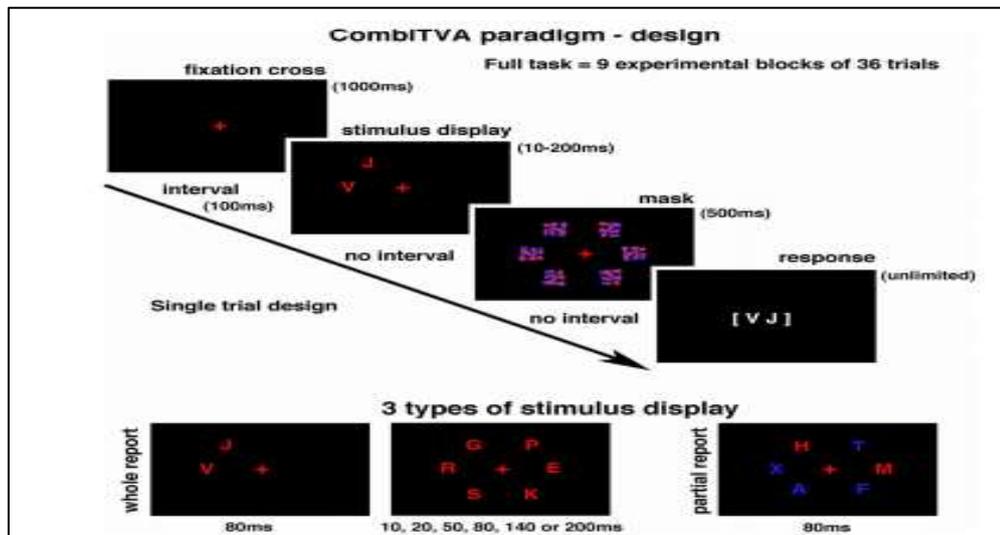
La pantalla inicial, constaba de una fijación con una cruz roja presentada en medio de un campo negro, seguida de una pantalla de estímulo de varias letras presentadas alrededor de un círculo imaginario con seis posibles ubicaciones de estímulo.

La visualización del estímulo estuvo seguida por una máscara presentada durante 500 ms (hecho de fragmentos de letras rojas y azules que cubren completamente las seis ubicaciones de estímulo) y finalmente, por una pantalla negra indicando que los participantes deben responder escribiendo las letras que habían visto. El tiempo de respuesta fue ilimitado.

Tras la aplicación del paradigma el estudio concluyó que las habilidades de atención pueden verse afectadas por la edad, además, se demostró cada una de las diferencias individuales de las funciones de atención, como en la capacidad de procesamiento y sesgo espacial, según lo evaluado por el paradigma TVA, vinculado con la variabilidad en la organización estructural dentro de las vías fronto-parietales (Chechlacz, et al., 2015).

Figura 6

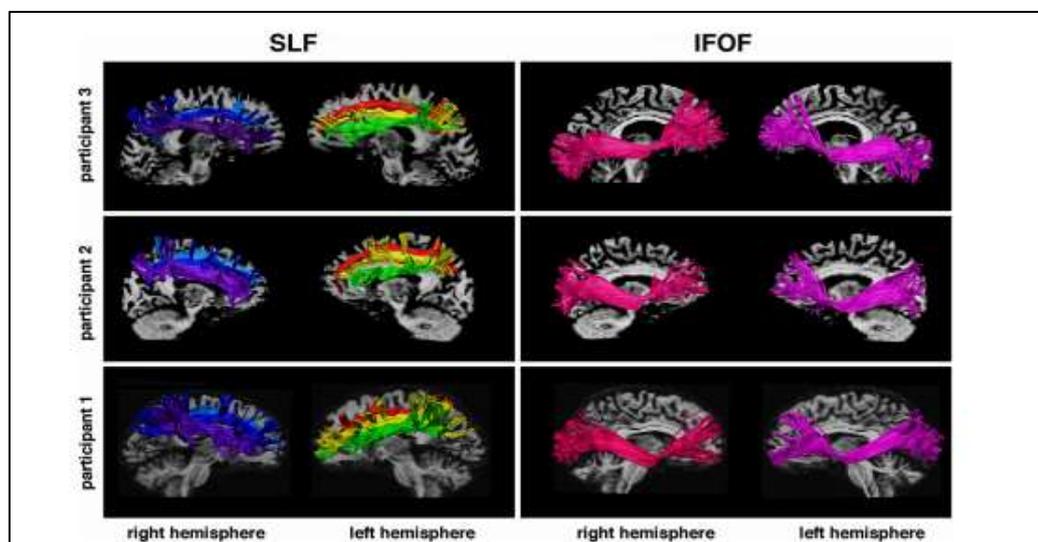
Paradigma "CombiTVA" - Condiciones de visualización de estímulos



Tomado de: Chechlac, et al., (2015 p.3)

Figura 7

Tractografía esférica de las vías fronto-parietales en tres participantes.



Ramas del SLF, I (azul claro y rojo), II (azul oscuro y amarillo) y III (violeta y verde), y el IFOF (rosa y violeta) reconstruido dentro de los hemisferios derecho e izquierdo.

Tomado de: Chechlac, et al., (2015 p.6)

Capítulo II

Metodología

3.1 Metodología Prisma

La investigación fue realizada en base al método P.R.I.S.M.A (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyse) (Moher et al., 2009). En la primera fase se seleccionó la población sujeta a estudio, que, en este caso, se trató de una muestra con o sin la existencia de daño neurológico, psiquiátrico u otras afecciones clínicas y que se hayan sometido a la aplicación de un paradigma para medir el control de la atención a través de la técnica de tractografía mediante ITD. Una vez establecida la población focal se planteó la pregunta de investigación: ¿Los paradigmas de atención pueden ser aplicables en estudios de tractografía cerebral mediante imágenes por tensión de difusión?

Como tercer paso se analiza y define los paradigmas de atención utilizados que fueron incluidos en la búsqueda por cumplir los criterios de inclusión y finalmente la cuarta fase dio lugar al análisis bibliométrico especificando el proceso de depuración de cada uno de los estudios seleccionados.

3.2 Pregunta de Investigación

La investigación pretende dar respuesta a la pregunta:

¿Los paradigmas de atención pueden ser aplicables en estudios de tractografía cerebral mediante imágenes por tensión de difusión?, si es así:

- ¿Cuáles son las características de estos paradigmas?
- ¿Los paradigmas aplicados cuentan con un grado de validez y estandarización?
- ¿La aplicación de los paradigmas demuestran resultados favorables para la investigación de zonas cerebrales y funciones cognitivas de interés?

3.3 Justificación

Para el análisis y diagnóstico de las funciones cerebrales, la neuropsicología hace uso de procedimientos clínicos apoyados en la psicometría y estudios de neuroimagen (Ardila y Ostrosky, 2012). A partir de esto se han desarrollado investigaciones sobre tales funciones, principalmente en Norteamérica, Asia y Europa, sin embargo, existen pocos reportes e investigaciones a nivel de Latinoamérica, por lo que se puede decir que la aplicación de estas técnicas en neuropsicología resulta nueva para nuestro medio.

Actualmente, las secuencias ITD constituyen un método nuevo e innovador de Resonancia Magnética (Sánchez, 2013), sin embargo, su aplicación en nuestro país es limitada debido a factores como la falta de disponibilidad de equipos, el desconocimiento de su uso, así como por el costo de los estudios, lo que parece provocar una baja demanda en salud de estas nuevas técnicas de neuroimagen debido a que resulta poco rentable ofertarlas.

De igual manera, en nuestro entorno, las investigaciones sobre el uso de resonancia magnética y específicamente con ITD son escasos. En la ciudad de Cuenca, existe la posibilidad de realizar estudios con Resonancia Magnética, pero únicamente se han realizado estudios preoperatorios para localización de motricidad y lenguaje, sin considerar evaluaciones de funciones mentales y conectividad neuronal.

No obstante, cabe recalcar que la patología cerebral tiene un impacto importante a nivel social, familiar, laboral y económico de quien la presenta (Carreón, 2017), por lo que es importante la detección temprana para su tratamiento adecuado y precisamente, una manera de prevenir complicaciones en estos cuadros de afectación neurológica y brindar pronósticos positivos, es tener mayor conocimiento del funcionamiento normal y patológico cerebral, que permita mejores propuestas para los procesos de intervención neurológica y neuropsicológica.

El aporte de esta investigación se centra en dilucidar los estudios existentes en el empleo de la neuroimagen, como son las ITD, para la valoración de las funciones cognitivas como la atención. El análisis de la revisión existente sobre este tema permite ampliar el espectro del conocimiento en cuanto a los paradigmas que actúan como herramientas directrices para los procesos de valoración, diagnóstico y pronósticos neuropsicológicos más acertados y la determinación de programas de rehabilitación más adecuados, por lo que la investigación se justifica.

3.4 Objetivos:

Objetivo general:

- Realizar una Revisión Sistemática sobre estudios de Tractografía mediante ITD aplicados con paradigmas de atención en fuentes científicas primarias.

Objetivos específicos:

- Efectuar una metodología de búsqueda sistemática de evidencia científica sobre el uso de paradigmas de atención en estudios tractográficos mediante ITD.
- Identificar los tipos de paradigmas empleados para analizar la atención en estudios de Tractografía mediante ITD.
- Analizar la confiabilidad y validez de los paradigmas de atención aplicados en los estudios de Tractografía mediante ITD.
- Determinar la literatura científica más relevante para el manejo adecuado de las ITD para el estudio de la atención en el área de neurociencias.

3.5 Hipótesis de investigación

Hi: “Los paradigmas de atención si pueden ser aplicables en estudios de tractografía cerebral mediante imágenes por tensión de difusión”

Ho: “Los paradigmas de atención no pueden ser aplicables en estudios de tractografía cerebral mediante imágenes por tensión de difusión”

3.6 Estratégias de búsqueda y fuentes de información

Teniendo en cuenta que una de las principales características de una revisión sistemática, es que la misma se trate de un estudio replicable, se detalla sistemáticamente cada paso a seguir para obtener nuestros hallazgos sumadas las más recientes actualizaciones.

Como primera etapa del proceso de búsqueda se procedió a elegir las bases de datos respectivas y palabras claves que formaran parte de la revisión.

Se utilizó los campos de búsqueda avanzada con las palabras claves en inglés:

“Tractography - paradigms of attention” - “Tractography -Diffusion tensor imaging - paradigms attention” – “White matter- Diffusion tensor imaging - paradigms attention”

La búsqueda se realizó en los meses de diciembre 2020 a enero del presente año, en las bases de datos: Ebsco, Hinari y Scopus, con el filtro de:

- Psicología y Neurociencias,
- Años 2011 al 2021,
- Inglés y español.

3.7 Criterios de Inclusión y Exclusión.

La primera clasificación de artículos fue por título y resumen llamativo, es decir aquellos estudios que por título y resumen parecen aportar información relevante para nuestra búsqueda.

Tras dar lectura al resumen de cada estudio integrado en el primer filtro se procede a dar lectura completa de cada artículo y seleccionar aquellos potencialmente relevantes por cumplir los siguientes criterios de inclusión propuestos:

Artículos en inglés y español; artículos originales, estudios de hasta 10 años de antigüedad, se admitió trabajar con una población con desarrollo típico o con la presencia de afecciones clínicas o psiquiátricas, sin límite de edad.

Se excluyeron estudios publicados en revistas no indexadas, tesis de pre y posgrados, estudios que no incluyan la atención como función a evaluar e investigaciones que no apliquen la técnica de tractografía por ITD.

3.8 Adquisición de la evidencia

A continuación, se detalla en la tabla 1 la estrategia de búsqueda aplicada que califica a nuestro estudio como replicable.

Tabla 1

Estrategias de búsqueda - palabras claves - bases de datos.

Base de datos	Palabras Claves	Fecha de Búsqueda	Resultados	Filtros	Estudios incluidos en la búsqueda.
Ebsco	“Tractography - paradigms of attention”	3/12/2020	163	- Año (2011-2021)	Se da lectura a 28 artículos por título y abstract llamativo, se integran 12 a la búsqueda.
Hinari	“Tractography - Diffusion tensor imaging - paradigms attention”	18/12/2020	7	- Año (2011-2021) - Disciplinas: Psychology anatomy y physiology	Se da lectura a los 7 artículos por título y abstract llamativo, sin embargo, no se integra ninguno a la búsqueda.
Scopus	“White matter- Diffusion tensor imaging - paradigms attention”	7/01/2020	12	- Año (2011-2021) Disciplinas: Neurociencia y Psicología	Se da lectura a los 12 artículos por título y abstract llamativo, se integran 3 a la búsqueda.

Total: 182

Total: 15

Fuente: Elaboración propia.

La recopilación de datos se llevó a cabo en las bases de datos Ebsco, Hinari y Scopus, integrando finalmente 15 artículos a la búsqueda como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Bitácora de búsqueda

Base de datos	Ecuación de búsqueda	Resultados obtenidos antes de la depuración de datos	Resultados obtenidos después de la depuración de datos	Estudios integrados a la búsqueda	Comentario
Ebsco	“Tractography - paradigms of attention”	191	Luego de depurar los datos por año de antigüedad (2011-2021), se obtiene 163 resultados.	De los 163 resultados, 28 artículos fueron tomados en cuenta por tener un título y un resumen de interés, sin embargo 16 fueron descartados por no pertenecer a nuestra línea de análisis. Se integra a la búsqueda 12 artículos.	Se empleó la opción “búsqueda avanzada”
Hinari	“Tractography -Diffusion tensor imaging - paradigms attention”	12	Luego de depurar los datos por año de antigüedad (2011-2021) y las disciplinas: Psychology anatomy y physiology se obtiene 7 resultados.	De los 7 resultados no se integra ninguno a la búsqueda por no pertenecer a nuestra línea de análisis	Se empleó la opción “búsqueda avanzada”
Scopus	TÍTULO-ABS-CLAVE (blanco Y materia- Y difusión Y tensor Y imagen Y - Y paradigmas Y atención) Y (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016)) O LÍMITE DE (PUBYEAR, 2015) O LÍMITE DE (PUBYEAR, 2014) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2011)) Y (LIMIT-TO (SUBJAREA, " NEUR") O LIMIT-TO (SUBJAREA, " PSYC"))	18	Luego de depurar los datos por año de antigüedad (2011-2018) y las disciplinas Neurociencia y Psicología se obtienen 12 resultados.	De los 12 resultados se descartan 9 por no pertenecer a nuestra línea de análisis integrando 3 a la búsqueda.	Se empleó la opción “búsqueda avanzada”

Total de artículos integrados: 15

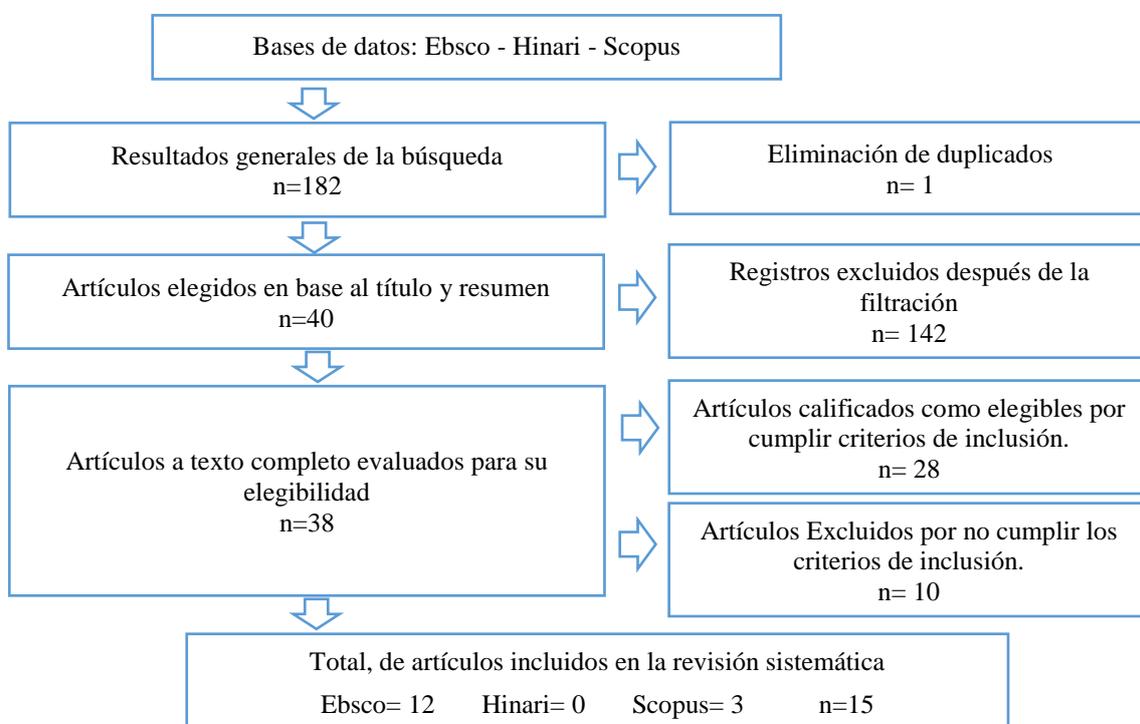
Fuente: Elaboración propia.

3.9 Selección de Estudios

La selección de estudios inició con 188 artículos obtenidos tras colocar las palabras claves, para luego dar lugar a la depuración de datos mediante los filtros por: año de antigüedad y disciplinas y finalmente realizar el cribado por título, resúmenes y texto completo a través de la metodología PRISMA, como se indica en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 8:

Diagrama de búsqueda de artículos científicos



Fuente: Elaboración propia

En el proceso de depuración de datos se llevó a cabo una exclusión de artículos bastante amplia, ya que gran parte de ellos se descontextualizaban de nuestra línea de estudio, otros no especificaban si se trataba de una técnica de tractografía o los estudios no integraban paradigmas de atención.

Llama la atención que los estudios seleccionados fueron en inglés ya que el aporte de la literatura científica en español aun es escaso.

3.10 Síntesis de la evidencia

El proceso de selección de estudio estaba en base a la evaluación de los siguientes parámetros:

- Se especificaba la muestra
- Se especificaba el sexo y edad de los participantes
- Se especificaba antecedentes neurológicos y/o psiquiátrico u otras afecciones clínicas en los participantes.
- Se especificaba un entrenamiento previo a la aplicación del paradigma.
- Se especificaba el tipo de paradigma aplicado
- Se especificaba la existencia de un consentimiento informado
- Se especificaba los resultados obtenidos tras la aplicación del paradigma.
- Se especificaba que el estudio fue realizado en base a la técnica de tractografía por ITD

Se valoró 1 pto el cumplimiento de cada ítem y 0 pts si no se especificaba o se detallaba que no cumplían.

Este procedimiento fue crucial para poder evaluar la calidad de cada uno de los estudios integrados y dar paso a la evaluación de sesgos que nos permite detectar cualquier proceso que interfiera negativamente y alteren los resultados obtenidos, incluso pudiendo hasta invalidar nuestra investigación.

3.11 Evaluación de riesgo de sesgos: Calidad de la evidencia

Esta fase consistió en analizar la metodología de cada estudio según los siguientes criterios.

Sesgo de selección: se refirió a si cada estudio describió:

- Descripción del total de muestra
- Descripción del consentimiento informado.

Sesgo de realización: se evaluó si cada estudio refirió:

- Descripción si existe o no un entrenamiento previo a la aplicación del paradigma
- El paradigma empleado incluye la evaluación de la atención.
- Si el estudio describió el total de duración (tiempo) del paradigma empleado.

Sesgo de exclusión:

- Los estudios debían incluir la tractografía por ITD como técnica aplicada, caso contrario serían excluidos de la búsqueda.

Capítulo III

Resultados

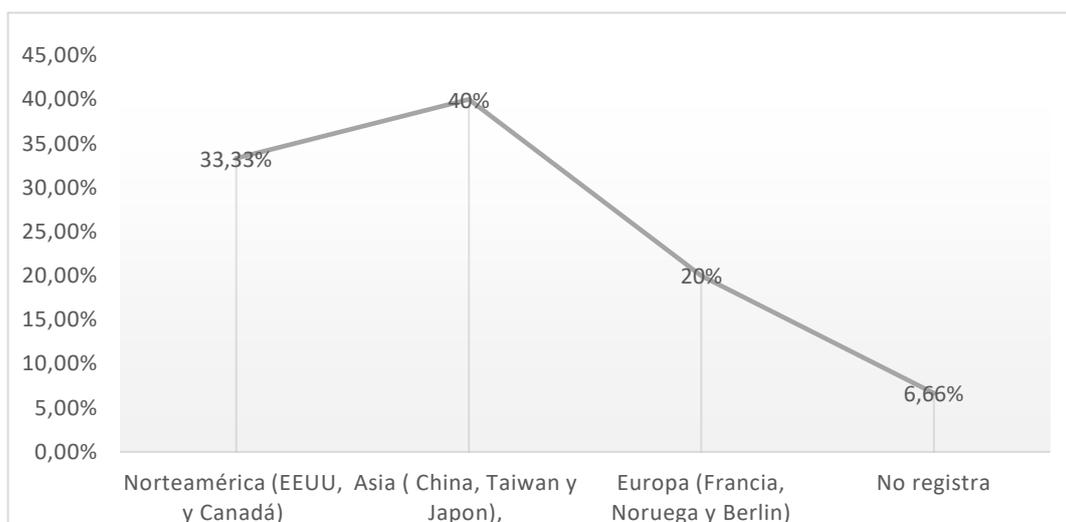
La búsqueda finalizó el 30 de enero del 2021, recopilando inicialmente 188 estudios relacionados con la temática tratada, de los cuales 46 fueron elegidos por título y resumen llamativo (artículos que parecían aportar a nuestro estudio) y de estos 28 fueron seleccionados para dar lugar a la lectura de texto completo y calificar su elegibilidad, siendo 15 estudios considerados artículos potencialmente relevantes por cumplir los criterios de inclusión requeridos y formar parte del cuerpo investigativo de la búsqueda.

4. Porcentajes de la ubicación geográfica de los estudios incluidos

Según la ubicación geográfica de los estudios integrados a la búsqueda el 33,33% fueron elaborados en Norteamérica (EEUU, y Canadá), el 40% fueron elaborados en Asia (China, Taiwan y Japón), el 20% fueron elaborados en Europa (Francia, Noruega y Berlín) y finalmente el 6,66% no registraron su ubicación geográfica.

Figura 9

Porcentajes de la ubicación geográfica de los estudios incluidos



El gráfico de líneas muestra los porcentajes de la procedencia geográfica de los estudios incluidos en la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Porcentajes de las funciones neuropsicológicas evaluadas a través de los paradigmas.

La búsqueda recopiló 24 paradigmas, siendo el test de Wechsler, (sub prueba: velocidad de símbolos), el único utilizado en dos estudios independientes, dichos paradigmas evaluaban principalmente el control de la atención, (Atención espacial, selectiva, auditiva, verbal, sostenida, visual, alternante, espontánea y tareas de alerta), sin embargo, al ser la atención un dominio cognitivo multifactorial por trabajar colateralmente con otras funciones neuropsicológicas como es el funcionamiento ejecutivo y memoria de trabajo, velocidad de procesamiento, entre otras (Tamayo. et al.,2012) los paradigmas aplicados en nuestra búsqueda también integran el desempeño de otras funciones cognitivas.

Tabla 3

Porcentajes de las funciones neuropsicológicas evaluadas a través de los paradigmas.

Función	Porcentaje	Función	Porcentaje
Atención espacial	5,7%	Atención alternante	2,8%
Atención selectiva	11,4%	Atención espontanea	2,8%
Atención auditiva	2,8%	Velocidad de procesamiento	5,7%
Atención verbal	2,8%	Control inhibitorio	5,7%
Memoria de trabajo	8,5 %	Tiempo de reacción	2,8%
Atención sostenida	17,10%	Impulsividad	2,8%
Tareas de atención	2,8%	Funcionamiento ejecutivo	11,4%
Atención visual	2,8%	Planificación	2,8%
Inteligencia	2,8%	Discriminación visual	2,8%
Motricidad	2,8%		

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Evaluación del riesgo de sesgos de los estudios incluidos en la búsqueda

Tabla 4:

Riesgo de sesgo de los estudios seleccionados.

Autor	Base de Datos	Artículo	Sesgo de selección: Consentimiento informado.	Sesgo de selección: Describe el tipo de Población (niños – adultos).	Sesgo de realización: Existe un entrenamiento previo a la aplicación del paradigma.	Sesgo de realización: - El paradigma empleado incluye la evaluación de la atención. - Se describe el tiempo de duración.	Sesgo de Exclusión: Los estudios debían incluir la tractografía por ITD como técnica aplicada.
Ailion, 2020	EBSCO	Double Dissociation of Auditory Attention Span and Visual Attention in Long-Term Survivors of Childhood Cerebellar Tumor: A Deterministic Tractography Study of the Cerebellar-Frontal and the Superior Longitudinal Fasciculus Pathways.					
Cao et al., 2013	EBSCO	Probabilistic diffusion tractography and graph theory analysis reveal abnormal white matter structural connectivity networks in drug-naive boys with attention deficit/hyperactivity disorder.					
Lin et al., 2014	EBSCO	Neural substrates of behavioral variability in attention deficit hyperactivity disorder: based on ex-Gaussian reaction time distribution and diffusion spectrum imaging tractography.					

Urbanski, 2011	EBSCO	DTI-MR tractography of white matter damage in stroke patients with neglect.					
Mayer y Vuong, 2013	EBSCO	TBSS and probabilistic tractography reveal white matter connections for attention to object features.					
Chiang, 2016	EBSCO	Different neural substrates for executive functions in youths with ADHD: a diffusion spectrum imaging tractography study.					
Ge et al., 2013.	EBSCO	Vías de fibra de subredes de atención reveladas con estadísticas espaciales basadas en tractos (TBSS) y tractografía probabilística.					
Ohtani, 2017.	EBSCO	Exploring the Neural Substrates of Attentional Control and Human Intelligence: Diffusion Tensor Imaging of Prefrontal White Matter Tractography in Healthy Cognition.					
Van, 2014.	SCOPUS	Cognitive flexibility depends on white matter microstructure of the basal ganglia.					
Klarborg et al., 2012.	SCOPUS	Sustained Attention is Associated with Right Superior Longitudinal Fasciculus and Superior Parietal White Matter Microstructure in Children.					

Kubicki, 2009.	SCOPUS	Relationship Between White Matter Integrity, Attention, and Memory in Schizophrenia: A Diffusion Tensor Imaging Study.					
Toba, 2018.	EBSCO	Common brain networks for distinct deficits in visual neglect. A combined structural and tractography MR.					
Castro, 2019.	EBSCO	White matter correlates of gait perturbations resulting from spontaneous and lateralized attention in healthy older adults: A dual-task study.					
Voineskos, 2012.	EBSCO	Age-related decline in white matter tract integrity and cognitive performance: A DTI tractography and structural equation modeling study.					
Chechlacz et al., 2015.	EBSCO	Structural Variability within Frontoparietal Networks and Individual Differences in Attentional Functions: An Approach Using the Theory of Visual Attention.					

Nota: punto amarillo (+) = bajo riesgo de sesgo; punto rojo (-) = alto riesgo de sesgo.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Cálculo en porcentajes del sesgo sistemático de los estudios integrados a la búsqueda

Partiendo de la información obtenida de la evaluación de los sesgos (tabla 4) se procedió al cálculo en porcentajes de cada estudio sobre el puntaje total de los parámetros considerados a evaluar, tal y como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5:

Cálculo en porcentajes del sesgo sistemático de todos los estudios incluidos

Autor	Año	Sesgo de selección: Máx. puntaje = 2 2 = 100%	Sesgo de Realización Máx. puntaje = 2 2 = 100%	Sesgo de Exclusión Máx. puntaje = 1 1 = 100%
Ailion	2020	2 100%	1 50%	1 100%
Cao et al.	2013	2 100%	1 50%	1 100%
Lin, et al.	2014	2 100%	2 100%	1 100%
Urbanski	2011	2 100%	1 50%	1 100%
Mayer y Vuong	2013	2 100%	2 100%	1 100%
Chiang	2016	2 100%	1 50%	1 100%
Ge et al.	2013	2 100%	2 100%	1 100%
Ohtani	2017	2 100%	1 50%	1 100%
Van	2014	1 50%	1 50%	1 100%
Klarborg et al.	2012	2 100%	2 100%	1 100%
Kubicki	2009	1 50%	2 100%	1 100%
Toba	2018	2 100%	1 50%	1 100%
Castro	2019	2 100%	1 50%	1 100%
Voineskos	2012	1 50%	1 50%	1 100%
Chechlacz et al.	2015	2 100%	1 50%	1 100%

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de los porcentajes de cada uno de los sesgos se llevó a cabo según la siguiente puntuación:

Sesgo de selección: si cada estudio describió:

- Descripción del total de muestra (1p)
- Descripción del consentimiento informado. (1p)
- Puntaje Máximo = (2p)

Sesgo de realización: se evaluó si cada estudio describía:

- Entrenamiento previo a la aplicación del paradigma (1p)
- El paradigma empleado incluye la evaluación de la atención. (1p)
- Puntaje Máximo= (2p)

Sesgo de exclusión:

- Los estudios debían incluir la tractografía por ITD como técnica aplicada (1p)
- Puntaje Máximo= (2p)

4.4 Características de los paradigmas empleados en los estudios incluidos

A continuación, en la tabla 6 se presentan las características de los paradigmas empleados en los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Tabla 6.

Resumen de los resultados incluidos en la búsqueda – características de los paradigmas.

Autor	Título de Artículo	No. de muestra	Edad de la muestra	Paradigma	Funciones Evaluadas	Resultados
Ailion, 2020	Double Dissociation of Auditory Attention Span and Visual Attention in Long-Term Survivors of Childhood Cerebellar Tumor: A Deterministic Tractography Study of the Cerebellar-Frontal and the Superior Longitudinal Fasciculus Pathways.	29 población tumoral 29 población control	Menores a 22 años	<ul style="list-style-type: none"> - Wechsler (WMS-III). - Digit Span Forward. - Delis-Kaplan (DKEFS) para proporcionar una medida de atención visual (Delis, Kaplan y Kramer, 2001). La subprueba de escaneo visual de la prueba de trazado para el funcionamiento ejecutivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad del procesamiento (Búsqueda de símbolos). - Atención espacial - Atención selectiva - Atención auditiva. - Atención verbal - Memoria de trabajo. 	Se determinó que la integridad de la sustancia blanca, el cerebelo y el lóbulo frontal se asocian con la capacidad de atención auditiva en lugar de la memoria de trabajo.
Cao et al., 2013	Probabilistic diffusion tractography and graph theory analysis reveal abnormal white matter structural connectivity networks in drug-naive boys with attention deficit/hyperactivity disorder.	30 niños con TDAH 30 niños control.	8 a 14 años	<ul style="list-style-type: none"> - Escala de Calificación IV de TDAH (RS-IV) 	<ul style="list-style-type: none"> - Atención Sostenida - Control Inhibitorio 	El grupo con TDAH mostró una disminución de la conectividad estructural en el circuito prefrontal dominante y una mayor conectividad en el circuito orbitofrontal-estriatal y estos cambios se correlacionaron significativamente con los síntomas de inatención e hiperactividad / impulsividad, respectivamente.
D- Lin et al., 2014	Neural substrates of behavioral variability in attention deficit hyperactivity disorder: based on ex-Gaussian reaction time distribution and diffusion spectrum imaging tractography.	28 jóvenes con TDAH y 28 jóvenes con desarrollo típico.	8 a 17 años	<ul style="list-style-type: none"> - Prueba neuropsicológica - Batería automatizada - Test go/no-go 	<ul style="list-style-type: none"> - Atención Sostenida - Control inhibitorio - Tiempo de reacción - Impulsividad 	Se determinó que los jóvenes con TDAH tuvieron un tiempo de respuesta significativamente más largo en las tareas ejecutadas

Urbanski, 2011	DTI-MR tractography of white matter damage in stroke patients with neglect.	12 pacientes con ACV en el hemisferio derecho (negligencia visual izquierda) y 12 pacientes control, sin daño neurológico	18 a 80 años.	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas de cancelación de tres tipos: líneas, letras y objetos. - Prueba de Wgures superpuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Atención espacial - Memoria de trabajo espacial 	Los resultados indican que la negligencia visual crónica puede correlacionarse con, daño a las conexiones frontoparietales en el hemisferio derecho, dentro de redes corticales para orientar la atención espacial, la excitación y la memoria de trabajo espacial.
Mayer y Vuong, 2013	TBSS and probabilistic tractography reveal white matter connections for attention to object features.	16 voluntarios (8 hombres, 8 mujeres)	26 años de edad	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas de selección y fijación de estímulos mediante un escáner. 	<ul style="list-style-type: none"> - Atención sostenida y selectiva. 	Los resultados demuestran que se debe tener en cuenta tanto la información funcional como la estructural para comprender la atención selectiva y la percepción de objetos.
Chiang, 2016	Different neural substrates for executive functions in youths with ADHD: a diffusion spectrum imaging tractography study	45 jóvenes con TDAH 45 jóvenes control	No específica	<ul style="list-style-type: none"> - La prueba computarizada "CANTAB" como paradigma que evalúa el desempeño del funcionamiento ejecutivo. - El "IED" un análogo computarizado del Wisconsin. - La prueba de clasificación de tarjetas para evaluar la atención selectiva. - El procesamiento rápido de información visual (RVP) para evaluar la atención sostenida. - La Prueba de la Torre de Londres para evaluar planificación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Funciones Ejecutivas - Atención Selectiva - Atención Sostenida - Planificación 	La tractografía mediante ITD demostró que los tractos frontoestriales se asociaron con la mayor parte de la FE (es decir, atención sostenida, trabajo memoria y planificación) en jóvenes control, mientras que el fascículo longitudinal superior y el fascículo arqueado se asociaron con la mayoría de las FE (es decir, sostenidas atención, memoria de corto plazo, memoria de trabajo y planificación) en jóvenes con TDAH.

Ge et al., 2013	Vías de fibra de subredes de atención reveladas con estadísticas espaciales basadas en tractos (TBSS) y tractografía probabilística.	85 adolescentes que no presentaban daño orgánico ni ningún trastorno psiquiátrico.	17 años	- Paradigma de red de atención "ANT" (prueba cognitiva").	- Sub tareas de la atención. - Alerta, Orientación. - Control Ejecutivo	Los resultados revelaron la existencia de materia blanca involucrada en las sub tareas de la atención. (alerta, orientación y control ejecutivo).
Ohtani, 2017	Exploring the Neural Substrates of Attentional Control and Human Intelligence: Diffusion Tensor Imaging of Prefrontal White Matter Tractography in Healthy Cognition	26 hombres sanos.	19 a 55 años,	Paradigmas: - Trail Making Prueba (TMT; Reitan, 1992), (prueba neuropsicológica de atención visual y tarea). - Prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WCST; Heaton, 1981). - Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition (WAIS-III; Wechsler, 1997).	- Atención Visual - Inteligencia - Funcionamiento ejecutivo. - Velocidad del procesamiento	Se determinó que la integridad de la materia blanca, tiene un mayor control de la atención capacidad que fue medida por un tiempo de rendimiento en el paradigma TMT-B más rápido y mejores puntajes de CI, además el tiempo de las pistas B y los errores del WCST harían contribución a las puntuaciones de CI.
Van, 2014	Cognitive flexibility depends on white matter microstructure of the basal ganglia	19 adultos con TDAH y 19 controles sanos	No específica	- Paradigma de cambio de atención	- Atención alternante	Mediante la técnica de tractografía por ITD, se determinó la existencia de una relación entre los ganglios basales en el desempeño cognitivo.

Klarborg et al., 2012	Sustained Attention is Associated with Right Superior Longitudinal Fasciculus and Superior Parietal White Matter Microstructure in Children.	76 niños con desarrollo típico	7 a 13 años	- Paradigma de procesamiento rápido de información visual. (RVP)	- Atención sostenida.	El estudio concluyó que un mejor desempeño de la atención sostenida se asoció con una mayor anisotropía fraccional de sustancia blanca conectando las cortezas frontal y parietal derecha.
Kubicki, 2009	Relationship Between White Matter Integrity, Attention, and Memory in Schizophrenia: A Diffusion Tensor Imaging Study	18 sujetos esquizofrénicos y 18 sujetos de comparación normales.	18 y 55 años	- Prueba de Stroop de colores.	- Atención Selectiva	Los resultados determinaron que, en el grupo de esquizofrenia, la anisotropía fraccional se encontró reducida en el haz del cíngulo. Finalmente, y lo que es más importante, solo en la población con esquizofrenia, los tiempos de respuesta se asociaron con todas las condiciones del paradigma de Stroop.
Toba, 2018	Common brain networks for distinct deficits in visual neglect. A combined structural and tractography MR.	25 pacientes – hombres diestros	28-84 años	Battery of tests (GEREN) (Azouvi et al., 2006),	- Atención Visual Direccionalidad visual.	Los resultados determinaron que los procesos cognitivos relacionados con la bisección de la línea presumiblemente involucran la percepción, atencionales y de desarrollo motor, sin embargo, las estrategias cognitivas resolver este paradigma, implica un juicio visual de longitudes horizontales, y procesos atencionales.

Castro, 2019	White matter correlates of gait perturbations resulting from spontaneous and lateralized attention in healthy older adults: A dual-task study	59 Adultos Mayores	59 – 88 años	- Paradigma de doble tarea	- Motricidad - Atención espontánea	Las perturbaciones en la velocidad de la marcha causadas por la atención espontánea se relacionaron con la integridad del circuito frontal, incluido el cuerpo calloso, mientras que las perturbaciones en la velocidad de la marcha y la longitud del paso producidas por la atención lateralizada voluntaria se asociaron con tractos que favorecen la integración visomotora y la función frontal.
Voineskos, 2012	Age-related decline in white matter tract integrity and cognitive performance: A DTI tractography and structural equation modeling study.	48 adultos sanos	No se especifica	- Paradigma "RBANS"	- Atención Sostenida y el Funcionamiento Ejecutivo. - Memoria de trabajo	- El estudio determinó que la edad y el tracto de la integridad de la materia blanca determinaba el rendimiento cognitivo atencional y ejecutivo.
Chechlac et al., 2015	Structural Variability within Frontoparietal Networks and Individual Differences in Attentional Functions: An Approach Using the Theory of Visual Attention	48 voluntarios sanos, sin antecedentes de problemas neurológicos o psiquiátricos.	5 a 26 años.	- Paradigma "CombiTVA"	- Atención visual.	Tras la aplicación del paradigma el estudio concluyó que las habilidades de atención pueden verse afectadas por la edad. Las vías de la MT, contribuyen de manera diferencial no solo a la lateralización anatómica de las redes de atención frontoparietales, sino también a las diferencias individuales en la atención.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV

Discusiones

La presente búsqueda exhaustiva enmarca las más recientes investigaciones sobre estudios de tractografía mediante imágenes por tensión de difusión (ITD), aplicados en paradigmas de atención.

En cuanto a los estudios de neuroimagen, estos funcionan como herramientas valiosas tanto en el ámbito clínico como investigativo, para detectar la estructura anatómica comprometida, no obstante, estos estudios precisan un análisis minucioso pre y post procedimiento para evitar mapeos cerebrales sesgados.

Dichos estudios, actualmente han resultado motivo de interés neurocientífico, como es el caso de la tractografía por imágenes de difusión a través de resonancias magnéticas (RM), como método para visualizar la anatomía y la integridad de los tractos de la sustancia blanca, con la finalidad de identificar el correlato neuronal de un trastorno neurológico o psiquiátrico, mediante la asociación de ésta técnica con la resonancia magnética funcional (RMf), con lo cual se pueden valorar los cambios en la activación cerebral ligados a la implementación de un programa de rehabilitación (Duque, Roa y Castedo, 2008, p.1).

Es motivo de interés explorar los paradigmas válidos y confiables que permitan mapear los procesos neuropsicológicos de interés ya que, estos resultan ser una interesante herramienta para planes de evaluación, intervención y pronóstico, suelen ser de tipo motores, visuales y de lenguaje (Ríos-Lago, 2008).

Esta búsqueda detalla cada uno de los paradigmas aplicados para procesos de evaluación y control de la atención y determina que al ser la atención un dominio cognitivo básico y a la vez complejo, marca una íntima dependencia con otros dominios como la memoria de trabajo y el funcionamiento ejecutivo, entre otros, por ello, gran parte de los estudios integrados en la búsqueda, guardan la objetividad de evaluar principalmente la función de la atención y colateralmente otras funciones dependientes a esta.

Cada uno de los estudios integrados contó con un proceso de validación estadística, asegurando que el mapeo integre zonas cerebrales de interés.

Llama la atención que el mayor porcentaje de los estudios incluidos en esta investigación fueron de países asiáticos (China, Taiwan y Japón), como se indica en la representación gráfica en la figura 9, esto puede verse fundamentado a que investigaciones han apuntado que los constructos occidentales respecto de la motivación académica pueden operar de modo distinto debido a las diferencias en el contexto cultural (Ho y Hau, 2008).

Dirigiendo el análisis a las funciones neuropsicológicas evaluadas en los paradigmas, se determinó que la función mayormente explorada a través de las tractografías, fue la atención sostenida seguida de la atención selectiva y el funcionamiento ejecutivo, tal como lo indica la representación en la tabla 3.

Los hallazgos coinciden con las afirmaciones de Álvarez et al. (2008) al mencionar que cada sujeto mantiene un potencial atencional propio, sin embargo, tanto la atención sostenida como selectiva, representan elementos atencionales básicos en procesos de enseñanza- aprendizaje y tareas cognitivas.

Esto se debe a que la atención está directamente implicada en la recepción activa de la información, (atención selectiva), tanto desde el punto de vista de su selección y reconocimiento como del mantenimiento de la actividad psicológica (atención sostenida), estas afirmaciones posiblemente justifiquen la razón por la cual, estos dos tipos de atención cobran un mayor interés en procesos de evaluación mediante estudios de tractografía por ITD.

García et al. (2014) menciona que los procesos atencionales participan colateralmente en los procesos ejecutivos, es por ello, que se suele integrar las mismas baterías para la evaluación de ambas funciones, como el Test de Cancelación de Cartas de Wisconsin, el test de Stroop o la Torre de Londres, afirmaciones que coinciden con los resultados obtenidos, ya que el porcentaje de paradigmas aplicados para evaluar la atención selectiva y el funcionamiento ejecutivo resultó ser el mismo, utilizando en ellas los mismos test neuropsicológicos (ver tabla 6).

De igual forma, los hallazgos de esta investigación desvelan un resultado homogéneo entre los paradigmas aplicados para evaluar funciones cognitivas como: atención visual, atención alternante, atención espontánea, planificación, inteligencia, discriminación visual y motricidad (ver tabla 3), dichas funciones fueron objeto de valoración, en un mínimo porcentaje, ya que como lo afirma Estévez, García y Junqué (1997) desde un punto de vista neurofuncional, la atención selectiva y sostenida juegan un papel protagonista en procesos de evaluación. Así mismo, no se deja de lado la relación directa que existe entre el nivel de inteligencia y el nivel atencional, en la primera intervienen habilidades y competencias cognitivas que exigen la participación de procesos de atención para su adecuado desempeño, por tanto, algunos paradigmas que fueron integrados a la búsqueda, utilizan las sub tareas del test de Wechsler, para medir el nivel atencional, siendo esta una prueba que evalúa las capacidades intelectuales.

“La complejidad neuroanatómica y neurofuncional de la atención hace que no pueda ser reducida o ligada a una única función o valorada con un único test” (Estévez, García y Junqué, 1997, p.1989) ya que, siendo éste, uno de los principales dominios cognitivos que se ve alterado ante la presencia de un compromiso orgánico o neurológico.

Por otra parte, cada uno de los paradigmas integrados a la búsqueda definió parámetros como: la formulación del estudio, los estímulos que se van a presentar, su duración y las instrucciones de la tarea que debe realizar el sujeto, coincidiendo con la propuesta investigativa de Armony, Trejo y Hernández (2012); así mismo, se determinó las interacciones de cada paradigma empleado con otros procesos cognitivos (tabla 6) que han podido ser evaluados en cada uno de los estudios analizados.

Se recalca que cada paradigma seleccionado a esta investigación, fue empujado a base de bloques experimentales (activación y control), y requería cierto límite de tiempo para su ejecución. Se eligió paradigmas de diseños de bloques para resguardar su alto potencial estadístico como lo sugieren Trejo y Hernández (2012), de esta manera cada bloque de cada paradigma emanaba una señal que involucraba la activación de la zona cerebral investigada y se comparaba con un bloque control.

Los hallazgos de los resultados incitan un interesante punto de discusión y análisis, al mencionar los escasos procesos psicométricos para la validación de los paradigmas, es decir que, aunque se detalle en los resultados variables como: la población, prueba aplicada y confiabilidad de las mismas, la mayoría de las pruebas aplicadas en los paradigmas fueron conocidos test de aplicación manual y no test originalmente diseñados para un proceso de escaneo.

Para sopesar este aspecto, Aguirre (2014) menciona que cada prueba precisa las adaptaciones respectivas para contexto de escaneo, con la implementación adecuada de equipos computacionales y magnéticos que permitan aumentar el grado de confiabilidad de los paradigmas e imágenes obtenidas de las tractografías por ITD.

Otro punto llamado a discutir en el presente acápite es el requerimiento necesario de una valoración neuropsicológica previa, ya que según el perfil obtenido de áreas cognitivas fuertes y débiles se elige o diseña la tarea que el paciente realizará en el magneto y permite obtener información sobre las posibles relaciones anatómo-funcionales, dicho de otra manera, ningún paradigma, debe aplicarse sin el conocimiento previo del estado cognitivo del sujeto, ya que no se podría planificar la complejidad de las tareas (Martínez, Alonso y Alonso, 2007). Contrarrestando estas afirmaciones, los estudios que respaldan nuestra investigación, presentaban un diagnóstico previo, es decir en el levantamiento de datos se constató casos de TDAH, ACV, población tumoral, esquizofrenia, desarrollo típico entre otros, (ver tabla 6), sin embargo, no constataron una valoración neuropsicológica previa, pero si se registró el puntaje del coeficiente intelectual de cada uno de los participantes, pudiendo ser este informe una directriz para la planificación del paradigma empleado.

Inclinando nuestro análisis a los errores metodológicos de los paradigmas integrados, llama la atención que 10 de los 15 estudios seleccionados, marcan la existencia del sesgo de realización, referente a la evaluación de la existencia de un entrenamiento previo a la aplicación del paradigma. Al parecer la literatura científica no demuestra un consenso entre los investigadores sobre la importancia de ir estandarizando este tipo de metodología, por lo que esto dependería únicamente de la preferencia del personal a cargo.

CONCLUSIONES

A modo de conclusión, se determinó que la aplicación de paradigmas atencionales mediante técnicas de tractografía por imágenes de difusión actualmente han marcado un fecundo progreso en el desarrollo de las neurociencias y neuropsicología, ya que estas técnicas de neuroimagen funcionan como directrices para procesos de evaluación, pronóstico e intervención.

Contribuyendo las acotaciones de Luria, al hablar de un “Sistema Funcional Complejo”, este estudio determina que la atención, es una función cognoscitiva integrada con varios componentes, marcando una íntima dependencia con otras funciones y zonas cerebrales, para su adecuado desarrollo, es por ello, que no puede ser evaluada por un único test y debe verse apoyada en técnicas de neuroimagen que en el presente contexto investigativo abriga los estudios de tractografía por ITD.

La atención selectiva y sostenida fueron funciones que cobraron mayor peso en el interés neurocientífico, de esta investigación, por ser procesos cognitivos protagónicos, básicos y complejos, que direccionan el desarrollo de otros procesos cognitivos.

Finalmente se da una respuesta afirmativa y favorable a la pregunta de investigación, es decir, los paradigmas de atención si pueden ser aplicables en estudios de tractografía por ITD. Los paradigmas atencionales que respaldan la presente revisión, se encontraron sustentados bajo evidencia científica ya que han sido reclutados por bibliografía especializada y han demostrado ser viables y confiables para procesos investigativos y clínicos.

RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

La ejecución de esta investigación mantuvo ciertas limitaciones como la poca actualización que aborda la temática tratada, es por ello que se decidió extender el nivel de antigüedad de cada uno de los estudios, considerando artículos desde el año 2011 al 2021, a más de eso, la presente búsqueda no registro paradigmas atencionales originalmente diseñados en contexto de escaneo, es por ello que, se integró paradigmas de aplicación manual (tareas de papel y lápiz), que hayan sido debidamente adaptados a estudios magnéticos y computarizados bajo la técnica de tractografía por ITD.

Por otro lado, la información obtenida en español fue escasa, por lo que se propuso diseñar el protocolo de búsqueda con literatura en inglés.

Se trabajó con tres bases de datos (Hinari, EBSCO, Scopus), sin embargo “Hinari” no reclutó estudios que contextualicen nuestra línea de análisis, por lo que se recomienda a investigaciones futuras ampliar las bases de datos con la finalidad de recapitular mayor información y finalmente se recomienda a los profesionales incorporar a la práctica clínica y científica los paradigmas atencionales propuestos en esta revisión ya que los mismos se encuentran estandarizados y basados en evidencia científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, D. (2012). Tamaño de muestra a considerarse en un estudio de resonancia magnética funcional (RMF) con un equipo de resonancia magnética 1.5 T. *Rev. Ecuat. Neurol.*, *21* (1-3), 10-14.
- Aguirre, D. F., y Bustamante, B. (2014). Mapeo de la Función Cerebral. *BIOscientis Revista de Divulgación Científica*, *1* (2), 44-48.
- Ailion, A. S., King, T. Z., Roberts, S. R., Tang, B., Turner, J. A., Conway, C. M., y Crosson, B. (2020). Double Dissociation of Auditory Attention Span and Visual Attention in Long-Term Survivors of Childhood Cerebellar Tumor: A Deterministic Tractography Study of the Cerebellar-Frontal and the Superior Longitudinal Fasciculus Pathways. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *26* (10), 939-953.
<https://doi:10.1017/s1355617720000417>
- Álvarez, L., González, P., Núñez, J. C., González-Pienda, J. A., y Bernardo, A. (2008). Evaluación y control de la activación cortical en los déficit de atención sostenida. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, *8*(2), 509-524.
<https://www.redalyc.org/pdf/337/33712001011.pdf>
- Ardila, A. y Ostrosky, F. (2012). Guía para el Diagnóstico Neuropsicológico.
https://www.researchgate.net/publication/266558402_Guia_para_el_Diagnostico_Neuropsicologico/download
- Ardila, A., & Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología Clínica*. Manual Moderno S.A.
- Armony, J., Trejo, D. y Hernández, D. (2012). Resonancia Magnética Funcional (RMf): Principios y aplicaciones en Neuropsicología y Neurociencias Cognitivas. *Revista Neuropsicología Latinoamericana*, *4*(2), 36–50.
- Cabrales, A. (2015). Neuropsicología y la localización de las funciones cerebrales superiores en estudios de resonancia magnética funcional con tareas. *Acta Neurol. Colomb.*, *31*(1), 92-100.
<http://dx.doi.org/10.22379/2422402214>.
- Cala Aparicio, W. L., Castellanos Durán, K. D., y Niño Duarte, Y. P. (2016). Deterioro cognitivo en pacientes con trauma craneoencefálico.

- Cao, Q., Shu, N., An, L., Wang, P., Sun, L., Xia, M. R., y He, Y. (2013). Probabilistic diffusion tractography and graph theory analysis reveal abnormal white matter structural connectivity networks in drug-naive boys with attention deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Neuroscience*, 33(26), 10676-10687.
- Carreón, H. (2017). Repercusión social en la persona con traumatismo craneoencefálico. *Rev Instituto Mexicano del Seguro Social*, 25(2), 133-138.
- Castro-Chavira, SA, Vangberg, TR, Gorecka, MM, Vasylenko, O., Waterloo, K. y Rodríguez-Aranda, C. (2019). La sustancia blanca se correlaciona con las alteraciones de la marcha que resultan de la atención espontánea y lateralizada en adultos mayores sanos: un estudio de doble tarea. *Gerontología experimental*, 128,(1), 110744.
<https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110744>
- Cevallos, S. (2017). Traumatismo cranceocefalico severo en Ecuador.
<http://achpe.org.ec/wp-content/uploads/2018/07/neuromonitoreo-ilovepdf-compressed.pdf>.
- Chiang, H.-L., Chen, Y.-J., Shang, C.-Y., Tseng, W.-Y. I., y Gau, S. S. (2016). Different neural substrates for executive functions in youths with ADHD: a diffusion spectrum imaging tractography study. *Psychological Medicine*, 46(06), 1225–1238.
<https://doi:10.1017/s0033291715002767>
- Duque, A., Roa, E., & Castedo, J. (2008). Anatomía de la sustancia blanca mediante tractografía por tensor de difusión. *Radiología*, 50(2), 99-111.
[https://doi.org/10.1016/S0033-8338\(08\)71944-1](https://doi.org/10.1016/S0033-8338(08)71944-1)
- Estévez-González, A., García-Sánchez, C., & Junqué, C. (1997). La atención: una compleja función cerebral. *Revista de neurología*, 25(148), 1989-1997.
- García, T., González-Castro, P., Pérez, C. R., Cueli, M., García, D. Á., y Álvarez, L. (2014). Alteraciones del funcionamiento ejecutivo en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad y sus subtipos. *Psicología educativa*, 20(1), 23-32.
<https://doi.org/10.1016/j.pse.2014.05.003>
- Ge, H., Yin, X., Xu, J., Tang, Y., Han, Y., Xu, W.,... Liu, S. (2013). Vías de fibra de subredes de atención reveladas con estadísticas espaciales basadas en tractos (TBSS) y tractografía probabilística. *PLoS ONE*, 8 (11), 1-4.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078831>

- Godinez Castillo Claudia y Flores Olvera, D. M. (2019). Disregulación y emociones morales en educación: aportaciones desde la neuropsicología. *Revista de la Escuela de Ciencias de la Educación*, 1(14).
- Gómez Uribe, P. A. (2016). Análisis de las habilidades cognitivas básicas (atención y memoria), el nivel de inteligencia emocional y el rendimiento académico, así como su posible relación, en los estudiantes de los grados 9, 10, y 11 de la Institución Educativa Santa Gema del municipio de Buriticá.
<http://hdl.handle.net/10495/14416>
- Hipólito, S. E. C. Resonancia magnética: bases físicas y aplicaciones clínicas del tensor de difusión y la tractografía.
- Ho, I. T., & Hau, K. (2008). Academic achievement in the Chinese context: The role of goals, strategies, and effort. *International Journal of Psychology*, 43(5), 892–897.
<https://doi.org/10.1080/00207590701836323>
- Ison, M. (2009). Abordaje psicoeducativo para estimular la atención y las habilidades interpersonales en escolares argentinos. *Persona: Revista de la Facultad de Psicología*, 12, 29–51
- Klarborg, B., Skak Madsen, K., Vestergaard, M., Skimminge, A., Jernigan, TL y Baaré, WFC (2012). La atención sostenida se asocia con el fascículo longitudinal superior derecho y la microestructura de la sustancia blanca parietal superior en los niños. *Mapeo del cerebro humano*, 34 (12), 3216–3232.
[https://doi: 10.1002 / hbm.22139](https://doi:10.1002/hbm.22139)
- Lepe Martínez, N. F., Pérez-Salas, C. P., Rojas Barahona, C., & Ramos Galarza, C. (2018). Funciones ejecutivas en niños con trastorno del lenguaje: algunos antecedentes desde la neuropsicología. *Avances en psicología latinoamericana*, 36(2), 389-403.
<http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/apl/a.5609>
- Lin, H. Y., Gau, S. S., Huang-Gu, S. L., Shang, C. Y., Wu, Y. H., y Tseng, W. I. (2014). Neural substrates of behavioral variability in attention deficit hyperactivity disorder: based on ex-Gaussian reaction time distribution and diffusion spectrum imaging tractography. *Psychological Medicine*, 44(8),1751–1764.
<https://doi:10.1017/S0033291713001955>

- Martínez, M. Giannelli, A., Moguillansky, S., Egea, D., Clas, G. y Ferreyra, L. (2010). Utilidad Educativa y Diagnóstica de la Tractografía. *Revista Argentina de Anatomía Online*, 1 (1), 1-31.
- Martínez-Rosas, A., Alonso-Vanegas, M., y Alonso-Vanegas, M. (2007). Aspectos neuropsicológicos de la resonancia magnética funcional. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 16(1),1-3.
- Mayer, K. M., & Vuong, Q. C. (2013). *TBSS and probabilistic tractography reveal white matter connections for attention to object features*. *Brain Structure and Function*, 219(6), 2159–2171.
<https://doi:10.1007/s00429-013-0631-6>
- Moscoso, O., Restrepo de Mejía, F., Orrego, M. y Vidarte, J. (2010). Uso de los potenciales relacionados a eventos cognitivos (pres) en el diagnóstico de Trastorno por Déficit de la Atención e Hiperactividad (TDAH). *Ánfora*, 17(28), 35–51.
- Muñoz, H., Aiello, H., Ortega, X., Pietrani, M., Guerra, F., Herrera, M. y Prayer, D. (2013). Consenso latinoamericano sobre resonancia magnética fetal. *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, 78(2), 139-141.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75262013000200012>
- Mujica B, Máximo, González T, Guido, Larraín G, Cristián, Miller T, Patricio y Castoldi L, Francesca. (2003). Resonancia Magnética Cerebral en daño Axonal Difuso. *Revista chilena de radiología*, 9(4), 182-186.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082003000400004>
- Narberhaus, A., Segarra-Castells, M. D., Verger-Maestre, K., Serra-Grabulosa, J. M., Salgado-Pineda, P., Bartomeus-Jené, F., y Mercader-Sobrequés, J. M. (2003). Evaluación de la atrofia cerebral difusa en pacientes con antecedentes de traumatismo craneoencefálico y su relación con el deterioro cognitivo. *Revista de neurología*, 36(10), 925-929.
- Ohtani, T., Nestor, PG, Bouix, S., Newell, D., Melonakos, ED, McCarley, RW,... Kubicki, M. (2017). Explorando los sustratos neuronales del control de la atención y la inteligencia humana: imágenes de tensor de difusión de la tractografía de materia blanca prefrontal en la cognición sana. *Neurociencia*, 341(1),52–60.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.002>
- Ordóñez, E., Marín, J., Hernández, J., Bello, May., Ordóñez, J., Saavedra, K., Montes, N., Angulo, D. y Ordóñez, E. (2019). Principios de tractografía cerebral. *Repertorio Medicina y Cirugía*, 28(1), 29-38.

- Portellano Perez, J. A., Mateos Mateos, R., Martínez Arias, R., Tapia Pavon, A., & Granados García-Tenorio, M. J. (1999). *Cumanin Manual, Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil*. TEA.
- Ramos-Galarza, C., Ramos, V., Jadán-Guerrero, J., Lepe-Martínez, N., Paredes-Núñez, L., Gómez-García, A., y Bolaños-Pasquel, M. (2017). Conceptos fundamentales en la teoría Neuropsicológica. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 26 (1), 53-60.
- Ríos-Lago, M. y Adrover-Roig, D. (2014). La atención en Neurociencia cognitiva, 1(1) 177-195.
- Ríos-Lago, M. (2008). Neuropsicología y resonancia magnética funcional: Conceptos generales. *Radiología*, 50(5), 351–365.
[https://doi.org/10.1016/S0033-8338\(08\)76050-8](https://doi.org/10.1016/S0033-8338(08)76050-8)
- Rubio, N. y Miranda, J. (2013). Diagnóstico precoz de las enfermedades cerebrovasculares isquémicas. *Medisan*, 17(11), 8089-9003.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1029-30192013001100015
- Rueda, O. y Enríquez, L. (2018). Una revisión de técnicas básicas de neuroimagen para el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas. *Revista Biosalud*. 17(2), 59-90.
<http://dx.doi.org/10.17151/biosa.2018.17.2.5>
- Sánchez, J. (2013). *Análisis de las tumoraciones intracraneales mediante imágenes tensor difusión: física, diagnóstico y aplicaciones prácticas* [Tesis Doctoral] Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Sans, R. C., López-Sala, A., & Boix, C. (2009). Aspectos neuropsicológicos del daño cerebral difuso adquirido en la edad pediátrica. *Rev Neurol*, 48(2), 23-26.
- Sevilla, J. G. (1991). Paradigmas experimentales en las teorías de la automaticidad. *Anales de Psicología*, 7(1), 1-30.
<https://revistas.um.es/analesps/article/view/28281>
- Tamayo, F., Casals-Coll, M., Sánchez-Benavides, G., Quintana, M., Manero, R. M., Rognoni, T., Peña-Casanova, J. (2012). Estudios normativos españoles en población adulta joven (proyecto neuronorma jóvenes): normas para las pruebas span verbal, span visuoespacial, letter-number sequencing, trail making test y symbol digit modalities test. *Neurología*, 27(6), 319–329.
<https://doi:10.1016/j.nrl.2011.12.020>

- Tirapu Ustárróz, Javier. (2007). La evaluación neuropsicológica. *Psychosocial Intervention*, 16(2),189-211.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-05592007000200005&lng=es&tlng=pt.
- Toba, M., Migliaccio, R., Batrancourt, B., Bourlon, C., Duret, C. (2018). Redes cerebrales comunes para distintos déficits en la negligencia visual. Un enfoque combinado de resonancia magnética estructural y tractografía. *Neuropsychologia*, 115(1),167-178.
<https://doi: 10.1016 / j.neuropsychologia.2017.10.018>
- Urbanski de Schotten T., Rodrigo, S., Oppenheim, C., Touzé, E., Méder, J. F., ... & Bartolomeo, P. (2011). DTI-MR tractography of white matter damage in stroke patients with neglect. *Experimental brain research*, 208(4), 491-505.
<https://doi.org/10.1007/s00221-010-2496-8>
- Ustárróz, Javier Tirapu. (2011). Neuropsicología: neurociencia y las ciencias "Psi". *Cuadernos de neuropsicología*, 5(1), 11-24.
http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-41232011000100002
- Van, MR., Onnink, A., Kan, C., Zwiers, M., Hoogman, M., Cools, R. (2014). La flexibilidad cognitiva depende de la microestructura de la sustancia blanca de los ganglios basales. *Neuropsychologia*, 53(1) 171-177.
<https://doi: 10.1016 / j.neuropsychologia.2013.11.015>
- Voineskos, A.,Rajji, T., Lobaugh, N., Miranda, D., Shenton, M., Kennedy, J., Mulsant, B. (2012). Disminución relacionada con la edad en la integridad del tracto de materia blanca y el rendimiento cognitivo: un estudio de modelado de ecuaciones estructurales y tractografía DTI. *Neurobiology of Aging*, 33 (1), 21–34.
<https://doi: 10.1016 / j.neurobiolaging.2010.02.009>
- Xu, H., Dong, M., Lee, M., Orhara, N., Asano, E. y Jeong, J. (2019). Detección objetiva de vías axonales elocuentes para minimizar los déficits postoperatorios en cirugía de epilepsia pediátrica mediante tractografía de difusión y redes neuronales convolucionales. *Biblioteca Nacional de Medicina*, 1(1), 1–12.
<https://doi: 10.1109 / tmi.2019.2902073>
- Yañez, P., Orellana, Y., Vega, D., Naranjo, M., y Navarro, F. (2009). Tractografía y tensor de difusión en el estudio por resonancia magnética del nervio mediano: reporte de un caso. *Revista chilena de radiología*, 15(1), 59-64.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082009000400009>