

Balance postural y navegación espacial en niños entre 7 y 10 años de un colegio de la Sabana de Bogotá: Estudio Correlacional

Ana María Becerra Dimaté

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Ciencias Fisiológicas
Bogotá, Colombia
2022

Balance postural y navegación espacial en niños entre 7 y 10 años de un colegio de la Sabana de Bogotá: Estudio Correlacional

Ana María Becerra Dimaté

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Fisiología

Director (a):

MD. Esp. Jairo Alberto Zuluaga Gómez

Línea de Investigación:

Neurofisiología del Desarrollo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Ciencias Fisiológicas
Bogotá, Colombia

2022

“Nuestros conocimientos actuales nos llevan a ver el mundo material como una red de relaciones inseparables. Y en cuanto a la separación entre cuerpo y mente, hemos comprobado que cada célula individual es un sistema cognitivo vivo de por sí, conectado con todo lo demás...”

Fritjof Capra

Agradecimientos

Al Dios/Universo por los tiempos justos y procesos necesarios,

A mis papás y mi hermano por no sólo ser cimiento y pilar de éste árbol, sino además aportar en la forma y color de las ramas,

Al profesor Jairo Zuluaga por ser maestro en lo académico y en lo humano,

Al colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza y en su representación la profesora Nancy Dimaté, por nunca cerrarme las puertas de la que alguna vez fue mi casa,

A los niños y niñas participantes y sus papás, por su disposición y colaboración,

A mis amigas y amigos por ser tantas veces soporte, refugio y dar luz, en lo racional y en el alma misma,

A todas las personas que contribuyeron con su energía e ideas no solo lógicas, a éstas páginas, especialmente a Gustavo Pineda, Sebastián Gutiérrez y Javier Rivero, gracias por su dedicación e interés en que ésta idea llegara a feliz término,

A Claudia Galeano por demostrar que el trabajo puede contribuir al desarrollo del potencial humano,

A la maestría en Fisiología, sus docentes y personal administrativo, por todo lo aprendido no sólo en lo académico, gracias por la dedicación, apoyo y guía,

A la siempre amada Universidad Nacional de Colombia por ser espacio de resistencia en dónde aún está permitido pensar, discernir y también sentir,

Y finalmente a mí, por persistir.

Resumen

Introducción: El avance en la comprensión de la relación cuerpo - mente ha permitido reconocer la influencia de cualidades motrices en procesos cognitivos entre ellos el procesamiento espacial, no obstante, poco se ha investigado en la temática de control motor y menos aún en población infantil, etapa vital con comportamientos neuronales particulares y en la cual se está en constante exposición a procesos de aprendizaje que necesitan ser potencializados. El objetivo de ésta investigación consistió en establecer si existe correlación entre el balance postural y la navegación espacial en la infancia.

Metodología: Se planteó un diseño transversal con niños potencialmente sanos a quienes se les aplicaron pruebas de toma de perspectiva y rotación mental como indicadores indirectos de la navegación espacial, así como el registro de centro de presión (COP) en diversas condiciones posturales que fue analizado desde mediciones y mediciones no lineales, adicional a la medición de las variables condicionantes. Se realizó la descripción del comportamiento de las variables principales de forma general y en función de las características edad, sexo, nivel de actividad física y desarrollo motor, para posteriormente obtener las correlaciones mediante diagramas y coeficientes entre los valores indirectos de navegación espacial y las mediciones de balance postural tanto de la prueba global como segmentada (Lineales y no lineales).

Resultados: El estudio contó con 29 niños y niñas en 7 y 10 años los cuales obtuvieron puntuaciones superiores al 90% en las pruebas de rotación mental y toma de perspectiva, así como niveles de actividad física y desarrollo motor dentro de lo esperado. Para las mediciones del COP se obtuvieron valores que cambiaban en función de las diversas condiciones sensoriales, además de presentar comportamientos diferenciales en función de la edad y sexo. Respecto a la relación

entre las variables principales, se encontró una correlación discreta entre la medición indirecta de navegación espacial y algunas mediciones no lineales del balance postural.

Discusión: La presente investigación sugiere la existencia de una correlación discreta entre la navegación espacial y el balance postural lo que da cuenta de un sistema de funcionamiento de naturaleza en red más que jerárquica como se ha concebido históricamente. Adicionalmente se evidencia el grado de complejidad subyacente al control motor, así como la presencia de estrategias motrices y cognitivas diferenciales en la población infantil.

Palabras clave: Balance postural, navegación espacial, correlación, niños, control postural, complejidad, cognición.

Abstract

Postural balance and spatial navigation in children between 7 and 10 years old from a school in the Bogotá savannah: Correlational study

Introduction: Recent knowledge on body-mind relationship have made it possible to recognize the influence of motor qualities on cognitive processes like spatial processing, however, little has been investigated on the subject of motor control and even less in childhood, that is a vital stage with particular neuronal behaviors and in which one is in constant exposure to learning processes that need to be facilitated. The objective of this research was to establish if there is a correlation between postural balance and spatial navigation in childhood.

Methods: A cross-sectional design was proposed with potentially healthy children who were tested with perspective taking and mental rotation as indirect indicators of spatial navigation, as well as the capture of the center of pressure (COP) in different postural conditions that was analyzed with linear and non-linear measures, in addition to the measuring of conditioning variables. The description of the behavior of the main variables was carried out in a general way and according to the characteristics of age, sex, physical activity level and motor development, to later obtain the correlations through diagrams and coefficients between the indirect values of spatial navigation and the measurements of postural balance of both the global and segmented tests with linear and non-linear measures.

Results: 29 children were included aged 7 and 10 years who achieved scores above 90% in the mental rotation and perspective taking tests, functional levels of physical activity and motor development. For the COP measurements, linear and non-linear values changed according to different sensory conditions, in addition to presenting distinct behaviors depending on age and sex. Regarding the relationship between the main variables, a discrete correlation was found between the indirect

measurement of spatial navigation and some non-linear measures of postural balance.

Discussion: This research suggests the existence of a discrete correlation between spatial navigation and postural balance, which accounts for a network-like operating system rather than a hierarchical one as it has been conceived historically. Additionally, the degree of complexity underlying motor control is evidenced, as well as the presence of differential cognitive and motor strategies in childhood.

Keywords: Postural balance, spatial navigation, correlation, children, postural control, complexity, cognition

Contenido

Lista de Imágenes	13
Lista de Tablas	14
Lista de Gráficas	16
Lista de Símbolos y abreviaturas	18
Introducción.....	19
Capítulo 1: Problema De Investigación	21
1.1. Descripción del problema.....	21
1.2. Formulación del problema.....	21
Capítulo 2: Justificación	22
Capítulo 3: Propósito Y Objetivos	24
3.1. Propósito	24
3.2. Objetivos.....	24
3.2.1. Objetivo General	24
3.2.2. Objetivos Específicos.....	24
Capítulo 4: Marco de Referencia.....	25
4.1. Antecedentes Teóricos	25
4.1.1. Percepción, cognición y acción	25
4.1.1.1. Definición de cognición y evolución del concepto	25
4.1.1.2. Relación percepción – acción	26
4.1.1.3. Cognición en función de la acción - percepción.....	29
4.1.2. Balance.....	31
4.1.2.1. Definición	31

4.1.2.2.	Fisiología del Balance Postural.....	32
4.1.2.3.	Desarrollo del balance postural.....	36
4.1.3.	Navegación Espacial.....	37
4.1.3.1.	Definición.....	37
4.1.3.2.	Fisiología de la navegación espacial.....	37
4.1.3.3.	Desarrollo de la navegación espacial.....	42
4.2.	Antecedentes Investigativos.....	44
4.2.1.	Relación entre balance postural y navegación espacial.....	44
4.2.2.	Relación entre Navegación espacial y habilidades académicas.....	46
4.2.3.	Medición del balance.....	49
4.2.4.	Medición de la navegación espacial.....	52
4.2.5.	Medición de Variables Intervinientes.....	55
4.2.5.1.	Nivel o estado de actividad física.....	55
4.2.5.2.	Nivel o estado de desarrollo motor.....	57
Capítulo 5:	Diseño Metodológico.....	61
5.1.	Tipo de estudio.....	61
5.2.	Población y muestra.....	61
5.2.1.	Población del estudio.....	61
5.2.2.	Criterios de inclusión y exclusión.....	62
5.2.3.	Estimación del tamaño muestral.....	62
5.2.4.	Método de Muestreo.....	63
5.3.	Selección y operacionalización de variables.....	65
5.4.	Hipótesis.....	65
5.4.1.	Nula (H0).....	65
5.4.2.	Alternativa (H1).....	65

5.5.	Plan de recolección y procesamiento de la información	65
5.5.1.	Diligenciamiento de formato de recolección de datos	66
5.5.2.	Orden de aplicación de las pruebas	66
5.5.3.	Medición del nivel de actividad física.....	67
5.5.4.	Medición de la Navegación Espacial	67
5.5.5.	Medición del Balance	67
5.5.6.	Medición del nivel de desarrollo motor	69
5.6.	Plan de análisis de la información.....	69
5.6.1.	Descripción de comportamiento de las variables	69
5.6.2.	Correlación	71
5.7.	Consideraciones éticas	71
Capítulo 6: Resultados.....		73
6.1.	Caracterización de la población	73
6.2.	Medición de balance postural y navegación espacial	74
6.2.1.	Medición de Navegación Espacial.....	74
6.2.2.	Medición de Balance Postural	75
6.3.	Descripción de variables principales de acuerdo a características de la población	81
6.3.1.	Navegación espacial en función de variables condicionantes	81
6.3.2.	Balance postural en función de variables condicionantes	83
6.4.	Correlación entre balance postural y navegación espacial	93
6.4.1.	Coeficientes de correlación utilizados	93
6.4.2.	Correlación entre navegación espacial y valores totales de las mediciones lineales y no lineales de balance postural.....	94
6.4.3.	Correlación entre navegación espacial y mediciones lineales de los diversos estadios de balance	97

6.4.4. Correlación entre navegación espacial y mediciones no lineales de los diversos estadios de balance	98
Capítulo 7: Discusión	103
7.1. Caracterización de la muestra.....	103
7.2. Medición de las variables de navegación espacial y balance postural	105
7.3. Comportamiento de las variables principales en función de las variables condicionantes.....	109
7.4. Correlación entre las variables principales.....	112
Capítulo 8: Conclusiones, limitaciones e implicaciones	117
8.1. Conclusiones.....	117
8.2. Limitaciones y recomendaciones	118
8.3. Implicaciones	120
A. Anexo 1. Cuadro de Operacionalización de Variables	122
B. Anexo 2. Formato de Recolección de Datos	125
C. Anexo 3: Información Complementaria de Resultados	126
Bibliografía	135

Lista de Imágenes

Imagen 1. “Arquitectura esquemática para la coordinación sensoriomotora percepción-acción”	27
Imagen 2 Fórmula para el cálculo muestral con un planteamiento bilateral.....	63
Imagen 3 Fórmula para la asignación proporcional	64

Lista de Tablas

Tabla 1. Criterios de selección de la investigación.....	62
Tabla 2 Estratos de método de muestreo	64
Tabla 3. Características de los sujetos de estudio.....	74
Tabla 4. Resultados obtenidos para cálculo de navegación espacial	75
Tabla 5. Mediciones lineales de balance postural	76
Tabla 6. Mediciones no lineales de balance postural	78
Tabla 7. Valores promedio de navegación espacial en las distintas categorías de las variables condicionantes	82
Tabla 8. Comportamiento de las mediciones lineales de balance postural en función del sexo biológico	83
Tabla 9. Comportamiento de las mediciones lineales de balance postural en función de la edad	86
Tabla 10. Parámetros lineales del balance postural en función del nivel de desarrollo motor	88
Tabla 11. Valores de la entropía de muestra en función del sexo biológico.....	89
Tabla 12. Valores de la entropía de muestra en función de la edad	91
Tabla 13. Valores de la entropía de muestra en función del nivel de desarrollo motor .	92
Tabla 14. Niveles de dependencia a partir de los coeficientes de correlación	94
Tabla 15. Valores de p y coeficientes de las pruebas de hipótesis para la correlación entre navegación espacial y mediciones lineales del total de la prueba de balance postural	95
Tabla 16. Valores de p y coeficientes de las pruebas de hipótesis para la correlación entre navegación espacial y mediciones no lineales del total de la prueba de balance postural	96
Tabla 17. Coeficiente de Spearman para las mediciones lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal.....	98
Tabla 18. Coeficiente de Kendall para las mediciones lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal.....	98

Tabla 20 Coeficiente de Spearman para las mediciones no lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal.....	101
Tabla 21 Coeficiente de Kendall para las mediciones no lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal.....	102
Tabla 22. Selección y Operacionalización de Variables.....	124
Tabla 24. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del sexo biológico.....	128
Tabla 25. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de la edad	129
Tabla 26. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del nivel de desarrollo motor	131

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Diagrama de cajas y bigotes de resultados navegación espacial	75
Gráfica 2. Diagramas de cajas y bigotes de mediciones lineales de COP en ejes "X" y "Y"	77
Gráfica 3. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía aproximada y de muestra para los ejes "X" y "Y" de la medición de balance postural	79
Gráfica 4. Diagramas de cajas y bigotes de valores de dimensión de correlación y análisis de fluctuación de tendencia para los ejes "X" y "Y" de la medición de balance postural	80
Gráfica 5. Diagramas de cajas y bigotes de valores de exponentes de Lyapunov para los ejes "X" y "Y" de los datos de balance postural.....	81
Gráfica 6. Diagramas de cajas y bigotes de valores de navegación espacial en función de la edad y el sexo biológico	82
Gráfica 7. Diagramas de cajas y bigotes de valores de área promedio y longitud promedio del COP en función del sexo biológico.....	84
Gráfica 8. Diagramas de cajas y bigotes de velocidades promedio en "X" y "Y" en función del sexo biológico.....	85
Gráfica 9. Histogramas con valores promedio de parámetros lineales del balance postural en función de la edad.....	87
Gráfica 10. Histogramas con valores promedio de parámetros lineales en función del nivel de desarrollo motor	88
Gráfica 11. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía de muestra en función del sexo biológico.....	90
Gráfica 12. Histogramas con valores promedio de entropía de muestra en función de la edad	91
Gráfica 13. Histogramas con valores promedio de entropía de muestra en función del nivel de desarrollo motor	92
Gráfica 14. Gráficos de dispersión con recta de regresión significativa para el eje X entre navegación espacial y mediciones no lineales de la prueba total de balance postural .	95

Gráfica 15. Gráficos de dispersión con recta de regresión significativa para el eje “Y” entre navegación espacial y mediciones no lineales de la prueba total de balance postural	96
Gráfica 16. Gráficas de dispersión con coeficientes significativos para apoyo bipodal con ojos cerrados.....	99
Gráfica 17. Gráficas de dispersión con coeficientes significativos para apoyo unipodal derecho	100
Gráfica 18. Diagramas de cajas y bigotes de valores de navegación espacial en función del nivel de actividad física y de desarrollo motor	126
Gráfica 19. Diagramas de cajas y bigotes con valores de parámetros lineales del balance postural en función del nivel de actividad física	128
Gráfica 20. Diagramas de cajas y bigotes con valores de análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del sexo biológico	129
Gráfica 21. Histogramas con valores promedio del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de la edad	130
Gráfica 22. Diagramas de cajas y bigotes con valores de análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de los niveles de actividad física.....	130
Gráfica 23. Histogramas con valores promedio del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del nivel de desarrollo motor	131
Gráfica 24. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía de muestra en función de los niveles de actividad física	132
Gráfica 25. Diagramas de dispersión entre navegación espacial y mediciones lineales de la prueba de balance total	133
Gráfica 26. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo bipodal.....	133
Gráfica 27. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo unipodal derecho.....	134
Gráfica 28. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo unipodal izquierdo	134

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
<i>n</i>	Muestra
<i>r</i>	Correlación

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AP</i>	Anteroposterior
<i>COP</i>	Centro de Presión
<i>CPAQ</i>	Cuestionario de actividad física para niños
<i>Der</i>	Derecha
<i>DFA</i>	Análisis de fluctuación de tendencia
<i>EDM</i>	Desarrollo motor esperado
<i>HPA</i>	Alto nivel de actividad física
<i>Izq</i>	Izquierda
<i>LPA</i>	Bajo nivel de actividad física
<i>MABC-2</i>	<i>Bateria de desarrollo motor "Movement ABC -2"</i>
<i>ML</i>	Mediolateral
<i>PRDM</i>	Posible riesgo de desarrollo motor
<i>RDM</i>	Riesgo de desarrollo motor
<i>STEM</i>	Acrónimo de las palabras "ciencia", "tecnología", "ingeniería" y "matemáticas" en el idioma inglés
<i>Vel</i>	Velocidad

Introducción

El funcionamiento real del cuerpo humano y más específicamente del sistema nervioso, se puede concebir como un conjunto complejo de múltiples procesos que están altamente conectados y contrario a lo que en algún momento pudo pensarse, más que sistemas definidos se trata de una densa red en la que un comportamiento motor como el balance postural puede estar relacionado con una habilidad cognitiva como la navegación espacial que distaría de ser una habilidad “abstracta” que no requiera del cuerpo y movimiento para su adecuado funcionamiento, tal como podría pensarse.

La presente investigación pretende a través de un diseño observacional de tipo analítico y naturaleza transversal, determinar la relación existente entre el balance postural y la navegación espacial en niños y niñas entre 7 y 10 años, debido a que esta conexión se ha abordado hasta el momento en población adulta y de ser veraz, podría convertirse en una herramienta útil para facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la escuela.

Para la verificación de dicha relación se emplearán pruebas neuropsicológicas que permitan inferir el estado de la habilidad de navegación espacial, las cuales se correlacionarán con los datos obtenidos de variación y desplazamiento del centro de presión, que podría definirse como una medición fisiológica de la habilidad del balance postural, obteniendo así un coeficiente de correlación con el que se determine la existencia o no de esa relación. Adicionalmente se controlarán variables intervinientes como el nivel de desarrollo motor y de actividad física a través de pruebas rápidas de tamizaje.

Este proyecto se plantea para ser desarrollado en un colegio de la Sabana de Bogotá, durante aproximadamente año y medio y se espera con él contribuir no sólo a modificar los paradigmas desde los cuales se aborda la dupla de cognición – acción, sino además sentar las bases para la creación y perfeccionamiento de estrategias pedagógicas o

metodologías que impacten de forma efectiva, el desarrollo de habilidades académicas relacionadas con las habilidades de navegación espacial y balance postural.

Capítulo 1: Problema De Investigación

1.1. Descripción del problema

La navegación espacial es una habilidad cognitiva de suma importancia para la exploración e interacción del individuo con el ambiente (1). Dicha interacción y las experiencias derivadas de la misma, han mostrado implicaciones en habilidades como la matemática (2) o la lectura (3), áreas vitales para el desempeño académico.

Para su adecuado funcionamiento, la navegación espacial requiere de la integración de diversa información multisensorial (1) que es a su vez el cimiento de habilidades motrices más complejas tales como el balance postural (4). Es así que algunos estudios previos (5) plantean relaciones teóricas y experimentales entre esta habilidad motora y la navegación espacial. Sin embargo, dichas relaciones sólo se han verificado en adultos con estructuras y funciones consideradas “ya maduras”. No obstante, desde la visión del neurodesarrollo como un proceso continuo a lo largo del ciclo vital, surgen interrogantes sobre la existencia de dicha relación en otros momentos como lo puede ser la infancia, en la cual tienen lugar relevantes eventos neuro ontogénicos que podrían dar lugar a un comportamiento particular de la relación ya mencionada, la cual además, de existir podría convertirse en una herramienta que potencialice el aprendizaje efectivo de los niños y niñas en el entorno educativo.

1.2. Formulación del problema

A partir de lo planteado, se formula como pregunta de investigación ¿Existe relación entre el balance postural y la navegación espacial en niños entre 7 y 10 años en un colegio de la Sabana de Bogotá?

Capítulo 2: Justificación

Contrario a lo pensado previamente, la cognición no es una elaboración que se construya en lo abstracto, ya que actualmente se reconoce influenciada y constituida por múltiples factores, entre ellos el propio cuerpo y su movimiento (6), así como la interacción que se dé a través de éstos con el medio (7). Es así entonces que ciertas funciones corporales tales como la integración y procesamiento de la información proveniente del exterior, los actos motores, la habilidad motriz misma, entre otros, cobran importancia como vías a través de las cuales se conforma el conocimiento.

A partir de esto, se abre la posibilidad a concebir el cuerpo y su movimiento como parte de la cognición siendo además, elementos capaces de potencializar o facilitar dichos procesos de gestión de conocimiento y de aprendizaje en distintos momentos de la vida. Entre ellos, la infancia comprendida como una etapa en la que existe un importante desarrollo de estructuras del sistema nervioso que han sido relacionadas con el aprendizaje y la cognición (6), y como un periodo en el que se adquieren los conocimientos y habilidades necesarias para un funcionamiento efectivo del individuo en la sociedad, siendo un ejemplo de ello el tránsito por el entorno escolar durante dicho marco de tiempo.

Este entorno escolar particularmente en Colombia sigue funcionando bajo un modelo educativo denominado “paradigma industrial” el cual implica características de estandarización, competencia y privatización (8). La estandarización particularmente deriva en planes de estudios rígidos que son presentados principalmente de forma catedrática y al mismo ritmo a todos los estudiantes. Bajo éste paradigma se aborda el aprendizaje como un elemento netamente racional y alejado de las cogniciones producto del cuerpo y su interacción con el entorno, explicadas anteriormente; y que, por consiguiente, no integra lo que en evidencia y estudios respecta, para favorecer dicho proceso cognitivo.

Quizás éste sea uno de los factores por los cuales en pruebas internacionales que miden la calidad de la educación y el rendimiento académico de los estudiantes, tales como las pruebas PISA de la OCDE (9), Colombia reporta el puntaje más bajo con respecto a los demás países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (10). En comprensión lectora, el 50 % de los estudiantes colombianos alcanzaron el nivel 2 de competencia y sólo el 1% lograron niveles 5 o 6, con respecto a otros países que para estos niveles maneja porcentajes del 9%. En ciencia, poco menos del 50 por ciento de los estudiantes colombianos alcanzaron el nivel 2 en ciencias, mientras que la proporción para este nivel en otros países es del 78% y en Matemáticas, cerca de 35 por ciento alcanzaron el nivel 2 o superior en matemáticas, en comparación con la proporción promedio de la OCDE que es de 76% (9) (10). Si bien estas pruebas internacionales, deben mejorar su validez respecto a las características curriculares, socio-económicas y culturales de cada país, diversos autores (11) (12) reconocen su valor y utilidad, como indicadores de calidad de la educación en los países participantes (12).

A partir de lo presentado anteriormente, se evidencia entonces la necesidad de desarrollar estrategias que promuevan el aprendizaje efectivo y faciliten la cognición, siendo estas herramientas además, acordes con lo que se sabe hoy en día del proceso cognitivo. Sin embargo, previo al desarrollo de las estrategias o programas de intervención mencionados, es necesario corroborar que el comportamiento o las relaciones sean similares a las encontradas en adultos para determinar así las pautas que darán lugar al desarrollo de estrategias de abordaje.

Capítulo 3: Propósito Y Objetivos

3.1. Propósito

Con el presente trabajo se pretende clarificar la existencia de una relación entre el balance postural y la navegación espacial en niños entre 7 y 10 años, de manera tal que se convierta en un fundamento para el planteamiento futuro de estrategias que promuevan un movimiento corporal y exploración del espacio eficientes, entendidos estos como pilares de una cognición efectiva y como herramientas que complementan y facilitan los procesos de aprendizaje.

3.2. Objetivos

3.2.1. *Objetivo General*

Establecer si existe correlación entre la navegación espacial y el balance postural en niños entre 7 y 10 años en el colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza.

3.2.2. *Objetivos Específicos*

1. Evaluar el balance postural y la navegación espacial en la población de estudio.
2. Describir el comportamiento del balance postural y la navegación espacial en función de las variables intervinientes (Edad, sexo, nivel de desarrollo motor y nivel de actividad física).
3. Correlacionar los resultados de las mediciones de balance postural y navegación espacial obtenidos.

Capítulo 4: Marco de Referencia

4.1. Antecedentes Teóricos

4.1.1. *Percepción, cognición y acción*

4.1.1.1. *Definición de cognición y evolución del concepto*

La palabra cognición proviene del latín “*cognitio, -ōnis*” que significa “acción de conocer”(13), es decir, la cognición puede ser entendida como el proceso complejo a través del cual se generan apreciaciones o conceptos, partiendo de la vivencia de nuevas experiencias y que además, son susceptibles de generar o no, un cambio en el comportamiento (14). Dichos conceptos y cambios en el comportamiento, son entonces el producto de un proceso que emerge de la actividad de distintas redes neuronales que llevan información de un ensamblaje celular a otro (15), no estando dicha red suscrita únicamente al Sistema Nervioso Central.

Durante mucho tiempo la cognición fue concebida como un proceso que no requería de la vivencia corporal para su realización, así lo plasma por ejemplo Platón, en su noción de “desembarazo del cuerpo” que permitiría el “aprehender las esencias abstractas” (16). Planteamientos similares realizó Descartes con su clásica distinción dualista entre “mente” y “cuerpo no pensante” inferido de su máxima “Pienso luego existo” y Kant quien si bien reconoció la importancia de la experiencia en la adquisición de conocimiento, mencionó la existencia de unas ideas “a priori” no dependientes de la interacción con el medio (16).

Por otro lado, distintos filósofos, psicólogos, neurólogos, entre otros, fueron afirmando cada vez con mayor certeza que la adquisición del conocimiento estaba mediada por la experiencia y la interacción con el medio realizada a través de los sentidos. Desde Aristóteles, pasando por Locke, Leibniz y Candillac, han sido numerosos los ponentes a

favor de un conocimiento basado en la percepción – acción (16), llegando a proponer incluso a la emoción como un producto de dicho proceso interactivo que influía o facilitaba la construcción del conocimiento tal como lo planteó Antonio Damasio (17).

Según Damasio, la mente como se conoce hoy en día, es producto de la interacción existente entre el cuerpo y el cerebro a lo largo del proceso evolutivo, tanto filogénico como ontogénico; de manera tal que los fenómenos mentales sólo pueden ser comprendidos en el contexto de la interacción de un organismo con su ambiente (17). Y al ser el sentimiento una construcción cognitiva que también recibe información de múltiples vías sensoriales, puede ésta considerarse como partícipe en la construcción de conocimiento y no como obstáculo de este, de la manera en que era previamente concebido.

Todos estos aportes en la forma en que se concibe el proceso cognitivo a lo largo del tiempo han permitido una evolución hacia un concepto de “cognición” más abierto y dinámico, fundado en la experiencia e interacción con el entorno y por tanto de naturaleza subjetiva (18), no siendo por ello inválido o erróneo, sino por el contrario, abriendo las puertas a interacciones intra e Inter sujeto de naturaleza compleja.

4.1.1.2. Relación percepción – acción

En referencia a la relación entre los procesos de percepción y acción, que es uno de los sustentos de las teorías que podrían denominarse “Enactivas” previamente explicadas, existen múltiples vías para comprender dicha relación, vías que pueden ser agrupadas en dos grandes clases: Aquellas inscritas en la clásica asociación estímulo – respuesta (Visión de sistemas duales) y aquellas que contemplan un proceso de toma de decisiones en el que se consideran varios cursos de acción de manera anticipada previo a la ejecución de una acción (19). Con respecto a las primeras, éstas marcan una separación radical entre los procesos “involuntarios o automáticos”, de aquellos “voluntarios o conscientes”, llegando a proponer incluso su coexistencia mediante dos sistemas completamente diferentes en modelos de arquitectura cognitiva (19), en

comparación con aquellos que contemplan un sistema propositivo capaz de generar comportamientos conscientes o inconscientes para el cumplimiento de objetivos planteados muchas veces a partir de anticipaciones y predicciones.

Éstos últimos modelos de explicación para la relación percepción – acción constan de algunos elementos tales como: Concepción del proceso percepción – acción como un proceso activo y dirigido al logro o cumplimiento de objetivos, incorporación de la noción de percepción como un proceso constructivo que filtra y modula las entradas sensoriales, comprensión de la existencia de procesos predictivos y anticipatorios en el marco de la coordinación percepción – acción, caracterización del aprendizaje como resultado de la experiencia, entre otros (*Ver Imagen 1*) (19).

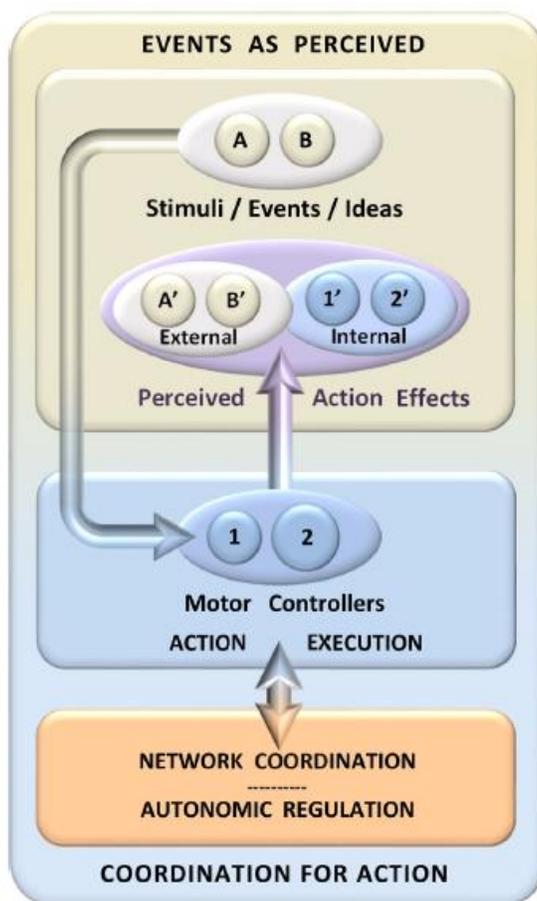


Imagen 1. "Arquitectura esquemática para la coordinación sensoriomotora percepción-acción". Imagen tomada de: "Neurocognitive mechanisms of perception–action coordination: A review and theoretical integration" (19)

Con respecto al primer elemento, estas teorías mencionan la conación (que abarcaría las coordinaciones acción - percepción intencionales e intuitivas), como aspecto fundamental junto con la volición para que se dé dicha relación. La conación puede ser comprendida como lo que impulsa al sujeto a actuar de cierta manera y la volición como los mecanismos utilizados en la formación e implementación de objetivos e intenciones (19). Estos conceptos dotan al sujeto de un funcionamiento complejo en lo que a la exploración del medio se refiere, el cual se evidencia a través de acciones propositivas y exploraciones activas del entorno.

La volición vista como una propiedad emergente del comportamiento guiado, en el cual las acciones pueden ser impulsadas de manera endógena (para producir los efectos ambientales deseados) o de manera exógena (para adaptarse a las demandas ambientales), ha sido estudiada recientemente, involucrando a la corteza prefrontal (PFC) medial como parte del circuito que integra las entradas interoceptivas en el control de la acción, mientras que la PFC lateral estaría más conectada a las áreas de asociación sensorial, lo que le daría mayor participación en la acción sensoriomotora guiada externamente (19).

Con respecto al segundo elemento, se propone una diferencia entre la sensación y la percepción, siendo la percepción el proceso constructivo que esculpe las entradas sensoriales para generar alguna capacidad de acción dirigida a la consecución de objetivos, en comparación con la sensación que estaría haciendo referencia al flujo sensorial bruto. Así mismo sucedería entonces con la acción versus el movimiento, ya que en ambos casos de la percepción y la acción, se da un proceso en virtud de una coordinación que está arraigada en la experiencia, la experticia y preferencias del individuo (19).

En el marco de la complejidad, estas cualidades también permiten al sistema concebir efectos deseados de la acción obligando a la consideración de consecuencias de manera anticipada, lo cual puede abarcar desde ideas pragmáticas de un efecto de acción deseado que despertará en algún grado la acción correspondiente, hasta cambios en la

preparación de la acción para alguna tarea de manera tal que se reduzca la discrepancia entre el estado actual y el estado deseado (6,19) .

Así pues, se evidencia la complejidad del proceso percepción – acción que conlleva a la concepción de los sistemas sensoriales y motores como dos caras de la misma moneda en la cual por ejemplo se generan señales sensoriales a partir del propio movimiento o la señal motora propiamente dicha es usada para el procesamiento sensorial, todo esto paralelo a procesos de retroalimentación intra e Inter sistémico, así como la creación de predicciones y anticipaciones que son actualizadas constantemente.

4.1.1.3. Cognición en función de la acción - percepción

Es a través de este sistema Accio-perceptual complejo, que se daría entonces el conocimiento y exploración del entorno partiendo de interacciones activas, que a su vez aportan información para el elaboración de conceptos que pueden ser de naturaleza adquisitiva o constitutiva (20).

Cuando existe una relación adquisitiva entre la percepción – acción (A) y los procesos cognitivos (B), la habilidad A se encuentra entre las condiciones de adquisición para la habilidad B. Sin embargo, una vez que B se adquiere sobre la base de A, la habilidad A puede perderse sin ningún impacto negativo en la habilidad B. En contraste, la relación constitutiva se refiere a que para el funcionamiento de B se requiere de A y aun cuando B esté formado por más habilidades o sea el resultado de distintos inputs, sin A no se puede lograr, o no se puede lograr en su totalidad, dando origen así a relaciones no constitutivas, constitutivas parcialmente o constitutivas totalmente (Identidad) (20). La adquisición o tipo de constitución dependerá pues del tipo de habilidad cognitiva en concreto, su grado de complejidad y el grado de corporización o materialización (*Embodiment*) sobre el cuál esté construido.

Al respecto de esta “Cognición corporizada” que en términos generales puede ser entendida como la corriente de pensamiento multidisciplinaria que tiene como precepto

el funcionamiento del cuerpo como un componente de la mente en lugar de un receptor pasivo que sirve a la misma (21), es importante mencionar que ésta teoría ha adaptado algunas de las nociones de la teoría de sistemas dinámicos, de forma tal que se concibe la cognición como un proceso que no está localizado únicamente en la mente, sino que puede involucrar además el trabajo de la mente, el cuerpo y el mundo, en un sistema que cambia con el tiempo y que puede describirse matemáticamente (21). Así pues, se dota al sistema de propiedades de “emergencia” y “emparejamiento” que hacen referencia a cómo la cognición vista como sistema es más complejo que la suma de las partes (emergencia) y como dichos componentes están relacionados de forma intrincada (emparejamiento).

Un ejemplo de dicha complejidad se evidencia cuando autores como Ziemke (22) mencionan que dicha “corporeización” se fundamenta en elementos que van más allá de la interacción sensoriomotora con el medio, ya que dicha relación estaría profundamente arraigada en mecanismos biológicos subyacentes, y más específicamente en redes o capas interconectadas de mecanismos de autorregulación corporal (22), que abarcarían incluso el componente emocional, tal como lo propuso Antonio Damasio, mencionado anteriormente en este documento. Según esta propuesta, la conexión radica en que los mecanismos emocionales juegan un papel crucial en esta autorregulación, cumpliendo no sólo la función relacionada con la supervivencia, sino también constituyendo la base de la cognición de nivel superior: “el yo y la conciencia”(22).

Otra noción importante relacionada con la “cognición corporizada” es la “fundamentación” o “conceptualización” (*Grounded cognition*), la cual enfatiza la condición de subjetividad de los procesos cognitivos, al reconocer que éstos dependerían no sólo de los estados corporales, sino también de simulaciones modales por parte de los sistemas sensoriales y de las acciones que demande cada situación particular (23). A partir de esto, el “sistema de memoria semántica” que en algunas teorías cognitivas estándar, se encuentra separado de los sistemas modales del cerebro encargados de la percepción, para la “Cognición fundamentada” no produce símbolos amodales o de producirlos, trabajan de manera conjunta con representaciones modales para crear cognición (23).

Es entonces, en este sistema complejo de percepción – cognición – acción, que tiene lugar la relación balance postural – navegación espacial, siendo relacionado este último elemento además, con habilidades cognitivas tales como la numerancia, tal como se presentará más adelante.

4.1.2. Balance

4.1.2.1. Definición

El balance puede ser definido como la propiedad que tiene el sistema neuromuscular de controlar una alineación particular de diferentes segmentos de manera tal que se mantenga el centro de masa dentro de la base de soporte (24), haciendo frente además, a fuerzas externas tales como la gravedad, eventos inesperados, acciones propias de la persona y demás elementos que tiendan a perturbar el equilibrio en el que se mantiene esa postura determinada (25). Para el sistema nervioso central, dicho problema puede plantearse en términos de encontrar las relaciones apropiadas entre los segmentos del cuerpo para mantener la posición deseada “como un todo” con respecto al medio ambiente.

Visto así, la postura consiste en una relación geométrica entre dos o más segmentos del cuerpo (por ejemplo, brazo-tronco), la cual puede expresarse en términos de ángulos articulares entre segmentos y la cual debe además, incluir la relación del cuerpo con el medio ambiente (por ejemplo, el cuerpo en relación con la superficie de soporte) (25). Un elemento a tener en cuenta es que esta postura debe mantenerse “activamente” dada la naturaleza de las articulaciones a ceder ante fuerzas externas, las cuales pueden ser constantes o variables y que generan además, un torque que debe ser contrarrestado por un torque realizado por la musculatura (25).

Este control neuromuscular es tanto anticipatorio como reactivo y si bien es el resultado de componentes como reflejos posturales, estructuras subcorticales, entre otros, no es

por esto una tarea “automática” ya que contrario a lo pensado inicialmente, es una habilidad en la cual hay participación cortical (26) y la cual se ve afectada a su vez por tareas cognitivas tal como se profundizará a continuación.

4.1.2.2. Fisiología del Balance Postural

El balance como capacidad inherente de establecer o restaurar el equilibrio de cualquier posición o durante cualquier actividad motora, es una tarea compleja que implica reacciones predictivas y anticipatorias para el mantenimiento del equilibrio a través de la interacción armoniosa de los diferentes sistemas sensoriales, principalmente los sistemas propioceptivo, vestibular y visual, así como de modelos internos o representaciones que permitan tener un “comportamiento esperado” en función de un movimiento dado (27).

La interacción entre estos sistemas no es estática y realiza las ponderaciones y asignaciones de peso a cada input, en función de las condiciones particulares de la persona, del espacio y de la tarea (28). Así por ejemplo en personas con limitación visual completa, además de cambios a nivel cortical, especialmente en el área occipital, lo que se observa es que se produce una intensificación de los sistemas propioceptivo y vestibular como compensación a la carencia de información visual, sin presentarse dicha intensificación en la señal auditiva o la fuerza muscular (27).

Esta “reasignación de peso” a señales particulares, es evidente en casos como el mencionado anteriormente, ya que la señal auditiva es una aferencia sensorial generalmente más débil en el control postural, pero que de igual forma contribuye al balance a través de la percepción de movimiento propio especialmente en dominios que incluyen prótesis posturales, navegación en entornos gravito inerciales inusuales (en el aire, en el espacio o bajo el agua) o navegación no visual, como en el caso de cegueras (29). Es así que diversos estudios han evidenciado como campos auditivos estacionarios o dinámicos pueden promover o dificultar el mantenimiento del balance dependiendo de

la intensidad o velocidad del estímulo, posición o velocidad del sujeto, demás información sensorial disponible, etc. sobre todo en personas adultas (29).

En relación a la información visual, quizás su mayor aporte al sistema de balance sea la misma detección de movimiento a través de la retina, que puede usarse para determinar el movimiento propio o el movimiento del ambiente, discrepancia que no siempre es fácil de determinar y que puede generar ambigüedad entre los sentidos (28). Es así entonces, que características de la escena percibida como las condiciones de luz y sombra, la ubicación del foco de atención en el campo visual y hasta la textura de un objeto captado por el ojo, han evidenciado generar cambios en el balanceo postural (28).

La información propioceptiva también toma gran relevancia en la detección de movimiento propio ya mencionada, esto a través de la información neuromuscular proveniente de tobillos y pies principalmente, que ha demostrado ser necesaria para hacer frente a las perturbaciones a las que el sujeto se vea expuesto (30). Más aún, estas estructuras serán a su vez, mecanismos eferentes de las estrategias de estabilización seleccionadas por el sistema nervioso central, quien posterior a la integración de la retroalimentación sensorial dada por estas estructuras, generará torques a través de la activación selectiva de algunos músculos (30).

Dicha percepción de movimiento también se realiza a través del sistema vestibular, quien está encargado de detectar el movimiento transitorio de la cabeza, información que es utilizada para reflejos vestíbulo-oculares, equilibrio, control postural, funciones cognitivas superiores como la orientación espacial, entre otras (31). Estudios neurofisiológicos recientes han encontrado lo que sería una red vestibular en la corteza cerebral de los primates. En dicha red, muchas de las áreas involucradas son de naturaleza multi sensorial, lo que potencialmente facilita una estimación de rumbo más robusta a través de la integración de señales en comparación con la estimación realizada a través de la información proveniente de una única fuente (31).

Con respecto al aporte vestibular al sistema de balance propiamente dicho, gran parte de la influencia del sistema vestibular deriva de las conexiones que éste tiene con los ganglios basales y el cerebelo. Estudios electrofisiológicos de potenciales de campo han evidenciado activación del núcleo estriado, especialmente el putamen, ante la estimulación vestibular eléctrica (32), lo cual permitiría pensar que la señal vestibular es utilizada para el control del cuerpo y las extremidades, en conjunción con la información sensoriomotora que llega al estriado dorsolateral (32). Se encuentra además de este circuito, el sistema vestibular tálamo cortical, en el cual múltiples núcleos talámicos tales como el complejo ventroposterior, el complejo ventroanterior - ventrolateral, los núcleos intralaminares y el grupo nuclear posterior (núcleos geniculados medial y lateral, pulvinar) reciben y procesan información multisensorial proveniente del sistema vestibular, propioceptivo y visual, transmitiéndola a la corteza vestibular parietoinsular, somatosensorial, el área temporal medio superior, el surco intraparietal y el hipocampo (33), áreas que han mostrado implicación en el control del balance postural..

Dichas zonas tanto talámicas como corticales, muestran patrones de activación diferentes en función de la inclinación de la cabeza con respecto a la gravedad, así como también patrones diferentes de disparo en función de los movimientos activos o pasivos de la cabeza, evidenciando una integración con señales motoras (33). Además de esto, se evidencian patrones oscilatorios en los ganglios basales que influyen sobre su funcionamiento promoviendo la inmutabilidad a través del refuerzo de ritmos y procesos establecidos o por el contrario, favoreciendo la mutabilidad y el procesamiento novedoso en el dominio ejecutivo (34). Dicha sincronización de ritmos actuaría fortaleciendo los canales de codificación de información relevante a través de procesos como la suma temporal, partiendo de la selectividad espacial intrínseca. Así por ejemplo, se sabe que la estimulación cerebral profunda de alta frecuencia en los ganglios basales, reduce la entropía del disparo neuronal, restringe el espacio de codificación y mejora el rendimiento motor en condiciones como la enfermedad de Parkinson, en contraste con la sincronía exagerada de la banda beta que parece impedir dicho procesamiento motor (34).

En lo que respecta al procesamiento cortical del balance, como se mencionó anteriormente, hallazgos recientes indican actividad de la corteza durante las reacciones de equilibrio producto de perturbaciones posturales, produciendo potenciales evocados en áreas fronto – centro – parietales, cuyas características de amplitud y sentido dependen de las características de la perturbación, la alineación postural, factores ambientales y psicológicos (24).

Esta red neuronal que permite el balance se completa con el tronco encefálico. Aquí, el colículo superior que ha sido identificado como el centro primario que controla la orientación, envía su señal eferente a las motoneuronas del cuello a través de dos vías principales: Las neuronas reticuloespinales en protuberancia y médula por un lado, y las neuronas del área de Forel (FFH) en la unión mesodiencefálica por el otro. La vía tecto-retículo-espinal controla principalmente la orientación en dirección horizontal, mientras que la vía tecto-FFH-espinal controla la orientación en dirección vertical (35). En cada vía, un subgrupo de neuronas funciona como neuronas premotoras para las motoneuronas extraoculares y del cuello, lo que permite un control coordinado y separado de los movimientos de ojos y cabeza (35), ya que los movimientos de ésta última casi siempre producen cambios en el centro de gravedad que pueden causar trastornos posturales.

En consecuencia, el balance postural se puede mantener transmitiendo el comando de orientación a los segmentos de las extremidades a través de los axones descendentes de las neuronas reticuloespinales largas de la columna. Estas neuronas reciben referencias de lugares como la corteza cerebral, el cerebelo y los ganglios basales (35), que permiten un control de la orientación de cabeza contextual, al modular las actividades de las vías primarias del tronco encefálico en función de las demandas del medio y la tarea.

4.1.2.3. *Desarrollo del balance postural*

El desarrollo de este sistema de control implica un dominio gradual de coordinación, anticipación y adaptación que toma lugar en el curso de la ontogénesis, y que obedece tanto a condiciones biomecánicas propias como al estado de desarrollo del sistema nervioso central. En términos generales lo que se observa es la construcción de un repertorio de estrategias para la recuperación del equilibrio que, en conjunción con la creación de distintos marcos de referencia, permitirán no sólo el control del balance postural sino también sentarán las bases para la orientación postural (36).

Independientemente de la etapa del ciclo vital, toda estrategia de balance implica dos principios fundamentales: 1). La elección del marco de referencia estable en el que se basará el control del equilibrio y 2). El dominio gradual de los grados de libertad de las diversas articulaciones del cuerpo, lo cual dependerá de las restricciones dinámicas que determinarán la dificultad de una tarea motora, el entorno y las características de cada período de desarrollo a lo largo del ciclo vital (36).

Es así entonces que las estrategias de equilibrio comúnmente observadas en el curso de la infancia abarcan la estabilización de la pelvis, la cual suele emerger tan pronto aparece la marcha autónoma, la estabilización de hombros, la cual no aparece en el inicio inmediato de la caminata autónoma, la estabilización de cabeza que suele desarrollarse posterior a la estabilización de hombros y que en la infancia constituye una habilidad motora compleja que lleva mucho tiempo dominar y por último, la estabilización de tobillos que suele ser subsecuente a la estrategia de pelvis (36). Dependiendo de las condiciones particulares de la tarea y el entorno, una de ellas actuará como punto estable o “fulcro”, siendo generalmente la estabilización de pelvis la primera en organizarse temporalmente y desde la cual se crean patrones caudo-cefálicos y céfalo-caudales(36), los cuales se desarrollan en términos generales entre los 3 y 8 años.

4.1.3. Navegación Espacial

4.1.3.1. Definición

La navegación espacial es una función cognitiva que se puede definir como un movimiento autocontrolado en el espacio hacia una meta no visible. Esta función requiere de la integración de información sensoriomotora interna (vestibular, propioceptiva o kinestésica) y externa (visual, olfativa o auditiva), además de al menos dos procesos complementarios: la organización de la representación espacial del entorno (aprendizaje declarativo) y la adquisición de un comportamiento motor adaptado a un contexto específico (aprendizaje procedimental), razón por la cual la navegación espacial puede ser definida como una función de procesos duales (37).

Estos procesos declarativos y procedimentales que conforman la navegación espacial, fueron descritos inicialmente por Schenk y Morris como "la representación del conocimiento en forma tal que se describa la posición de la plataforma de escape en relación con otras señales del entorno" haciendo referencia concretamente a la memoria espacial declarativa en el caso de modelos animales y su desempeño en las pruebas de laberinto, mientras que el aprendizaje procesal lo conceptualizaron como "la representación de las respuestas a estímulos necesarias para guiar al animal a la ubicación correcta" (37).

A partir de lo anterior, se puede concebir entonces la navegación espacial como una función cognitiva superior en la cual se requieren tanto de funciones conceptuales como procedimentales, las cuales además dependen del procesamiento que se haga del espacio para su correcto desempeño tanto a nivel abstracto como procedimental.

4.1.3.2. Fisiología de la navegación espacial

Como se mencionó previamente, la navegación espacial requiere entre otras cosas, de una adecuada representación del entorno, la cual obedece a un procesamiento del

espacio que comprende múltiples habilidades y subprocesos. Una de estas habilidades es la utilización de marcos de referencia para la interacción con el medio. Dicha noción de “marcos” fue propuesta a mediados del siglo pasado y hace referencia al uso de “mapas cognitivos” para representar la información espacial y así, navegar en el entorno (38).

Tradicionalmente se han propuesto dos tipos de “Marcos” con los que se procesa dicha información: El egocéntrico, que incluye la información espacial sobre la ubicación del individuo en el entorno, y el marco alocéntrico, que involucra aquella información relacionada con la posición de los objetos entre sí (39). Así pues, el marco egocéntrico se basa en las relaciones de sujeto a objeto que derivan en relaciones centradas en el cuerpo y mapas “retinotópicos” o “craniotópicos”; mientras que el marco alocéntrico conllevaría a representaciones “objetivas” o “centradas en el entorno” con mapas “espaciotópicos”, producto de relaciones objeto – objeto (39).

Estos marcos, se integran y combinan constantemente para permitir una interacción funcional con el entorno. Frente a este funcionamiento dual, varios autores argumentan que la navegación espacial exitosa más que funcionar a partir de un solo cuadro o en una “condición ideal”, obedece a la capacidad de cambiar y combinar diferentes estrategias espaciales de manera flexible, dependiendo de los requisitos de la tarea y del ambiente, adicional a las preferencias del individuo, ya que se ha observado gran variabilidad en el uso de estrategias egocéntricas o alocéntricas para el desempeño eficiente de una tarea particular (38).

Adicional a estos marcos de referencia, el sistema nervioso ha desarrollado otra representación diferencial para mapear el espacio que rodea al cuerpo, denominada espacio peripersonal. Es en dicho espacio donde ocurren las interacciones físicas con los objetos del entorno y por esto, es una representación multisensorial con procesos no sólo aferentes sino eferentes, ya que éste sistema del espacio peripersonal interactúa con áreas motoras para generar las respuestas apropiadas a la interacción que esté teniendo lugar (40). El alcance del espacio peripersonal no es fijo, ya que se modifica

con la experiencia y el contexto y puede ser además físico o abstracto, ya que se han evidenciado cambios en el mismo, a raíz de interacciones virtuales y presenciales con otras personas (41), incidiendo entonces en la diferenciación del “yo” versus “los otros”, lo la auto – ubicación, la conciencia corporal, además de otras funciones cognitivas superiores (42).

Todas estas representaciones, son el resultado de la integración de múltiple información sensoriomotora que puede agruparse en dos tipos: Señales de auto movimiento dinámicas y señales ambientales estáticas. Las primeras están basadas en el cuerpo y derivan de las copias de eferencias motoras, la retroalimentación vestibular y las señales propioceptivas, lo cual permite realizar un seguimiento de la posición y orientación del sujeto mismo (43). Por otro lado, estarían las señales ambientales las cuales comprenden principalmente objetos estables, como puntos de referencia, y límites extendidos que se pueden usar para determinar la posición y orientación de la persona en relación con el medio ambiente. En los primates, estas señales se derivan predominantemente de la percepción visual, pero otras especies también hacen uso de las señales no visuales como lo podría ser la información visual, olfativa o táctil (43).

Todas estas entradas retiniana, somática, propioceptiva, vestibular y auditiva, junto con la información eferente relacionada con la producción motora y el movimiento del cuerpo en el espacio, incluido el movimiento de los ojos, cuello, tronco y extremidades (44), es procesada en diferentes regiones interconectadas del encéfalo. Para el caso de las señales de “auto – movimiento”, después del procesamiento sensorial primario, estas señales se integran primero en los núcleos del tronco encefálico para obtener estimaciones de la velocidad de movimiento angular y lineal (43). Posteriormente, éstas señales juntos con las “señales ambientales” son procesadas principalmente en la corteza parietal posterior, particularmente en el lóbulo parietal superior, la región parietoinsular y la unión temporo-parietal, que transmitirán la información en su mayoría a la corteza premotora y a la corteza prefrontal, para convertir estas representaciones del espacio en un marco de referencia común (45).

En dichas zonas de procesamiento ya descritas, se ha encontrado lateralización de las funciones sensoriales, ejemplo de ello es el caso de las funciones vestibulares superiores multisensoriales, incluida la orientación espacial a gran escala, la memoria espacial y la navegación, las cuales están dominadas por la corteza temporoparietal derecha (46). Dicha lateralización obliga a una sincronización y conexión en red, con presencia de mecanismos de convergencia y divergencia, ya que la percepción global fruto de la interpretación sensorial realizada, dependerá básicamente de una sincronización de la percepción multisensorial intrahemisférica e interhemisférica (46).

La generación de los marcos de referencia, ha sido explicada a través de múltiples modelos como los modelos internos, según los cuales por ejemplo, la discriminación de la inercia y la gravedad, se realizaría en función de las representaciones de la dinámica del cuerpo y del canal semicircular disponible, así como la entrada de otolitos en el sistema vestibular (47). Así mismo, se propone una orientación espacial de tres ejes partiendo de la hipótesis de que el sistema vestibular evolucionó en un contexto de gravedad terrestre y que toma a la misma como estándar en relación con el cual se interpretan todos los patrones de cizallamiento y deformación de las membranas otolíticas (47).

Los mecanismos neuronales subyacentes a dicha localización en el espacio, comprenden el funcionamiento conjunto de distintos grupos celulares con patrones de activación particulares incluyendo: Las “células de lugar” que evidencian mayor frecuencia de disparo cada vez que el animal o el sujeto entra en un lugar específico, las “células de dirección de la cabeza” que se activan principalmente cuando la cabeza del animal está en una orientación particular; las “células de cuadrícula”, que presentan mayor activación, cada vez que el animal cruza un punto concreto de un cuadrícula triangular que mapea y abarca todo el espacio delimitado en el que se encuentre el mismo, las “células de borde” cuya activación se presenta en los límites del espacio, de gran importancia en las “Señales ambientales” y que se han encontrado en la corteza entorrinal, subículo y pre y parasubículo y finalmente las “células de velocidad”

descubiertas recientemente en el hipocampo y la corteza entorrinal medial y quienes varían su velocidad de disparo en función de la velocidad de carrera del animal (43).

Las “Células de lugar” se encuentran ubicadas en las regiones CA1 y CA3 del hipocampo y debido a su activación preferente en sitios particulares de un espacio delimitado, forman “campos de lugar” que en sumatoria proporcionan información de un entorno sea nuevo o familiar (48). Éste escaneo es estable y no evidencia cambios a pesar de modificaciones sutiles del entorno, lo cual evidenciaría “estados atractores” o funcionamientos complejos en red que permiten la evolución de los patrones de disparo a “estados estables específicos”, dando origen a procesos de “finalización de patrón” y “separación de patrón” (48).

Como proceso complementario a estos “campos de lugar”, se encuentra el patrón de activación ante una dirección concreta de la cabeza en el plano horizontal e independiente del entorno de las células de lugar, las cuales se encuentran en una red de estructuras que incluyen los núcleos talámicos, los cuerpos mamilares y la corteza entorrinal (48). En dicha corteza entorrinal en la zona medial, también se encuentran ubicadas las “Células en grilla” las cuales obtienen su nombre precisamente del patrón en malla que crean sus momentos de disparo en un espacio determinado, tal como se comentó anteriormente.

Al respecto del funcionamiento conjunto de estas células, se han propuesto activaciones competitivas entre las “células de lugar” y las “células de cuadrícula”, así como modelos de redes de atractores continuos para el escaneo realizado por las “*Grid cells*”. También se encuentran los modelos de interferencias oscilatorias que proponen la activación de los grupos celulares en función de la frecuencia de oscilación derivada de la velocidad del animal (49) y los modelos de “Información ambiental” que le atribuyen a esta integración, un procesamiento Bayesiano óptimo en el que se pondera la información y las fuentes de la misma en función de su confiabilidad (50).

Frente al dominio procedimental de la navegación espacial, el conocimiento de ruta consiste en asociaciones entre las vistas locales de un entorno y los movimientos asociados (por ejemplo, girar a la derecha en la panadería), que dependen de manera crítica de las estructuras estriatales como el núcleo caudado y corteza premotora (43). Sin embargo, a pesar de su naturaleza procesal y egocéntrica, existe evidencia de que el conocimiento de la ruta también puede depender de cálculos del hipocampo, por ejemplo, información en cuanto al orden temporal en el que se han encontrado puntos de referencia. Es importante destacar que, debido a que las estrategias pueden considerarse interacciones dinámicas entre las características del entorno, tarea e individuo, esta tarea puede realizarse desde marcos egocéntricos o allocéntricos, lo cual dependerá del comportamiento y procesos cognitivos del navegador (43).

4.1.3.3. Desarrollo de la navegación espacial

El desarrollo de la navegación espacial y de la cognición espacial misma, como todo proceso de adquisición de habilidades, es un proceso que está sujeto no solamente a la maduración funcional de regiones cerebrales específicas y del sistema nervioso en general, sino que también depende de la acumulación de experiencia, incluidas las interacciones con el mundo físico y la adquisición de herramientas culturales. En este sentido, si bien diversas investigaciones han contribuido al establecimiento de edades concretas en las que se evidencian capacidades específicas, dichos puntos temporales deben ser interpretados como un intervalo de tiempo laxo en el que el logro de esos ítems dependerá del proceso ontogénico propio del individuo, más que de los factores biológicos o cronológicos.

Realizada la aclaración anteriormente descrita, el desarrollo de la cognición espacial ha sido comúnmente abordado a través de indicadores como la codificación del espacio en marcos de referencia, la capacidad de reorientación, el uso de representaciones espaciales métricas y categóricas y el razonamiento espacial a través del uso de herramientas simbólicas, los cuales serán presentados a continuación (51).

Con respecto al manejo de marcos de referencia en la infancia, anteriormente se consideraba que el procesamiento del espacio inicialmente era netamente egocéntrico, ya que evidencia sugería que la capacidad para actualizar representaciones egocéntricas al realizar un seguimiento del movimiento emergía dentro del primer año, sin embargo desde inicios de siglo se sabe que lactantes de más o menos 8 meses son capaces de usar marcadores ambientales para la ubicación de objetos, llevando a que alrededor de los 12 meses dicha tarea sea realizada con suficiencia (51). Al respecto se ha mencionado que el rastreo de objetos observado con frecuencia alrededor de los 8 o 9 meses, puede desempeñar un papel en la aparición de la codificación aloecéntrica.

Esta capacidad de realizar un seguimiento de los movimientos complejos, mejoraría hacia los 36 meses de edad aproximadamente y continuaría perfeccionándose hasta un rango cercano a los 6 años, momento en el que el niño o niña es capaz de usar la estructura externa del entorno para inferir la ubicación del objetivo desde una posición novedosa (51), periodo en el que también son capaces de combinar diferentes tipos de señales para la reorientación espacial.

La codificación del espacio en términos métricos o categóricos, ha atravesado un cambio de paradigma similar a la emergencia de los marcos de referencia; ya que en un principio se infería un uso de caracteres categóricos por los niños y niñas hasta más o menos los 5 años, sin embargo, diversos estudios han observado uso de codificaciones métricas por individuos de más o menos dos años, quienes además son capaces de integrar parcialmente información métrica y categórica (51), integración que mejora sustancialmente hasta la edad de 12 años aproximadamente, en parte por la adquisición de mayor información con respecto a la codificación métrica. Es así que, a partir de los 6 años se imponen subdivisiones mentales en los diseños espaciales, formando categorías para las cuales no hay límites definidos físicamente y cerca a los 7 años, se integra información sobre categorías espaciales en dos dimensiones, además de poder codificar ubicaciones en relación con múltiples puntos de referencias distales (52).

El siguiente hito en codificación tendría lugar en la infancia tardía entre los 12 y 16 años momento en el cual ya se pueden realizar clasificaciones en función de la ubicación espacial, lo cual requiere el manejo de múltiples localizaciones en la memoria, habilidad que parece alcanzar una meseta desde los 11 años, momento en el cual se fortalecerá además, la codificación métrica (51).

Finalmente, frente al uso de razonamiento espacial a partir de herramientas simbólicas, se ha encontrado que aproximadamente a los 3 años, es posible hacer tareas de correspondencia de objetos y alrededor de los 4 años se hace correspondencia relacional sencilla, la cual se perfecciona entre los 5 y 6 años momento en el cual ya se usarán exitosamente las relaciones angulares (51).

4.2. Antecedentes Investigativos

4.2.1. Relación entre balance postural y navegación espacial

El control postural se asumió durante mucho tiempo como una tarea “automática” o “inconsciente” que no involucraba funciones cognitivas ni se relacionaba con las mismas (53). No obstante, diversos estudios de tareas duales o de alteraciones funcionales derivadas de patologías, permitieron observar la implicación y relación de dichas funciones cognitivas con el control postural y el balance (53).

Quizás unas de las patologías más abordadas en cuánto a la alteración del control postural se refiere, son las vestibulopatías, siendo el mareo a su vez, uno de sus principales síntomas. Esta alteración funcional y su relación e implicaciones sobre resultantes cognitivas ha sido analizada por autores como Coelho et al. (54) quienes evaluaron y correlacionaron aspectos cognitivos, de balance y marcha en mujeres de edad avanzada con mareos vestibulares periféricos crónicos y los compararon con mujeres de edad avanzada sin dichos trastornos, encontrando una alta correlación entre los resultados de las pruebas cognitivas y las pruebas de balance y marcha. Resultados

similares encontró Breinbauer et al. (55) quien evaluó la navegación espacial de personas con mareo perceptivo postural persistente en comparación con sujetos sanos, encontrando nuevamente un peor desempeño en dicha tarea por parte de los pacientes que presentaban la patología.

Otra situación a través de la cual se ha evidenciado la relación entre balance postural y navegación espacial ha sido a través de la comparación de sujetos con amplia destreza en tareas de balance como lo pueden ser los bailarines, en contraste con personas que no practiquen dicha actividad. Esta fue la tarea realizada por Dordevic et al. (56) quien comparó los resultados obtenidos en un test clínico de balance, una prueba comportamental de navegación - orientación espacial y valores de morfometría basada en vóxel (VBM) de bailarines profesionales de ballet y controles no bailarines, encontrando que los bailarines obtuvieron desempeños significativamente mejores en las pruebas clínicas, así como mayores volúmenes de materia gris para dichos sujetos en el hipocampo derecho, la circunvolución parahipocampal, la ínsula y la corteza motora cingulada (56).

La existencia de esta relación y conexión entre el control postural y las habilidades espaciales ha dado lugar a contados estudios con programas de entrenamiento enfocados en balance, con el objetivo de potencializar resultantes tales como la memoria o la cognición espacial. En este sentido, Rogge et al. (5) sometieron a adultos potencialmente sanos, a un programa de entrenamiento de 12 semanas enfocado a balance, realizando medición pre y post intervención de variables tales como capacidad cardiorrespiratoria, funciones ejecutivas, memoria y cognición espacial, concluyendo que un entrenamiento en balance es capaz de inducir cambios en las funciones cognitivas, particularmente en aquellas relacionadas con el manejo del espacio, sin involucrar los mecanismos fisiológicos y cascadas derivadas del ejercicio de tipo aeróbico.

Uno de los mecanismos fisiológicos subyacentes a tal relación, parecieran ser las aferencias recibidas por estructuras involucradas en el procesamiento espacial tales como el hipocampo provenientes de regiones subcorticales como los ganglios basales, así como de sistemas sensoriales tales como el sistema vestibular (5), que aportan al control postural. Otra de las explicaciones fisiológicas plausibles radica en la existencia de módulos de procesamiento en común, hecho evidenciable a través de la alteración en el desempeño de tareas de naturaleza dual que involucren lo motor y lo cognitivo. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Riley et al. (57) en el cual a través de 3 experimentos en los que se pedía la realización simultánea de una tarea de balance y una tarea cognitiva de orientación y memoria espacial, se evidenciaba el cambio en el balanceo y en la capacidad de recuperación, dependiendo de la demanda principal del experimento, asociando los autores dichos resultados, al intercambio entre marcos de referencia.

4.2.2. Relación entre Navegación espacial y habilidades académicas

La navegación espacial hace parte de las denominadas “habilidades espaciales”, término bajo el cual se agrupan varias funciones cognitivas implicadas en la manipulación mental de información sobre objetos en el entorno, así como de los espacios que se habitan o transitan (58). Existen diversas clasificaciones de estas habilidades en función del paradigma usado, actualmente uno de los más aceptados, fue propuesto por Uttal et al. (58) en el cual se realiza un cruce de dos dimensiones: Información intrínseca versus información extrínseca y tareas estáticas versus tareas dinámicas, así, la información intrínseca hará referencia a la relación de las partes que componen un objeto en comparación con la información extrínseca que da cuenta de las relaciones entre entidades o con respecto a un marco general. Por otro lado, las tareas estáticas harán referencia a análisis transversales en contraposición a las tareas dinámicas que implican sucesión de actividades involucrando así el factor tiempo.

Estas habilidades permiten el análisis y procesamiento del espacio que a su vez ha sido relacionado con el procesamiento numérico (59) y el desempeño en el campo de las

ciencias “STEM” (Acrónimo de las palabras “ciencia”, “tecnología”, “ingeniería” y “matemáticas” en el idioma inglés) (59). Dicha relación se cree que tiene su fundamento en el hecho de que éstas áreas de conocimiento requieren de procesos de representación, análisis y realización de inferencias de las relaciones entre los objetos, los cuales son apoyados por el pensamiento espacial (59). Otra explicación tentativa para la relación existente entre las habilidades espaciales y las matemáticas, se basa en los hallazgos de que la rotación mental, entendida como habilidad espacial, influye positivamente en la resolución de ecuaciones o problemas de términos faltantes, ya que se espera que los individuos con buen desarrollo de estas habilidades, pueden usarlas para visualizar el problema matemático y mover los operandos del problema mentalmente (60) (por ejemplo, transformando $7 + X = 9$ en $9 - 7 = x$). Tal representación mental del problema matemático facilitaría entonces la solución del problema.

La línea numérica es otro concepto que sustenta la relación entre estas funciones, dicho término hace referencia a la teoría de que los modelos de números mentales se basan en representaciones espaciales, así las personas que desarrollan una mejor representación espacial del concepto “número” son capaces de construir sobre el mismo, al aprender más conceptos numéricos (60). Otro elemento a tener en cuenta en el desarrollo del procesamiento numérico es la existencia de habilidades de dominio general y de dominio específico, siendo estas últimas habilidades numéricas básicas propiamente dichas, tales como el conocimiento cuantitativo, las habilidades de conteo y el conocimiento numérico, que serán además precursores específicos de dominio de las habilidades matemáticas, en comparación con las habilidades de dominio general que abarca aquellos factores no matemáticos que contribuyen al desarrollo matemático como lo podrían ser el lenguaje, la memoria de trabajo verbal y visoespacial, las funciones ejecutivas y las habilidades espaciales en general (60).

Estos argumentos teóricos han sido corroborados además, por múltiples estudios que han verificado dicha influencia no sólo sobre las habilidades numéricas propiamente dichas, sino adicionalmente sobre otras habilidades generales que influyen sobre las

mismas, tales como la memoria verbal. Así, Cornu et al. (61) verificaron la influencia de las habilidades visoespaciales sobre las habilidades numéricas verbales, a través de correlaciones bivariadas y modelos de ecuación estructural contruidos a partir de los resultados de diversas pruebas aplicadas a 141 niños, encontrando que dichas habilidades visoespaciales contribuyen a las habilidades numéricas verbales más que las habilidades verbales perse.

Hodgkiss et al. (62) por su parte correlacionaron el desempeño en una batería de habilidades espaciales con el desempeño en pruebas del área de Ciencias en 123 niños entre 7 y 11 años, evidenciando que algunas habilidades espaciales concretas, podían asumirse como predictoras del desempeño en dicha área, con patrones de asociación consistente para todas las edades. Resultados similares obtuvieron Gilligan et al. (63) en un estudio retrospectivo realizado con el “Estudio de Cohorte Milenio” en el cual se obtuvieron datos de 12.099 niños y niñas a quienes les realizaron además de pruebas espaciales, pruebas estandarizadas del componente matemático. Ésta relación, adicionalmente, no sólo se ha verificado en niños, también se han realizado estudios en población adulta, como el estudio ejecutado por Nazareth et al. (64) quienes compararon el desempeño en pruebas espaciales en profesionales involucrados en los campos de geografía y geociencia tanto entre expertos y novatos, como en comparación con profesionales expertos de otras áreas del conocimiento, verificando el desempeño superior de los participantes relacionados con áreas STEM.

Esta relación entre las habilidades espaciales y matemáticas está influenciada fuertemente por el medio y el contexto, no obstante, se han encontrado algunos elementos genéticos con los que podría estar relacionada (65). En lo que respecta a la influencia del entorno, diversos estudios han planteado que estas relaciones entre habilidades cognitivas y motoras o comportamentales, son relaciones permeadas por diversos elementos y prácticas culturales particulares dependientes de la región (66), el país (67) e incluso se podría pensar que la corriente pedagógica utilizada también podría derivar en resultantes cognitivas distintas, poniendo en evidencia la compleja red de funcionamiento de la sensación - percepción - cognición y acción.

4.2.3. Medición del balance

Tal como se mencionó previamente, el balance se entiende como la habilidad para mantener o controlar el centro de masa en relación con una base de soporte. Esta estabilidad postural se logra a través del proceso de "Balanceo", el cual es el resultado del funcionamiento conjunto de diversos sistemas como el sistema sensorial, el motor y el biomecánico (68). Dicho balanceo además, puede medirse en condiciones estáticas o dinámicas y a través de diversos enfoques como las mediciones funcionales, las sistémicas o fisiológicas y las cuantitativas (69) (70).

Las pruebas funcionales de balance generalmente califican el rendimiento del individuo en un conjunto de tareas motoras en una escala de tres a cinco puntos o mediante el uso de un cronómetro, cuantifican el tiempo durante el cual el sujeto puede mantener el equilibrio en una postura particular, con el fin de determinar el estado de la habilidad propiamente dicha. Por el contrario, las mediciones por sistemas pretenden identificar las causas subyacentes a presuntas alteraciones en el equilibrio (71), es así que las baterías pertenecientes a esta categoría abarcan categorías de medición tales como "Restricciones biomecánicas", "Límites de estabilidad / verticalidad", "Ajustes posturales anticipatorios", "Respuestas posturales", "Orientación sensorial" y "Estabilidad en la marcha".

Frente a las mediciones cuantitativas y objetivas, los dos métodos principales consisten en la posturografía y el uso de sensores inerciales. En los primeros la oscilación postural generalmente se cuantifica caracterizando los desplazamientos del centro de presión del pie desde una plataforma de fuerza, mientras que los acelerómetros o giroscopios sensan la velocidad angular o lineal (según sea el caso) en función de su ubicación, aportando una medición válida y confiable del balanceo postural (71). Adicional a estos dispositivos cinéticos y cinemáticos, existen mediciones electrofisiológicas tales como la electromiografía las cuales permiten caracterizar a través de análisis de amplitud, frecuencia y tiempo, las respuestas y ajustes anticipatorios posturales. Estas mediciones

también pueden ser utilizadas para dar cuenta de las estrategias segmentales y la coordinación interarticular (72).

Dicha medición cinética y cinemática por su naturaleza cuantitativa, aporta ventajas frente a los otros métodos de evaluación del balance como lo pueden ser el control de la variabilidad en el rendimiento de la prueba (Debido a las diferencias intra e Inter evaluador), la objetivación del sistema de puntuación y la sensibilidad a los pequeños cambios. No obstante, debido a la multiplicidad de aferencias que componen el complejo comportamiento de balanceo postural, no es la mejor herramienta de medición para la identificación de etiologías o patofisiologías subyacentes a alguna alteración, pero sí, para una medición general del estado global del sistema (71), llegándose a considerar la medición del centro de presión mediante plataforma de fuerza, como el Gold estándar en lo que a caracterización del balance se refiere (73).

Partiendo de esta categorización, se han realizado diversos estudios de validez y confiabilidad comparando el rendimiento de equipos como la "*Wii Balance Board*" y los acelerómetros contra mediciones realizadas mediante plataforma de fuerza, obteniendo buenos resultados de validez y confiabilidad, los cuales se presentarán a continuación. Es preciso mencionar antes que la *Wii Balance Board* es un periférico de la Consola Wii diseñado por la compañía Nintendo, con el objetivo de sensor de forma gruesa los movimientos realizados por una persona en el marco de juegos interactivos diseñados con el objetivo de servir como estrategia de acondicionamiento físico (74), el cual debido a su costo y fácil acceso ha sido materia de múltiples investigaciones en la última década, las cuales lo plantean como herramienta de interés para el campo de la Neurorehabilitación específicamente en lo que a medición y entrenamiento del balance se refiere (75).

Es así que en el estudio realizado por Chang et al. (76), analizaron el coeficiente de correlación y la correlación intraclase entre la *Wii Balance Board* y el *Smart balance master system (SBM)*, instrumento de medición de balance con buenos niveles de validez y confiabilidad, encontrando un ICC entre 0.86 y 0.99. De igual forma Park & Lee

(77) analizaron también en población de adultos jóvenes, la confiabilidad entre evaluadores, la confiabilidad intra evaluador y la validez concurrente encontrando valores de ICC:0.89-0.79, ICC:0.92-0.70 y ICC: 0.87-0.73 respectivamente, resultados similares han sido reportados en otros estudios (78) (79). En población pediátrica, se puede citar a Lunge et al. (80) quien verificó la correlación entre la *Wii Balance Board* y la plataforma de Fuerza en niños entre los 10 a 14 años encontrando una validez concurrente entre 0.74 – 0.87, sin embargo en niños menores a 8 años, la medición del dispositivo dista de forma estadísticamente significativa con el gold estándar, tal como lo muestra el estudio realizado por Bunn et al. (81) debido a la sensibilidad de la plataforma ante valores masivos inferiores.

Este dispositivo también ha sido validado en poblaciones particulares tales como en casos de enfermedades neurodegenerativas para la determinación del riesgo de caídas, diagnóstico de presencia de alteraciones, entre otros. Ejemplo de ello es el estudio de Severini et al. (82) quien verificó la validez y confiabilidad de la *Wii Balance Board* en comparación con la plataforma de fuerza, encontrando que estas mediciones fueron de moderadas a altas para todas las características analizadas, es así que ambos equipos concordaron aproximadamente en un 80% en las clasificaciones realizadas.

En lo que respecta a las variables analizadas en relación con el centro de presión (*COP*) es preciso mencionar en primer lugar, que las grabaciones del centro de presión no procesadas o la señal bruta, son utilizadas principalmente como representaciones visuales de la salida del sistema de control postural. A partir de estas, se pueden obtener dos representaciones, el estatokinesiograma que es la construcción del mapa de desplazamientos del COP en el plano horizontal y el estabilograma que es la conjunción de las series de tiempo que muestran la variación del COP en las direcciones Anteroposterior (*AP*) y Medio lateral (*ML*) (72).

Adicionalmente, se recomienda utilizar otras variables para analizar los mecanismos involucrados en la regulación postural, las cuales se pueden categorizar como globales y estructurales. Las primeras caracterizan la magnitud de las resultantes *ML* y *AP* en

términos de tiempo y frecuencia de forma general, mientras que los segundos descomponen los patrones de balanceo del COP en subunidades y las correlacionan con el proceso de control motor (72). Dentro de las variables globales se encuentran: Las coordenadas medias, el área o superficie de elipse, la longitud de trayectoria, la amplitud de desplazamiento, la velocidad, la desviación estándar, las medidas de tendencia central y las distribuciones de banda de frecuencia. Con respecto a las estructurales, se habla de movimientos fraccionarios brownianos realizados en el marco de estabilogramas de difusión, de subsistemas de “*Rambling*” y “*Trembling*”, de análisis fractal de *COP*, de densidad de curva de balanceo, entre otras (72).

Frente a las posturas a adoptar sobre la plataforma, existen gran variedad de test posturales, lo cuales pueden abarcar apoyos bipedales, monopodales, ausencia de información visual, uso de superficies inestables, perturbación mecánica externa, perturbación visual, vestibular, propioceptiva o cognitiva, además de alternancia entre condiciones estáticas o dinámicas (69). Así entonces, se podría decir que sobre la plataforma se aplican evaluaciones funcionales, algunas de las cuales están contenidas en las “pruebas funcionales” mencionadas anteriormente, y a las cuales se les realizan evaluaciones cuantitativas del “desempeño postural” el cual es extraído de las variables analizadas mediante los sensores de los dispositivos.

4.2.4. Medición de la navegación espacial

Son bastantes los test o pruebas neuropsicológicas que dan cuenta del dominio espacial en los seres humanos, algunos de forma indirecta al ser aplicados en el espacio personal del individuo y otros, por estar diseñados específicamente para demandar el pleno funcionamiento de la cognición espacial (83). Es así que existen baterías para la medición de habilidades un poco más sencillas tales como la atención espacial, la memoria espacial de trabajo, la percepción visoespacial u orientación espacial, así como medición de habilidades que requieren la integración de las ya mencionadas, tales como la navegación espacial (83). A continuación, se pretende mostrar un panorama general de las pruebas diseñados y utilizados para dar cuenta de esta habilidad.

Las evaluaciones neuropsicológicas estándar que existen para indagar por la habilidad de una persona para “encontrar un camino” son escasas, no obstante los déficits en dicha habilidad aparentemente se pueden evidenciar al preguntar sobre “La forma de ir desde punto “A” a un punto “B” (83), para lo cual se han utilizado test de memoria procedimental o laberintos, los cuales además han sido ampliamente correlacionados con test o baterías que evalúan otras funciones cognitivas tales como la resolución de problemas o la flexibilidad cognitiva (83). Sin embargo, existen elementos clave que deben ser considerados a la hora de evaluar la navegación espacial tales como el manejo dinámico de marcos de referencia, lo cual implica que el individuo sea capaz de asumir puntos de vista no sólo desde el esquema egocéntrico, sino que también sea capaz de usar marcadores ambientales lo cual correspondería al marco allocéntrico (84).

Dicha característica de ofrecer ambos marcos de referencia y exigir la alternancia entre los mismos, se ha venido implementando a través del uso de realidad virtual, mediante programaciones tales como videojuegos o escenarios de inmersión, los cuales permiten combinar el realismo y la flexibilidad en la ejecución de determinadas tareas, a un costo significativamente menor que otros test o mediciones (85). Es así que respecto a la navegación espacial, se han desarrollado distintas pruebas para su medición tales como el “*Memory Island Test*” (85), “*El laberinto virtual de Morris*” (86) y el “*VSNA (Virtual spatial navigation assessment)*” (87), los cuales han sido ampliamente utilizados y validados en distintas poblaciones y edades.

Puntualmente el “*Memory Island Test*” ha sido validado para uso con población pediátrica potencialmente sana (Escolares entre 7 y 10 años) (85) y con desorden del espectro autista (88) mediante estudios en los cuales se encontró buena correlación con pruebas neuropsicológicas que evalúan las habilidades que conforman la navegación tales como: Atención visual, memoria de trabajo visoespacial, funciones ejecutivas, entre otras. En lo que concierne al laberinto virtual de Morris, esta prueba también ha sido trabajada con población infantil en etapa escolar potencialmente sana (86), así como con población del mismo grupo etario diagnosticado con ansiedad (89).

Paralelo a estos desarrollos y debido a la equiparación o equivalencia que se hace de los mismos con pruebas que evalúan sus elementos conformacionales, estudios recientes hacen aproximaciones del estado de la navegación espacial mediante la aplicación de pruebas como tomas de perspectiva, rotación mental, cuestionarios de auto reporte frente al manejo del espacio, entre otras (90) (91) (92). A este grupo pertenece la “Escala de sensación de dirección de Santa Bárbara”(93) la cual es un cuestionario de evaluación de las habilidades de orientación, el cual ha sido estandarizado y validado como medición subjetiva de las habilidades de navegación (94), al cual además, se le ha revisado su consistencia y validez interna (95).

Otro elemento son las pruebas de rotación mental las cuales según Sutton y Williams en el 2007 (96), hacen parte de las condiciones que deben tener las tareas demandadas para evaluar la habilidad espacial de una persona ya que permite la comprensión de la forma de los objetos desde diferentes ángulos siendo el otro requerimiento, la demanda frente a la comprensión de cómo los objetos se relacionan entre sí en el espacio. Adicionalmente, la rotación mental también implica toma de perspectivas alocéntricas y la toma de perspectiva visoespacial sobre la cual se profundizará a continuación (97).

La toma de perspectiva, también conocida como capacidad de orientación espacial, se define como "la capacidad de representar mentalmente un punto de vista diferente del propio" (98), así pues, en la dimensión espacial concretamente, esta habilidad podría ser asumida como la capacidad de cambiar de un marco egocéntrico a un marco alocéntrico, permitiendo realizar inferencias sobre el estado de la Navegación espacial misma. Diversos autores plantean que la toma de perspectiva es opción factible para evaluar el efecto de una interfaz de realidad virtual tangible en la cognición espacial ya que se ha demostrado que la capacidad de toma de perspectiva está asociada con movimientos corporales y que tales movimientos forman la condición básica de interacción de las interfaces tangibles (98).

Hay muchas pruebas para medir la habilidad de “toma de perspectiva”, siendo el “*Perspective Taking/Spatial Orientation Test (PTSOT)*” desarrollado por Hegarty et al. (99), uno de los más utilizados y validados. En población infantil concretamente, dicho test se ha utilizado tanto en su versión original como mediante una versión adaptada para niños (100). Concretamente Cathleen Heil (101) aplicó esta prueba en niños escolares de más o menos 9 años, encontrando que estos son capaces de comprender la prueba y verbalizar fácilmente sus procesos de pensamiento, en términos de resultados. En dicho estudio se evidenciaron además, diversas dificultades típicas y esperadas a la hora de realizar la prueba, las cuales pudieron resolverse o interpretarse en detalle, utilizando el marco de transformaciones egocéntricas. Igualmente Xistouri & Pitta-Panzati (102) aplicaron el *PTSOT* para determinar la relación existente entre las habilidades de rotación espacial y toma de perspectiva con el desempeño en tareas de simetría reflexiva por parte de escolares entre 10 y 12 años encontrando correlación entre la toma de perspectiva y el desempeño en dichas pruebas de simetría.

Es debido a estudios como los que se acaban de presentar, adicional a la correlación existente entre el desempeño en pruebas de “Toma de perspectiva” y la habilidad de navegación espacial (90), que distintos laboratorios como el “Laboratorio de Imágenes Mentales e Interacción Humano-Computadora” de la Universidad de Harvard, han desarrollado software para la aplicación de dicha prueba en entornos 2D y 3D, los cuales han evidenciado buenos resultados para dar cuenta de la habilidad de navegación espacial (90).

4.2.5. Medición de Variables Intervinientes

4.2.5.1. Nivel o estado de actividad física

La actividad física fisiológicamente puede ser definida como “cualquier movimiento corporal que incremente el gasto de energía por encima de los niveles basales” (103), es así entonces, que el elemento subyacente a la medición de la actividad física es esencialmente la cuantificación del gasto energético, la cual además puede

acompañarse de caracterizaciones cualitativas en términos de posiciones, tipos de actividad, etc. Esto brinda información referente a la frecuencia, duración e intensidad de la práctica de cierto tipo de actividad, además de la naturaleza de la misma, si es caminar, dormir, estar en posición sedente, entre otras (103).

Las herramientas utilizadas para medir la actividad física y los comportamientos sedentarios varían en su nivel de simplicidad, precisión y la información que proporcionan. Históricamente, dicha medición se ha realizado a través de herramientas de autorreporte tales como cuestionarios y registros de actividades, no obstante en las últimas décadas, se han implementado dispositivos de medición directa dentro de los que se encuentran la acelerometría, los monitores de frecuencia cardíaca y los podómetros (104). El primer tipo de estrategia mencionado, ha contribuido de manera sustancial a la comprensión de la dinámica de la actividad física y su relación con ciertos factores de salud, adicionalmente a ser una herramienta rentable y generalmente aceptada por las comunidades médica e investigativa, sin embargo, el autorreporte tiende a la subestimación de los tiempos sedentarios, razón por la cual, el segundo tipo de estrategias, han cobrado fuerza a raíz de la medición objetiva que proporcionan, siendo ampliamente utilizados en la actualidad tanto en estudios clínicos como epidemiológicos (104).

La elección de la herramienta para la medición de la actividad física dependerá entonces de factores tales como el objetivo de la investigación, el tipo de estudio planteado, el tipo de variable que sea la actividad física en el estudio, si se requiere categorización del tipo de actividad o no, el dominio de la actividad física que se vaya a estudiar, la población objetivo, entre otros factores (105). Según lo descrito en la literatura, cuando la actividad física no es una de las variables primarias del estudio ya sea dependiente o independiente y tampoco hace parte de la relación principal de interés, sino que está siendo asumida como una variable condicionante o interviniente, es razonable usar un instrumento de auto reporte corto y general que proporcione una clasificación relativa de las personas, en lugar de una estimación cuantitativa precisa (105).

Al respecto de las estrategias de auto reporte, Martínez Lemos y colaboradores (106) realizaron una revisión sistemática cuyos objetivos eran identificar y analizar las características y propiedades psicométricas de los cuestionarios de valoración de la actividad física aplicados a niños y adolescentes en España, encontrando entre un total de 14 cuestionarios, sólo 2 con adecuados criterios de validez en función de la lista de comprobación “*Qualitative Attributes and Measurement Properties of Physical Activity Questionnaires*”, dichos cuestionarios fueron el APALQ (9-18 años) y el ENERGY (12-14 años). En Latinoamérica por otro lado, se emplean para este mismo grupo etario cuestionarios como el CPAQ (*The children physical activity questionnaire*), el YPAQ (*The youth physical activity questionnaire*) y el 3DPAR (*The 3-Day Physical Activity Recall*) (107), herramientas que cuentan con altos niveles de validez y moderados niveles de confiabilidad para la población de dicho contexto .

Haciendo referencia específicamente al CPAQ, este cuestionario es un instrumento de recuento de la actividad física realizada en los últimos 7 días, el cual está diseñado para ser diligenciado personalmente por el sujeto a evaluar. Fue desarrollado para medir los niveles generales de actividad física a lo largo de la sección escolar de primaria para estudiantes en los grados 4 a 8 y aproximadamente de 8 a 14 años de edad (108). Dicho cuestionario ha sido traducido al español (109), adaptado y modificado para la inclusión de imágenes orientadoras en las preguntas (110) y para el caso de la población Colombiana, validado culturalmente para su uso en el país, encontrando además aceptable consistencia interna y confiabilidad test-retest (111), características que permiten considerarlo como una buena herramienta para la medición gruesa de los niveles de actividad física en la población escolar .

4.2.5.2. Nivel o estado de desarrollo motor

El desarrollo motor por otra parte puede concebirse como una de las formas a través de las cuales se realiza una aproximación al estado de maduración funcional del sujeto. Concretamente, dicho término hace referencia a la aparición, adquisición y dominio de las habilidades motoras que se producen a lo largo de la vida y que no están sólo

restringidas a la infancia (112). Así pues, dichas habilidades cambian en función de factores como el crecimiento, los cambios en la composición corporal, la experiencia, la práctica y el envejecimiento. De igual forma, muchas de esas habilidades corresponden a conductas motoras fundamentales que la mayoría de los humanos adquieren en etapas tempranas, en comparación con otras que son producto de prácticas y entrenamientos específicos (112).

Es así, que podría decirse entonces que el desarrollo motor está delimitado por el estado del cuerpo, en términos de sus características biomecánicas y osteomusculares dándole la característica de “corporizado” (113). Así mismo, está situado en un entorno que ofrece innumerables posibilidades de acción y moldeado por las influencias sociales y las prácticas culturales específicas de crianza, atribuyéndole además la característica de “inmerso” (113). Serían estas cualidades las que darían lugar a una amplia variabilidad de movimiento que genera una flexibilidad comportamental que podría entenderse como *“la capacidad de seleccionar y modificar acciones para adaptarse a los cambios en el cuerpo, el entorno y la tarea”* (113), otorgando funcionalidad al individuo.

Dicha variabilidad motora es también el resultado del funcionamiento complejo del sistema nervioso a través de la integración de la actividad cortical, subcortical, espinal y neuromuscular (114). Inicialmente, la variación de movimiento serviría a la exploración y familiarización del sujeto con su entorno, ya que la información aferente asociada, contribuiría a formar el sistema nervioso en desarrollo, y en menor medida para adaptar el comportamiento motor. No obstante en periodos posteriores, dichas proporciones se modificarían permitiendo que la variación del movimiento sirva principalmente a la adaptación (114).

En medio de esta variabilidad, se han logrado identificar unos comportamientos que podría esperarse se evidencien en secuencias parcialmente definidas, apareciendo así dichos comportamientos en periodos particulares del desarrollo (115), y convirtiéndose entonces, estos comportamientos en “hitos” que servirán para hacer una aproximación al estado de desarrollo motor (115). Paralelamente se evidenciarán también cambios en

mediciones neurofisiológicas tales como la velocidad de conducción y en técnicas de neuroimagen a través de estrategias como las tractografías (116).

En referencia a la evaluación clínica del desarrollo motor, generalmente ésta se realiza a través de herramientas de tamizaje que pueden clasificarse en dos tipos: Aquellas que se basan en el reporte por parte de los padres o familiares y las administradas por el personal de Salud dónde se provoca o se observa la realización del hito deseado, existiendo también herramientas que involucran ambos componentes (117). Así entonces, se realizan y aplican diversas escalas que no evalúan solamente el componente motor sino que además, miden el desempeño en otras áreas como el lenguaje o la interacción social, además de realizar una agrupación de los hitos o logros en función de la edad biológica (117), o el paradigma desde el cual se conciba el desarrollo motor (118) dichas herramientas como la “Escala motora de Alberta” o la “Escala Bayley de desarrollo infantil” han sido ampliamente estandarizadas y validadas en los grupos etarios para los que fueron diseñadas (118) (119), no obstante, pocas han pasado por procesos de validación intercultural(119).

En Latinoamérica puntualmente, se cuenta con varias escalas para distintos grupos etarios, que adicionalmente tienen diferentes sistemas de puntuación y componentes, lo que dificulta su equiparación. Por ejemplo, para niños y niñas hasta los 6 años existen pruebas como EDIN y PRUNAPE y para niños hasta los 9 años, se emplean pruebas como la “Escala de Desarrollo de Heloise Marinho” (EDHM) (120). No obstante en Colombia, la herramienta más usada es la “Escala abreviada del desarrollo” creada en el país y validada culturalmente para el mismo, a pesar de esto, en comparación con otros instrumentos carece de especificidad y exhaustividad, por lo que algunos autores han recomendado el uso de otras herramientas (121).

La batería de medición de movimiento para niños la “*Movement ABC -2*” (122) es una herramienta que consta de 2 partes: Un test de desempeño y una lista de chequeo que se bien en un principio se desarrollaron para identificar deficiencias en el desarrollo motor, posteriormente se aceptó su uso para niños potencialmente sanos y como

herramienta de tamizaje en el entorno educativo (123). Diversos estudios han implementado y validado esta herramienta para la realización de caracterizaciones gruesas del estado de desarrollo motor (124)(125) y así mismo se han utilizado los componentes por separado, convirtiéndose así la lista de chequeo en una buena estrategia de caracterización y evaluación gruesa (123)

.

Capítulo 5: Diseño Metodológico

5.1. Tipo de estudio

Para la presente investigación se planteó un enfoque cuantitativo con el que se pudieran establecer hipótesis o supuestos respecto al problema de estudio ya explicado, y así mismo, mediante la recolección de datos y su respectivo análisis, responder al interrogante de forma objetiva.

Igualmente, se seleccionó como diseño un estudio observacional de tipo analítico y de naturaleza transversal, con alcance correlacional no explicativo. De forma tal que permitiera describir las variables observadas y plantear posibles asociaciones entre las mismas, sin pretender establecer relaciones de causa – efecto (126).

5.2. Población y muestra

5.2.1. Población del estudio

La presente investigación estuvo dirigida a la población estudiantil entre 7 y 10 años del Colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza, el cual se encuentra ubicado en dicho municipio, en el Departamento de Cundinamarca. Este municipio a su vez pertenece a la denominada “Sabana de Bogotá”, región geográfica que comprende a la capital del país y a cerca de otros 20 municipios cuya interacción social, política y económica con el centro urbano es frecuente (127).

La realización de éste estudio estuvo aprobada por el rector y consejo académico de dicha institución, previa solicitud por escrito y aval de la directora académica, a quién se le presento el proyecto.

5.2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Las y los participantes del estudio cumplieron los criterios de inclusión a continuación descritos, y así mismo, no presentaron ninguna de las condiciones de exclusión también mencionadas a continuación, las cuales se basaron en los lineamientos descritos en estudios previos (80):

<i>Criterios de Inclusión</i>	<i>Criterios de Exclusión</i>
<ul style="list-style-type: none">• Niños y niñas entre 7 y 10 años• Firma del consentimiento informado por parte de sus padres o representante legal• Firma del asentimiento informado por parte de la niña o niño• Que hayan completado el total de pruebas del estudio• Sin presencia de limitaciones visuales, auditivas, vestibulares o somatosensoriales moderadas o severas, que no hayan sido tratadas.• Sin presencia de deficiencias cognitivas moderadas o severas definidas a partir de diagnóstico médico.	<ul style="list-style-type: none">• No haber completado el tiempo necesario para la adaptación al uso de algún aditamento (anteojos, audífonos, implantes cocleares, etc.) en caso de que el menor lo requiera• Presentar síntomas que influyeran la realización de las pruebas al momento de la toma de las mismas (Vértigo, visión borrosa, dolor en extremidades inferiores o en espalda, malestar general, entre otras)

Tabla 1. Criterios de selección de la investigación

5.2.3. Estimación del tamaño muestral

Para la determinación del tamaño muestral se tuvo en cuenta que el objetivo general de la investigación era determinar la correlación entre 2 o más variables, lo cual implicaba

designar un tamaño muestral suficiente para poder hacer un contraste de la hipótesis planteada, de forma tal que el valor del coeficiente de correlación fuese significativo.

Según la búsqueda bibliográfica realizada, hasta el momento no se había desarrollado un estudio que vinculara el balance postural y la navegación espacial mediante un diseño correlacional del cual se pudiese tomar el coeficiente de correlación, y siguiendo las recomendaciones estadísticas, así como estudios previos que presentaron la misma situación (128), se asumió un valor de correlación de 0,5 (r) para aplicar en la fórmula de la Imagen 2. Igualmente se determinó un nivel de confianza del 90% y una potencia o poder estadístico del 80%, obteniendo entonces que el tamaño muestral (n) que se requería para obtener una significancia estadística era de 23 personas. Este valor fue corroborado mediante la herramienta de “Calculo de tamaños de muestra” para contraste de hipótesis de coeficiente de correlación del software libre Epidat Versión 4.2.

$$n = \left(\frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}} - z_{1-\beta}}{0,5 \log \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

Imagen 2 Fórmula para el cálculo muestral con un planteamiento bilateral

Adicionalmente, diversas fuentes recomendaban aumentar a este valor un 15 o 20% como porcentaje de pérdidas, con el objetivo de solventar dificultades que se pudiesen presentar durante la aplicación del estudio, por lo que se midieron un total de 29 personas que se estableció como el tamaño muestral final.

5.2.4. Método de Muestreo

Para asegurar que la muestra seleccionada, fuese representativa de la población (58 estudiantes según la información suministrada por el colegio), se realizó un muestreo aleatorio estratificado, tomando como marco muestral el listado de los estudiantes de la

institución educativa entre 7 y 10 años, el cual se encontraba en la base de datos manejada por la misma.

Igualmente teniendo en cuenta que la muestra iba a comprender tanto niños como niñas de edades distintas (Entre los 7 y 10 años) y que describir el comportamiento de las variables principales para cada sexo biológico y para cada edad era parte de los objetivos específicos del estudio, se realizó dicho muestreo aleatorio estratificado con asignación o afijación proporcional ya que el número de niños y niñas por grupo etario no era el mismo. Para esta asignación, se aplicó la fórmula de la imagen 3, cuyo resultado es el número de sujetos por estratos (n_i) que conforma el tamaño muestral necesario (n) como se observa en la Tabla 2.

$$n_i = n \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

Donde,
N *Población del estudio (107)*
n *Tamaño de la muestra (62)*
L *Número*
e *Estratos*

Imagen 3 Fórmula para la asignación proporcional

Estratos (L)		Tamaño del estrato (Ni)	Peso Proporcional	Muestra por estrato (ni)
Sexo biológico	Edad (Años)			
Niñas	7	3	5,17	1
	8	4	6,9	2
	9	9	15,52	4
	10	11	18,97	4
Niños	7	9	15,52	4
	8	10	17,24	4
	9	5	8,62	2
	10	7	12,07	3
Tamaño de la población (N)		58	Tamaño Muestral (n)	24

Tabla 2 Estratos de método de muestreo

5.3. Selección y operacionalización de variables

Dado el diseño de estudio seleccionado, se definieron las variables principales como aquellas que respondían al objetivo general del estudio (Balance postural y navegación espacial), y de variables intervinientes, como aquellos factores que de no ser controlados podían generar distorsión de los resultados de investigación, y en función de los cuales, a su vez, se pretendía describir el comportamiento de las variables principales. Las variables intervinientes seleccionadas fueron: Sexo biológico, edad, nivel de actividad física y nivel de desarrollo motor. La operacionalización de las variables con el tipo, categorización, definición, indicador, unidad de medida, índice y valor se encuentra en el *Anexo 1*.

5.4. Hipótesis

5.4.1. Nula (H0)

No existe correlación significativa entre la navegación espacial y el balance postural en los niños y niñas entre 7 y 10 años del colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza.

5.4.2. Alternativa (H1)

Existe correlación significativa entre la navegación espacial y el balance postural en los niños y niñas entre 7 y 10 años del colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza.

5.5. Plan de recolección y procesamiento de la información

Previo presentación del proyecto de investigación a los padres de familia, se procedió a contactarlos por medio de llamada telefónica con el fin de conocer su deseo de participar

en el estudio y concretar dado el caso, una citación individual para el estudiante en compañía de su papá o su mamá para la lectura y firma del consentimiento informado, así como la aplicación de las pruebas.

5.5.1. Diligenciamiento de formato de recolección de datos

En dicha citación individual se procedía en primer lugar a leer, explicar y diligenciar tanto el consentimiento como el asentimiento informado para posteriormente indagar por los datos personales, antecedentes patológicos o traumáticos del niño o niña, así como sus datos de contacto. Dicha información fue consignada en una tabla o archivo de extensión “.xlsx” (*Ver Anexo 2*) protegido bajo contraseña y ubicado en una laptop personal también protegida, para salvaguardar la confidencialidad de los datos personales de los participantes. De igual manera se realizó una codificación bajo la cual quedaron almacenados los resultados obtenidos en las diversas pruebas realizadas.

Para evitar la pérdida de información, dicha tabla y la demás información recolectada, se almacenó también en un dispositivo de almacenamiento externo bajo la función de “sincronización”.

5.5.2. Orden de aplicación de las pruebas

Luego del diligenciamiento del formato de recolección de datos de contacto y antecedentes, se realizaba el diligenciamiento del cuestionario de actividad física, para posteriormente aplicar la prueba de toma de perspectiva, previo receso de 5 minutos. Una vez finalizada dicha prueba, se daba otro descanso de 5 min para aplicar la prueba de balance postural. A continuación, se completaba la prueba de rotación mental, nuevamente previo receso de 5 minutos y finalmente se diligenciaba la lista de observación conductual de la batería MABC-2 con el padre o madre de familia.

5.5.3. Medición del nivel de actividad física

La medición del nivel de actividad física se realizó a través de la aplicación del cuestionario CPAQ (129) (130) mediante entrevista con el niño o niña de forma presencial en compañía de los padres o representante legal.

En un primer momento se le explicó al niño o niña de forma verbal, en qué consistía la prueba, se indagó por dudas o inquietudes, y posteriormente se le realizaron las preguntas de los 9 ítems que conforman el cuestionario, diligenciando dicha información en la base de resultados de formato “.xlsx” con la codificación previamente mencionada.

5.5.4. Medición de la Navegación Espacial

Esta medición se realizó a través de 2 pruebas: La prueba de toma de perspectiva para niños y una prueba de rotación mental. La primera prueba consistía en la presentación de imágenes y la realización de preguntas sobre las mismas (131), mientras que la segunda partía de la presentación de 20 pares de imágenes de animales en un computador portátil de 14 pulgadas, frente a los cuales los sujetos de estudio debían establecer la similitud o diferencia entre las mismas (132).

Dichas pruebas se aplicaron con una separación de 10 minutos aproximadamente entre cada una para reducir la alteración en los desempeños debido a procesos de fatiga cognitiva. Igualmente, para asegurar la comprensión de la tarea, con ambas pruebas se presentaron 3 ejemplos a los sujetos de estudio, siguiendo las recomendaciones de los autores (131) (132). Los resultados obtenidos se consignaban en la matriz de resultados ya descrita.

5.5.5. Medición del Balance

Para la medición del balance se usó la *Wii Balance Board*, un periférico de Nintendo, el cual iba conectado al computador portátil a través de Bluetooth y cuyos datos fueron

procesados a través del software “Brain Blox” para el análisis del centro de presión diseñado para este dispositivo por Cooper et al. (133)

Una vez dispuesta la plataforma en el centro de un área libre cuadrada de 1 m² y habiendo colocado al niño un cinturón de seguridad para prevenir caídas, se le pidió subir a la plataforma y estar en posición bípeda con los ojos abiertos durante 30 segundos, luego con los ojos cerrados en esta misma posición durante el mismo tiempo, y finalmente en apoyo unipodal con ojos abiertos tanto con pierna dominante como no dominante durante 30 segundos cada una. Esta ronda se repitió 2 veces con un descanso de un minuto entre cada ronda. Todo este protocolo se diseñó en consonancia con estudios previos (80), así como las precisiones de ubicación detalladas a continuación.

Durante las cuatro pruebas, el participante recibió instrucciones de pararse descalzo o descalza con las manos al lado del tronco y permanecer lo más tranquilo posible durante la prueba. La postura bilateral se realizó con los pies juntos, “talón con talón” y “pulgar con pulgar” en medio de la plataforma sobre una equis “x” claramente marcada para garantizar una reproducción de la posición del pie a lo largo de la recopilación de datos. La postura unilateral se realizó apoyando la parte media del pie que está siendo evaluado en la equis “x” y con el otro pie, colocado en reposo sin posición de soporte. Durante esta prueba, se definió la falla como el apoyo con la extremidad elevada en el equipo o en el piso, en caso de falla, se le permitirá al niño o niña un nuevo intento, con un máximo de tres intentos fallidos.

Durante ésta prueba se realizó el registro del comportamiento del centro de presión, el cual se almacenó mediante el Software BrainBloX (133), exportando posteriormente un archivo con extensión .csv con el registro de la serie temporal para su posterior procesamiento en Matlab.

5.5.6. Medición del nivel de desarrollo motor

Para el tamizaje del nivel de desarrollo motor, se aplicó la lista de observación conductual de la batería de movimiento MABC – 2 (122) previa capacitación en la misma, la cual consiste en una lista de chequeo que indaga por el desempeño o la realización de diversos movimientos funcionales tanto de motricidad gruesa como fina.

Para su diligenciamiento, se realizó en primer lugar una explicación de la metodología e intención de la prueba, así como resolución de las posibles dudas que pudiesen surgir, para posteriormente preguntar los diversos ítems de dicho instrumento a los padres de familia. La información fue consignada en la base de resultados de formato “.xlsx” con la codificación previamente mencionada.

5.6. Plan de análisis de la información

La información recolectada, se organizó y procesó como se describe a continuación con la intención de realizar un análisis descriptivo de la información recolectada, así como el estudiar posteriormente la relación de las variables principales.

5.6.1. Descripción de comportamiento de las variables

Una vez se tuvieron los resultados de las distintas pruebas, en la matriz de resultados descrita con la información adicional de sexo biológico y edad, se procedió a extraer los parámetros de media y desviación estándar de dichos resultados, a partir de la función de filtro en función de los factores de sexo biológico y edad previamente mencionados.

Para la estimación de la navegación espacial se realizó el cálculo promedio entre los resultados de la prueba de toma de perspectiva y la prueba de rotación mental, previo reescalamiento de las medidas, teniendo en cuenta que dicha transformación lineal no modificaría la naturaleza de la medición y sí permitía simplificar el número de variables

a analizar, obteniendo entonces un indicador indirecto del desempeño en la prueba de navegación espacial.

Con respecto al procesamiento del registro del centro de presión, los registros obtenidos de los sensores de la *Wii Balance Board* proporcionaron las series temporales del COP en sentido antero-posterior y mediolateral muestreadas a 60 Hz. Se preprocesó la señal con un filtro digital low-pass con frecuencia de corte de 4 Hz que permite preservar el espectro típico de las oscilaciones posturales. Se realizó adicionalmente un suavizado polinomial con ventana de 9 muestras y aproximación de primer orden. Posteriormente la señal fue analizada por segmentos de la prueba en las diferentes condiciones sensoriales y por separado en sentido antero-posterior y mediolateral en la mayoría de las métricas. Las medidas lineales fueron computadas localizando los máximos locales y globales de la serie temporal y su primera derivada temporal (velocidad). El área cubierta por el COP fue circunscrita a un elipsoide cuyas direcciones y radios fueron calculados por medio de la matriz de covarianza, y escalada para el 95% de las muestras (chi square val = 2.4477).

Los descriptores no lineales del registro del centro de presión fueron igualmente calculados sobre los mismos segmentos de la prueba por separado con la señal preprocesada. El análisis de Fluctuaciones sin tendencia (DFA) utilizó 5 escalas de tiempo (16,32,64,128,256 y 512), con ajuste de curva de orden 2 para el cálculo de la fluctuación local. Esta se realizó en base al Root mean squared (RMS). Por su parte, la entropía de muestra usó un parámetro regularizador 'r' de 20% de la desviación estándar de la serie de tiempo y la dimensión embebida 'm' fue fijada en 2.

La entropía aproximada, la dimensión de correlación y el exponente de Lyapunov (Largest Lyapunov exponent) fueron estimados en relación a la reconstrucción del espacio de fase, donde los parámetros de dimensión embebida (epsilon) y el retraso temporal (tau) fueron calculados usando el enfoque de falsos vecinos y el primer mínimo local de la función de información mutua respectivamente. Estos mismos parámetros

fueron similares entre los sujetos experimentales de modo que cada cómputo fue realizado usando sus parámetros tau /epsilon propios.

El cómputo de éstos descriptores de la señal del COP se realizó mediante script adaptados en Matlab (Matlab 2021a, Mathworks) con las funciones de los toolbox de procesamiento de señales y de mantenimiento predictivo.

5.6.2. Correlación

La correlación entre las dos variables principales, el balance postural y la navegación espacial, se realizó en un primer momento mediante la realización de diagramas de dispersión y obtención de rectas de regresión en búsqueda de pendientes diferentes de cero, siguiendo la recomendación de autores que sugieren el análisis de las gráficas para el estudio de relación entre variables y no solamente la ejecución de pruebas de hipótesis (134). Posteriormente se aplicaron los coeficientes de correlación Kendall y de Spearman, previa corroboración del comportamiento de los datos en cuanto a su distribución mediante la aplicación del test Shapiro-Wilks, para finalmente aplicar las pruebas de hipótesis respectivas donde se definió un nivel de significancia de 0,1.

Para dicho análisis se empleó el software R versión 4.1.2 (135).

5.7. Consideraciones éticas

El planteamiento del presente proyecto de investigación se basó en los principios radicados en el código de Nuremberg (136), la Declaración de Helsinki (137), el Informe de Belmont (138) y la Resolución 8430 de 1993 (139) a través de la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud en el País. Dado el diseño de estudio seleccionado, de naturaleza prospectiva, así como el tipo de pruebas a realizar que, si bien incluyen entrevistas y cuestionarios, también abarca exámenes físicos rutinarios dentro del ámbito terapéutico, cuyas probabilidades de atentar contra la integridad física y moral de los individuos es muy baja, la presente

investigación se clasifica como: “Investigación con riesgo mínimo” según los lineamientos dados por dicha resolución.

Es importante mencionar que ninguno de los instrumentos empleados fue de carácter invasivo y que, si bien las pruebas de balance se realizaron en posición bípeda, en el protocolo de medición se tomaron todas las medidas de seguridad necesarias para prevenir caídas tales como el uso de cinturón o una posición unipodal que no generara inestabilidad considerable.

De igual manera, en cumplimiento de los demás requisitos descritos en la resolución 8430, se solicitó el diligenciamiento y firma por escrito tanto de consentimiento informado por parte de padres o representante legal, como de asentimiento informado entendido como la figura que garantiza la protección integral de las libertades de los niños y niñas participantes del estudio (138), asegurando adicionalmente, la confidencialidad de su información de salud identificable, protegiendo así, su privacidad.

Finalmente, este proyecto fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia bajo el acta N° 001-004 del 28 de Enero del 2021.

Capítulo 6: Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la investigación a través de los siguientes apartados de análisis: En primer lugar, se encuentra la caracterización de la población, seguido de los valores obtenidos en la medición tanto de navegación espacial como de balance postural de forma global y en las diferentes condiciones de prueba (Apoyo bipodal con ojos abiertos y cerrados y apoyo unipodal) de ésta última variable. En tercer lugar, se muestran los valores promedio de las variables principales de balance postural y navegación espacial, en función de las características de edad, sexo, niveles de actividad física y desarrollo motor definidas como variables condicionantes. Finalmente, se presentan las correlaciones realizadas entre la medición indirecta de navegación espacial y los diferentes indicadores de balance postural.

6.1. Caracterización de la población

La presente investigación contó con la participación de 29 niños y niñas (Tabla 3), los cuales se encontraban entre los 7 y 10 años de edad en función de los rangos sugeridos por el método de muestreo aplicado. Se tuvo entonces 7 sujetos para cada edad de 7 años y 8 años, y 6 y 10 niños y niñas para las edades de 9 y 10 años respectivamente. En relación con el sexo, hubo un mayor porcentaje de hombres (51,72%), la muestra fue en su mayoría diestra (96,55%), con niveles de actividad física esperados para la edad (65,52%) según los puntos de corte definidos para la medición realizada (140) y sin dificultades de movimiento (41,38%) según lo establecido por la herramienta utilizada para dicha medición (122).

Característica		n	%
<i>Edad</i>	7	7	24,14
	8	7	24,14

	9	6	20,69
	10	9	31,03
<i>Sexo biológico</i>	<i>Mujeres</i>	14	48,28
	<i>Hombres</i>	15	51,72
<i>Dominancia</i>	<i>Diestro</i>	28	96,55
	<i>Zurdo</i>	1	3,45
<i>Nivel de actividad física</i>	<i>PAQ-C < 2,73</i>	10	34,48
	<i>PAQ-C ≥ 2,73</i>	19	65,52
<i>Desarrollo Motor (según MABC-2)</i>	<i>RDM</i>	9	31,03
	<i>PRDM</i>	8	27,59
	<i>EDM</i>	12	41,38

Tabla 3. Características de los sujetos de estudio
(RDM= Riesgo de desarrollo motor – PRDM= Posible riesgo de desarrollo motor – EDM= Desarrollo motor esperado)

6.2. Medición de balance postural y navegación espacial

6.2.1. Medición de Navegación Espacial

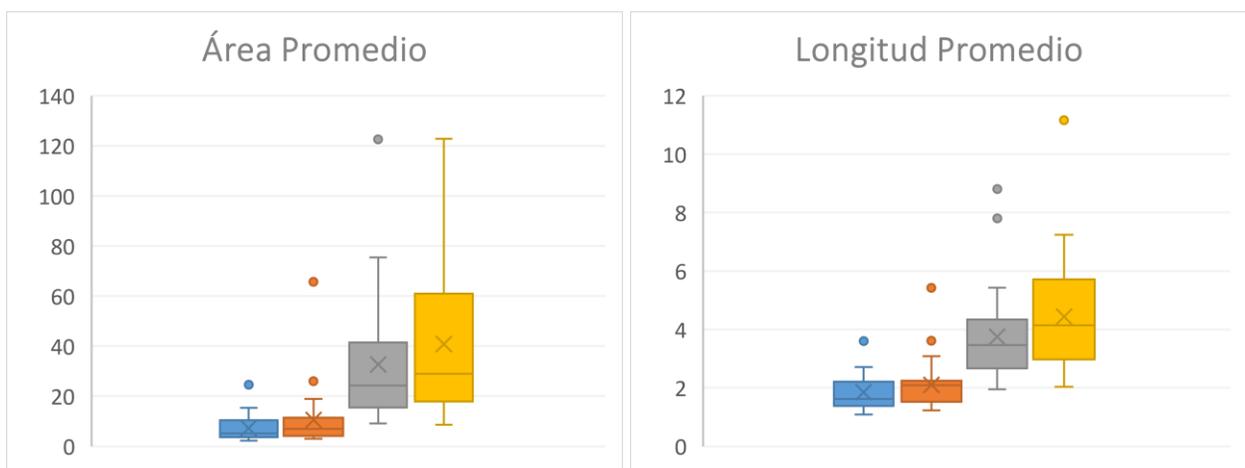
La media aritmética de las puntuaciones obtenidas en las pruebas de rotación mental y toma de perspectiva, las cuales fueron promediadas para la estimación indirecta del desempeño de navegación espacial, se presentan en la Tabla 4, junto con la respectiva desviación estándar. En general se observan puntuaciones por encima del 90% para ambas pruebas tal como se observa en la Gráfica 1.

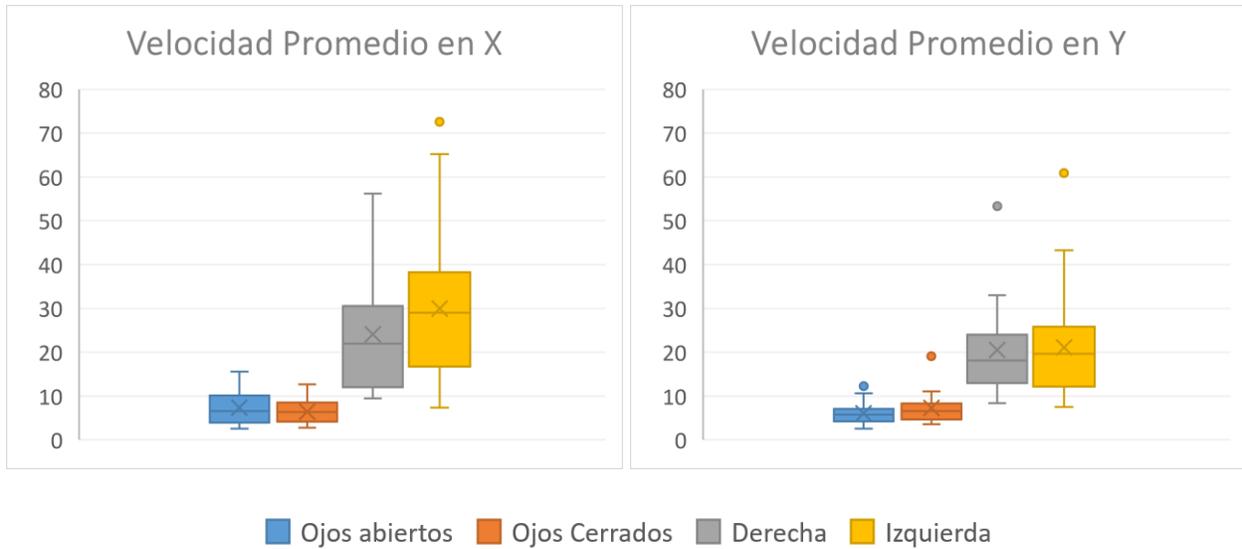
Medición	Puntuación obtenida	Desviación Estándar
<i>Toma de Perspectiva</i>	93,96551724	10,78078705
<i>Rotación Mental</i>	95,68965517	5,625855162

Área Promedio	7,17	4,89	10,45	11,83	32,62	25,13	40,82	31,48
Long Promedio	1,85	0,59	2,1	0,84	3,74	1,54	4,44	1,99
Vel "X" Promedio	7,36	3,73	6,42	2,55	24,1	13,67	29,97	16,63
Vel "Y" promedio	6,06	2,54	7,27	3,86	20,52	11,12	21,11	12,15

Tabla 5. Mediciones lineales de balance postural

Se observa un incremento no estadísticamente significativo del área promedio y la longitud promedio en la condición de ojos cerrados, así como en el apoyo de la extremidad no dominante tal como se observa en las subgráficas superiores de la Gráfica 2. Con respecto a la velocidad en los ejes "X" y "Y", hay igualmente un leve incremento sin significancia estadística en ambos ejes al realizar el apoyo unipodal con la extremidad no dominante. Frente a la condición de apoyo bipodal con ojos cerrados se observa un aumento de la velocidad en el eje "Y" pero una disminución en el eje "X" frente al mismo apoyo con ojos abiertos.





Gráfica 2. Diagramas de cajas y bigotes de mediciones lineales de COP en ejes "X" y "Y"

Así mismo, dichos registros del centro de presión fueron estudiados bajo 5 métodos no lineales que debido a la no estacionariedad de los datos, podrían permitir una mejor interpretación. Dichos análisis fueron: Entropía aproximada, entropía de muestra, dimensión de correlación, análisis de fluctuación de tendencia (DFA) y exponente de Lyapunov, éstos fueron aplicados tanto para el eje mediolateral o transversal (X) como para el eje anteroposterior (Y) y los resultados obtenidos para cada condición de prueba se condensan en la Tabla 6 y se ilustran en Gráfica 3, Gráfica 4 y Gráfica 5.

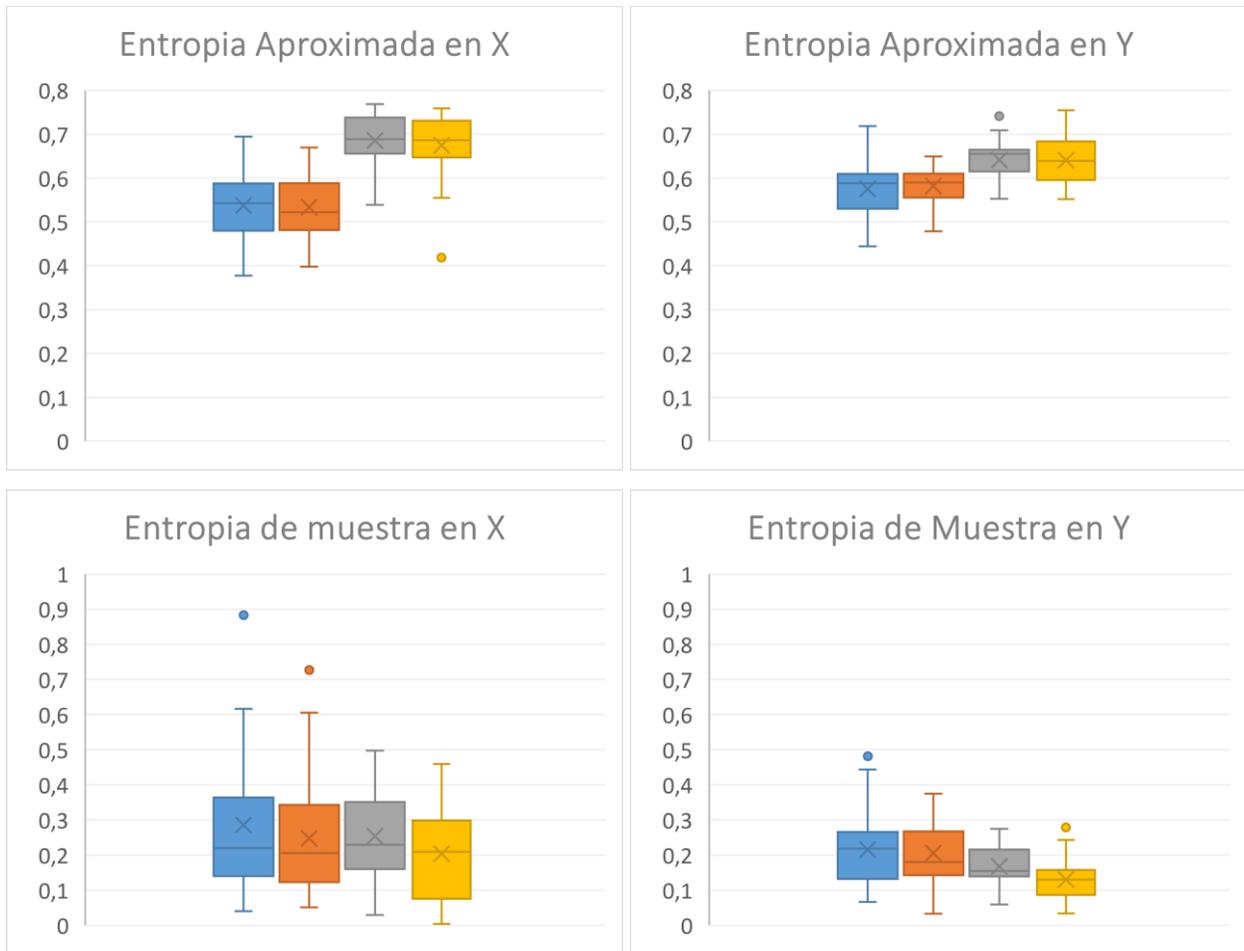
Variable no lineal	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	Media	σ	Media	σ	Media	σ	Media	σ
Entropía Aprox X	0,54	0,08	0,53	0,07	0,69	0,06	0,68	0,07
Entropía Aprox Y	0,58	0,07	0,58	0,05	0,64	0,04	0,64	0,06

<i>Entropía de Muestra X</i>	0,29	0,18	0,25	0,16	0,25	0,12	0,2	0,12
<i>Entropía de Muestra Y</i>	0,22	0,1	0,21	0,09	0,17	0,06	0,13	0,06
<i>Dimensión de Correl X</i>	2,52	0,15	2,48	0,11	2,48	0,17	2,47	0,15
<i>Dimensión de Correl Y</i>	2,43	0,1	2,38	0,13	2,49	0,15	2,51	0,19
<i>DFA X</i>	1,76	0,1	1,78	0,1	1,46	0,08	1,47	0,11
<i>DFA Y</i>	1,73	0,09	1,72	0,09	1,5	0,09	1,52	0,1
<i>Exp. Lyap en X</i>	-0,08	0,76	-0,21	0,14	5,36	4,16	0,17	2,57
<i>Exp. Lyap en Y</i>	-0,16	0,54	-0,09	0,73	2,04	3,46	3,05	3,91

Tabla 6. Mediciones no lineales de balance postural

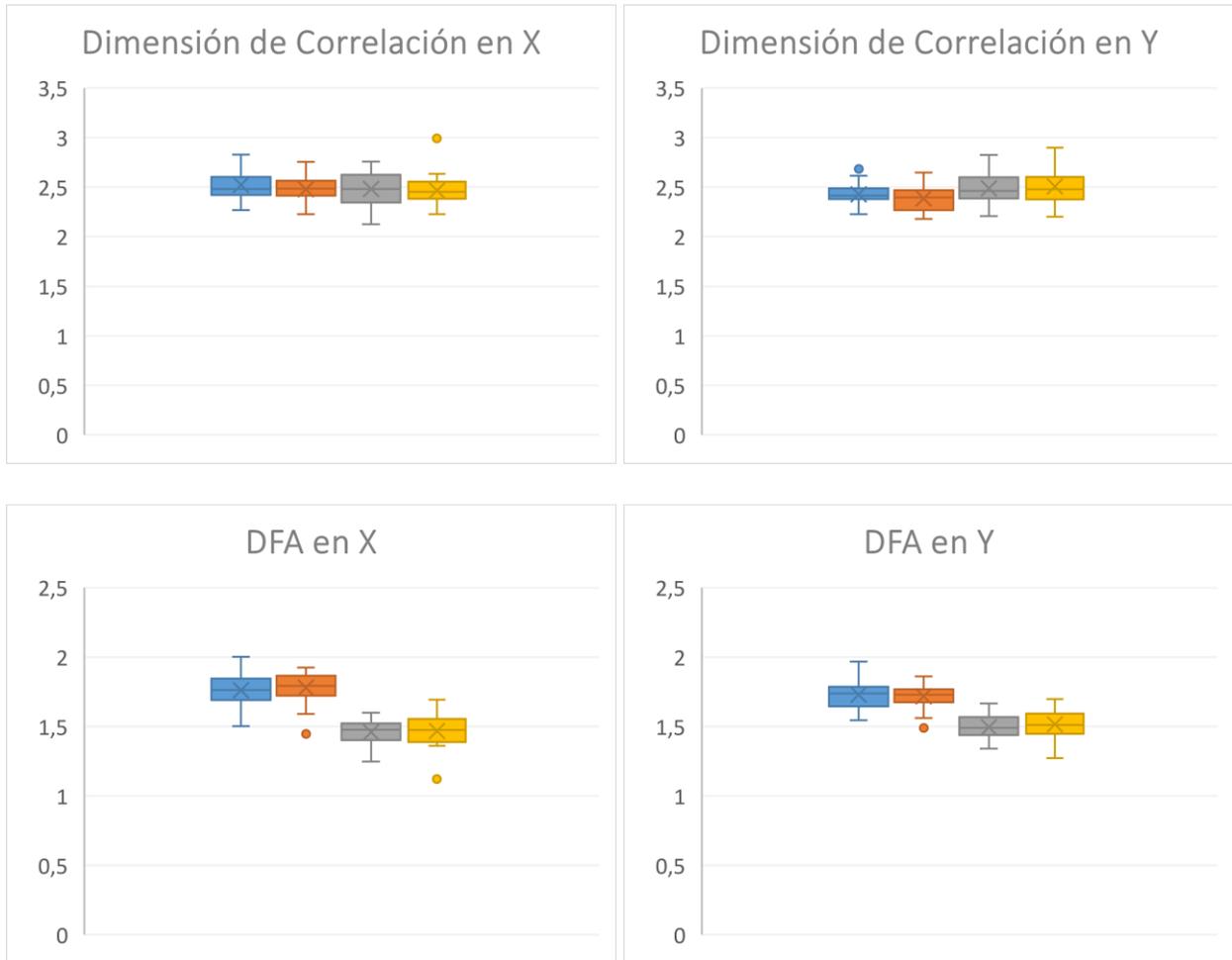
Para el caso de los indicadores de entropía, en relación a los valores de entropía aproximada, se observan valores mayores para el caso del apoyo unipodal tanto en eje “X” como “Y” sin presentarse diferencias entre la extremidad dominante y no dominante, sin embargo dicha diferencia es más marcada en el eje “X” (Subgráficas del panel izquierdo) que en el eje “Y” (Subgráficas del panel derecho) donde se observan valores similares entre todas las condiciones sensoriales (Gráfica 3). Algo similar ocurre para la entropía de muestra en el eje “X” (Subgráfica inferior izquierda) donde se observa estabilidad en la complejidad de la señal en todas las condiciones sensoriales, en comparación con el eje Y (Subgráfica inferior derecha), donde no sólo se encuentran valores menores con respecto al eje “X” sino que además sí se observan diferencias entre el apoyo bipodal y unipodal, obteniendo indicadores de complejidad menores para

el caso de ésta última, que adicionalmente es mayor, aunque sin significancia estadística, para el apoyo unipodal con la extremidad dominante (Gráfica 3).



Gráfica 3. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía aproximada y de muestra para los ejes "X" y "Y" de la medición de balance postural

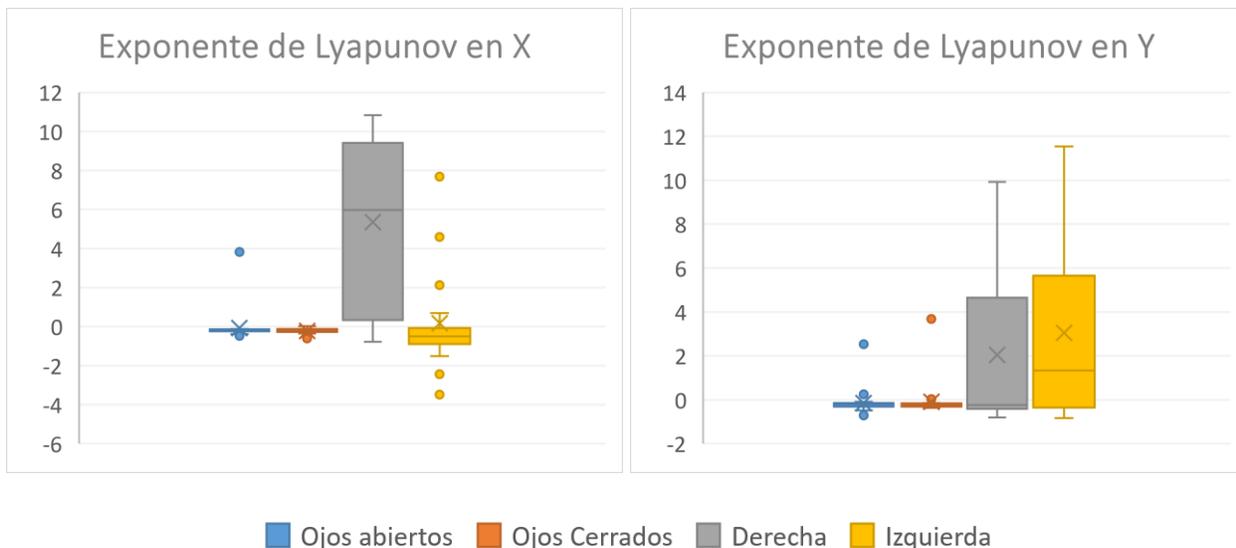
En referencia a los indicadores de fractalidad utilizados, dimensión de correlación y análisis de fluctuación de tendencia (DFA), se observa para el caso del primero, valores similares tanto para el eje "X" como "Y" y entre las distintas condiciones de la prueba tal como se observa en el panel superior de la Gráfica 4. Para el caso del análisis de fluctuación de tendencia se obtienen valores cercanos a 1,5 para las condiciones sensoriales unipodales, en comparación con las condiciones de prueba bipodales donde se obtienen valores mayores a 1,5 que serían un indicador de existencia de comportamiento fractal (Panel inferior de la Gráfica 4).



Gráfica 4. Diagramas de cajas y bigotes de valores de dimensión de correlación y análisis de fluctuación de tendencia para los ejes "X" y "Y" de la medición de balance postural

Para el caso del exponente de Lyapunov, se observa gran dispersión de los datos y valores diferenciales para todas las condiciones de prueba que distan adicionalmente entre los ejes "X" y "Y". Para las condiciones de apoyo bipodal, se obtienen valores negativos con poca dispersión en el intervalo $[-0.21, -0.08]$, que además, no presentan diferencia entre ojos abiertos y ojos cerrados. Para las condiciones de apoyo unipodal, se observa gran dispersión de los datos, así como datos atípicos para el apoyo unipodal izquierdo en el eje X, los demás valores promedio de apoyo unipodal son distantes entre sí (Panel izquierdo de Gráfica 5) Gráfica 5. Diagramas de cajas y bigotes de valores de

exponentes de Lyapunov para los ejes “X” y “Y” de los datos de balance postural. Para el caso del apoyo unipodal en el eje “Y” se observa un mayor exponente en la extremidad no dominante lo que hablaría de menor rigidez del sistema (Panel derecho de Gráfica 5) Gráfica 5. Diagramas de cajas y bigotes de valores de exponentes de Lyapunov para los ejes “X” y “Y” de los datos de balance postural.



Gráfica 5. Diagramas de cajas y bigotes de valores de exponentes de Lyapunov para los ejes “X” y “Y” de los datos de balance postural

6.3. Descripción de variables principales de acuerdo a características de la población

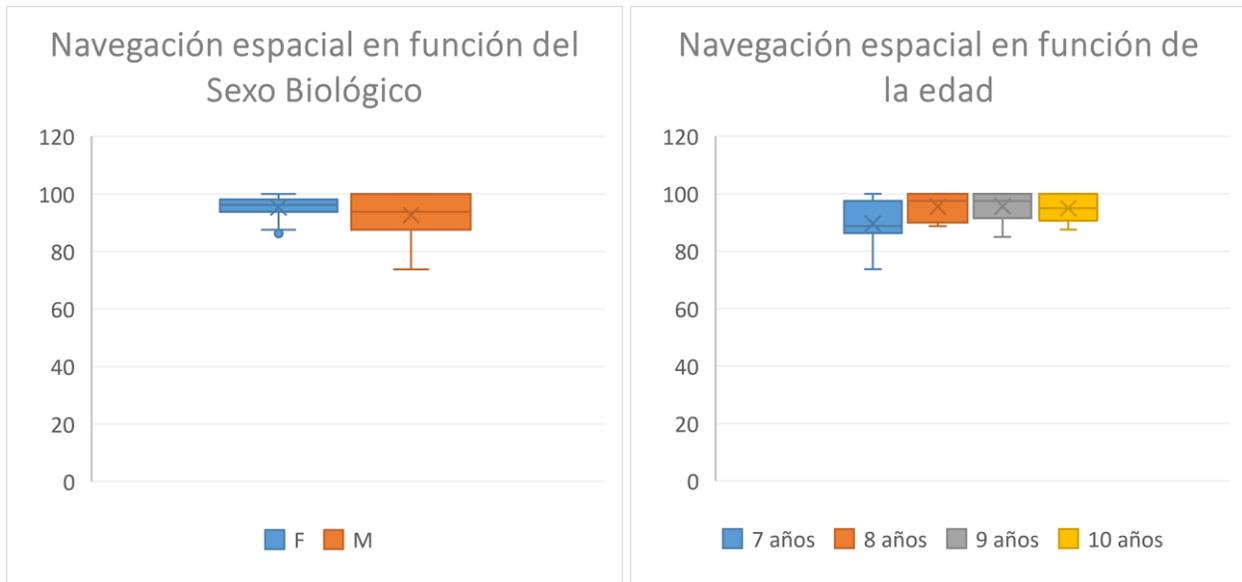
6.3.1. Navegación espacial en función de variables condicionantes

Al estudiar el comportamiento de la variable de navegación espacial en función de las variables condicionantes de edad, sexo, nivel de actividad física y desarrollo motor, se obtuvo para cada subgrupo de dichas clasificaciones, los valores promedio consignados en la Tabla 7.

Característica		Media	σ
<i>Edad</i>	7	89,64	8,71
	8	95,54	4,56
	9	95,63	5,69
	10	95	4,96
<i>Sexo biológico</i>	<i>Mujeres</i>	95,36	4,26
	<i>Hombres</i>	92,67	7,67
<i>Nivel de actividad física</i>	<i>PAQ-C < 2,73</i>	96,63	4,17
	<i>PAQ-C ≥ 2,73</i>	92,57	6,87
<i>Desarrollo Motor (según MABC-2)</i>	<i>RDM</i>	94,31	4,81
	<i>PRDM</i>	96,25	4,58
	<i>EDM</i>	92,19	7,98

Tabla 7. Valores promedio de navegación espacial en las distintas categorías de las variables condicionantes

De forma general se identifica una mejor puntuación en las pruebas de navegación espacial conforme avanza la edad y hay puntuaciones más altas en las mujeres como se observa en los paneles de la Gráfica 6, no obstante, dichas diferencias no presentan significancia estadística.



Gráfica 6. Diagramas de cajas y bigotes de valores de navegación espacial en función de la edad y el sexo biológico

En relación al comportamiento de la navegación espacial frente a los niveles de actividad física y de desarrollo motor, hay comportamiento similar sin diferencias significativas entre las diferentes clasificaciones. La gráfica correspondiente a éstas últimas variables condicionantes se encuentra en el Anexo 3 (Numeral i).

10.3.2. Balance postural en función de variables condicionantes

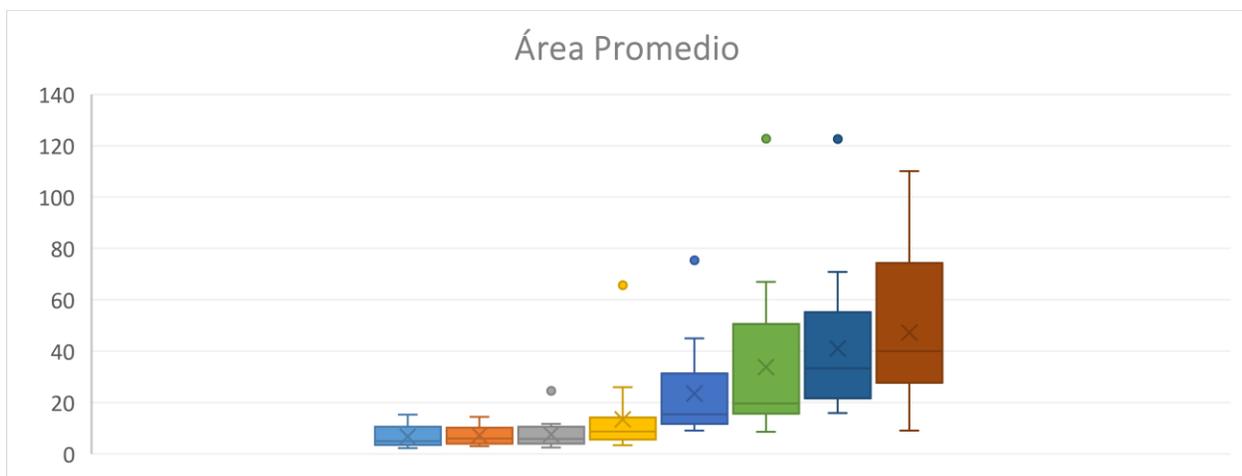
Se realiza el estudio del comportamiento de las mediciones lineales de área promedio, longitud promedio, velocidad promedio en “X” y velocidad promedio en “Y” para hombres y mujeres durante las diferentes condiciones de la prueba de balance obteniendo los valores consignados en la Tabla 8.

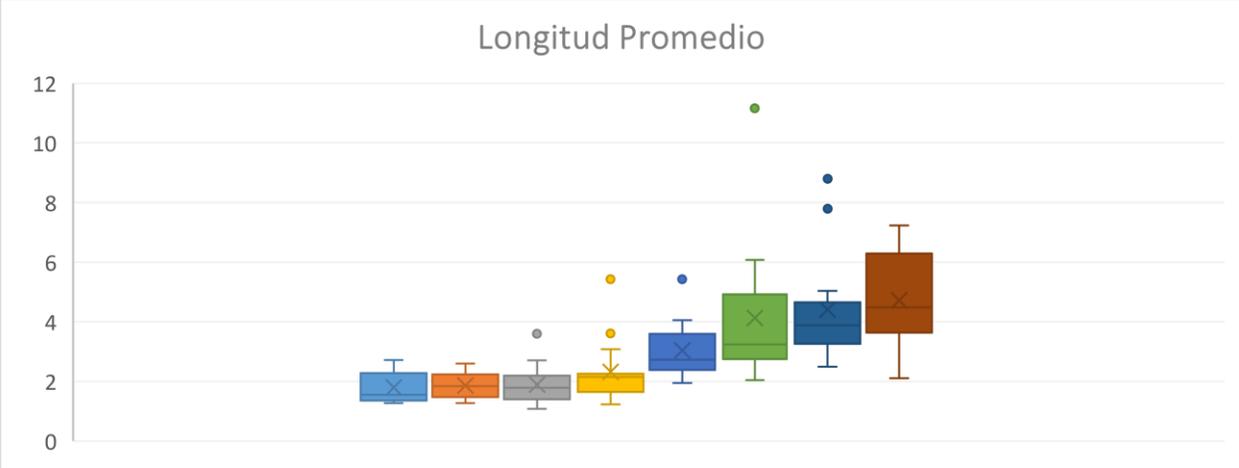
Variable lineal	Apoyo Bipodal		Apoyo Unipodal	
	Ojos abiertos	Ojos Cerrados	Derecha	Izquierda

	F	M	F	M	F	M	F	M
Área Promedio	1,79	1,86	1,89	2,32	3,03	4,13	4,41	4,72
Long Promedio	6,69	7,18	7,62	13,5	23,54	33,88	41,09	47,3
Vel "X" Promedio	7,25	5,76	7,46	7,04	19,73	24,73	28,19	34,85
Vel "Y" promedio	5,44	6,67	6,64	7,83	18,6	17,71	22,31	24,28

Tabla 8. Comportamiento de las mediciones lineales de balance postural en función del sexo biológico

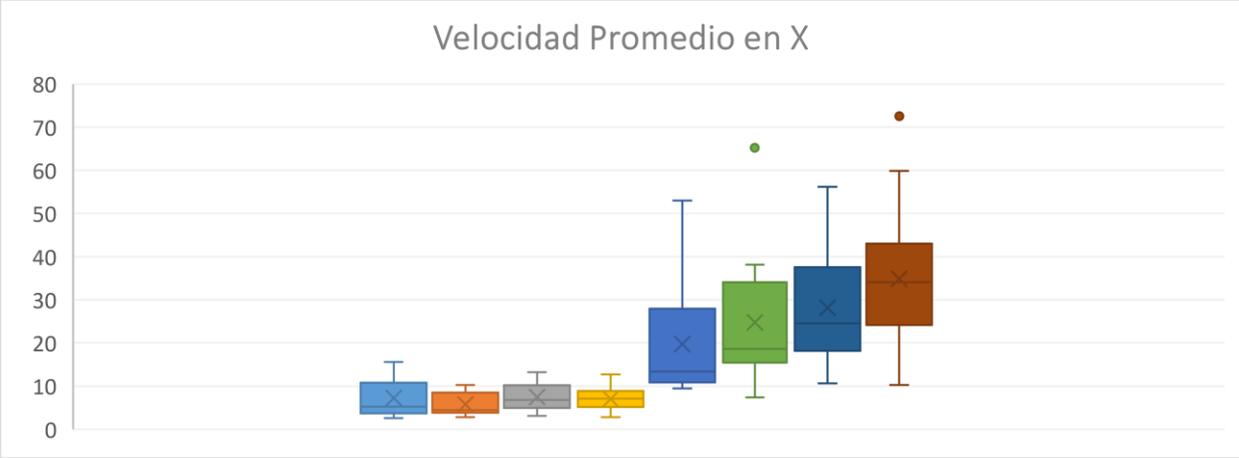
De forma general se encuentran mayores valores de área y longitud en los hombres para todas las condiciones de prueba, siendo especialmente notoria dicha diferencia en las condiciones de apoyo unipodal en contraste con el apoyo bipodal donde no se observan diferencias significativas (Gráfica 7). Con respecto a las velocidades en "X" y "Y", se identifica una mayor velocidad en el apoyo unipodal con ambas extremidades en los hombres y una razón de cambio mayor con la oclusión ocular para dicho sexo en comparación con las mujeres (Gráfica 8).

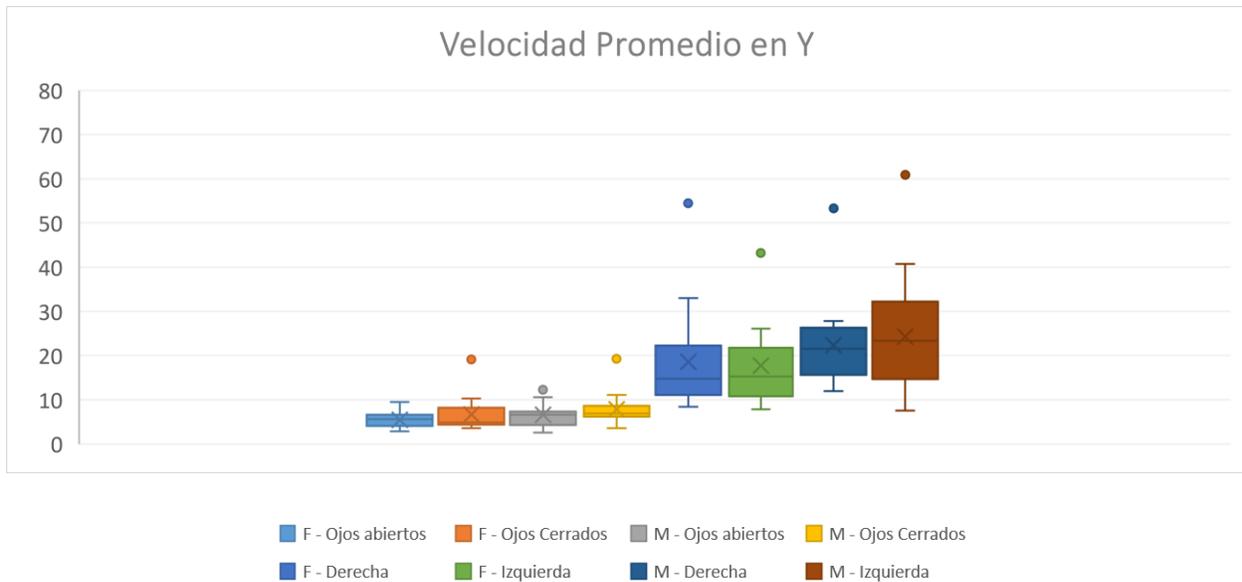




■ F - Ojos abiertos
 ■ F - Ojos Cerrados
 ■ M - Ojos abiertos
 ■ M - Ojos Cerrados
■ F - Derecha
 ■ F - Izquierda
 ■ M - Derecha
 ■ M - Izquierda

Gráfica 7. Diagramas de cajas y bigotes de valores de área promedio y longitud promedio del COP en función del sexo biológico.





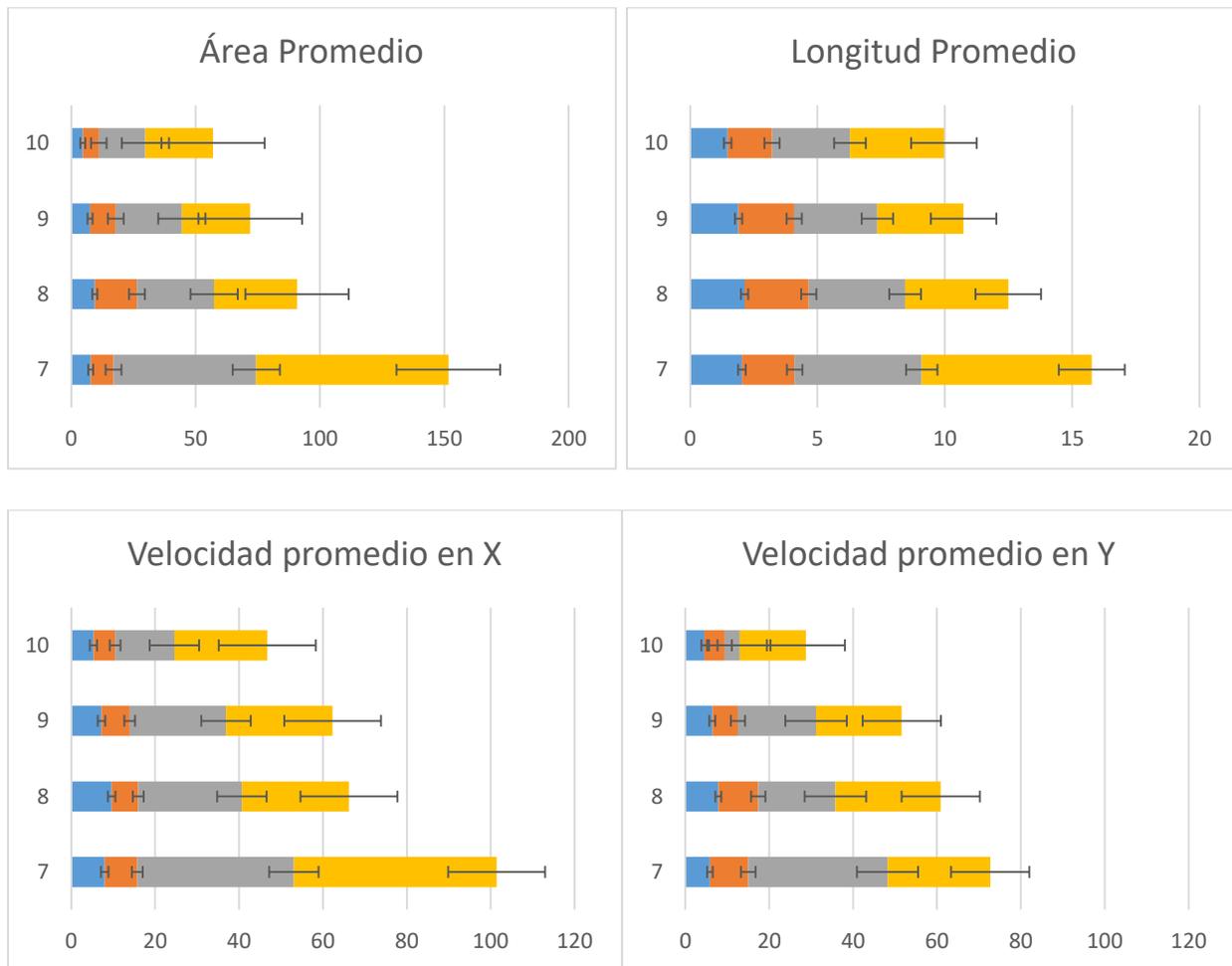
Gráfica 8. Diagramas de cajas y bigotes de velocidades promedio en “X” y “Y” en función del sexo biológico.

Para la característica de edad, se observa especialmente para las condiciones de apoyo unipodal con ambas extremidades, un comportamiento inversamente proporcional de los 4 parámetros lineales con respecto a dicha característica, no obstante, sin significancia estadística (Tabla 9) Frente a las condiciones de apertura y oclusión ocular, se puede describir una tendencia similar pero menos marcada tal como se observa en la Gráfica 9.

	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	<i>Área Promedio</i>				<i>Longitud Promedio</i>			
7	7,86	9,14	57,35	77,26	2,04	2,07	4,99	6,68
8	9,49	16,91	31,02	33,29	2,14	2,52	3,78	4,05

9	7,51	10,38	26,56	27,51	1,9	2,18	3,27	3,38
10	4,6	6,49	18,65	27,21	1,48	1,74	3,06	3,7
	<i>Velocidad promedio en X</i>				<i>Velocidad promedio en Y</i>			
7	7,95	7,81	37,3	48,36	5,89	9,12	33,21	24,48
8	9,6	6,4	24,68	25,53	7,88	9,5	18,4	25,12
9	7,18	6,76	22,96	25,41	6,45	6,1	18,63	20,45
10	5,28	5,14	14,15	22,15	4,52	4,87	3,58	15,81

Tabla 9. Comportamiento de las mediciones lineales de balance postural en función de la edad



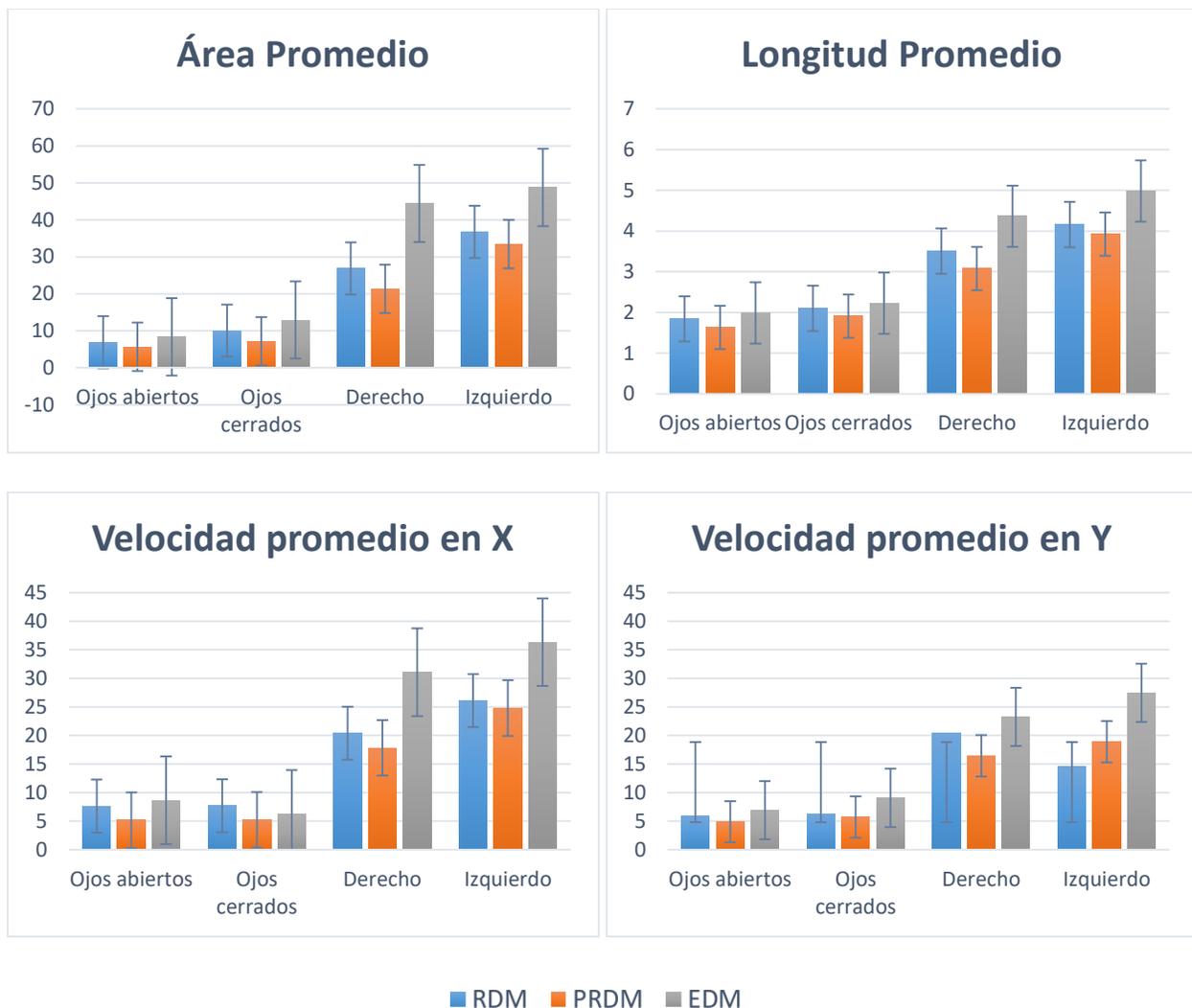
■ Ojos abiertos ■ Ojos cerrados ■ Derecho ■ Izquierdo

Gráfica 9. Histogramas con barras de error de valores promedio de parámetros lineales del balance postural en función de la edad.

Para los niveles de actividad física no se observan diferencias entre aquellos sujetos considerados con “bajo nivel de actividad física” y “alto nivel de actividad física” (Ver Anexo 3, numeral ii). Con respecto al nivel de desarrollo motor, se encuentran mayores valores relativos pero sin significancia estadística de los 4 parámetros para el grupo “Sin dificultad de movimiento” (EDM) en especial en condiciones de apoyo unipodal, seguido de los valores obtenidos por el grupo de sujetos con “elevada probabilidad de dificultad de movimiento” (RDM), también sin relevancia estadística. (Tabla 10, Gráfica 10).

Nivel Dilo	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	<i>Área Promedio</i>				<i>Longitud Promedio</i>			
RDM	6,92	10,04	26,88	36,74	1,84	2,1	3,51	4,16
PRDM	5,67	7,19	21,36	33,51	1,63	1,91	3,07	3,93
EDM	8,36	12,93	44,42	48,76	1,99	2,22	4,37	4,98
	<i>Velocidad promedio en X</i>				<i>Velocidad promedio en Y</i>			
RDM	7,61	7,69	20,41	26,09	5,97	6,24	20,52	14,58
PRDM	5,15	5,24	17,82	24,79	4,87	5,71	16,43	18,9
EDM	8,64	6,26	31,07	36,32	6,93	9,07	23,24	27,48

Tabla 10. Parámetros lineales del balance postural en función del nivel de desarrollo motor



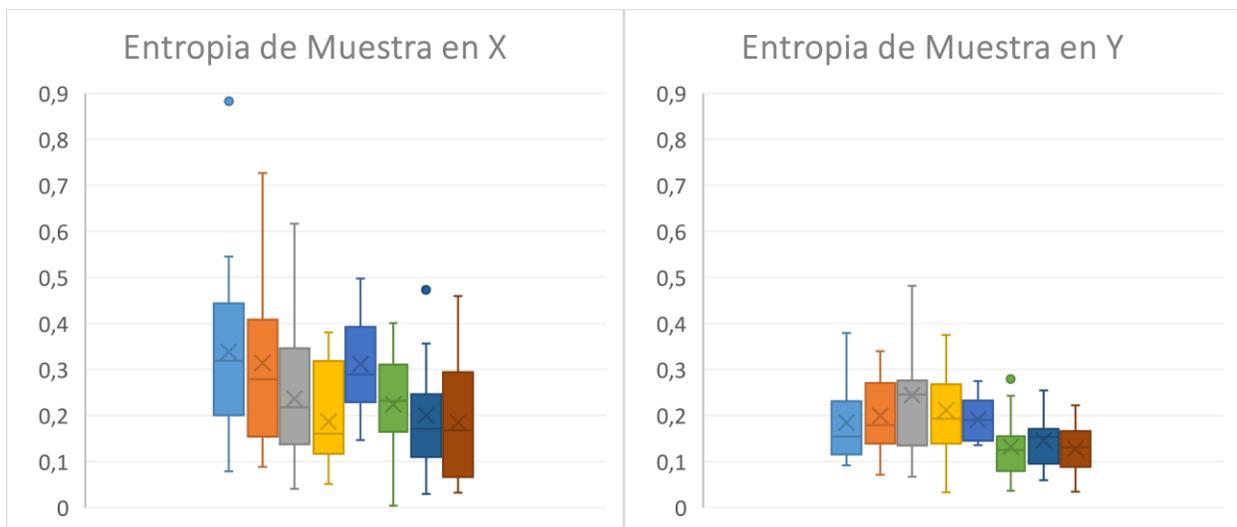
Gráfica 10. Histogramas con valores promedio de parámetros lineales en función del nivel de desarrollo motor

Para el estudio del comportamiento de los parámetros no lineales con respecto a las variables condicionantes, se seleccionaron aquellos que mostraron mayor estabilidad y coherencia durante el análisis, así como aquellos que aportan mayor información relevante para el presente estudio, dichos parámetros seleccionados fueron la entropía de muestra y el análisis de fluctuación de tendencia (DFA) para los ejes “X” y Y, no obstante, sólo el parámetro de entropía de muestra mostró comportamiento diferencial entre las clasificaciones de las variables condicionantes, los cuáles se presentan a continuación. Para las tablas y gráficos del análisis de fluctuación de tendencia, remitirse al Anexo 3 (Numeral iii).

La entropía de muestra mostró para el siguiente comportamiento para la primera variable condicionante de sexo biológico (Tabla 11): En el eje “X” se observa mayor entropía en las mediciones de las mujeres tanto en el apoyo bipodal como unipodal con la disminución ya descrita en condiciones de ojos cerrados y apoyo en extremidad no dominante (Panel izquierdo de Gráfica 11). En el eje “Y” hay un comportamiento similar en apoyo bipodal para hombres y mujeres, mientras que en el apoyo unipodal los valores de entropía de las mujeres también son mayores, aunque estos comportamientos descritos carecen de significancia estadística (Gráfica 11).

Variable lineal	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	F	M	F	M	F	M	F	M
Entrop Muestra X	0,34	0,24	0,31	0,19	0,31	0,2	0,22	0,18
Entrop Muestra Y	0,18	0,24	0,2	0,21	0,19	0,15	0,13	0,13

Tabla 11. Valores de la entropía de muestra en función del sexo biológico



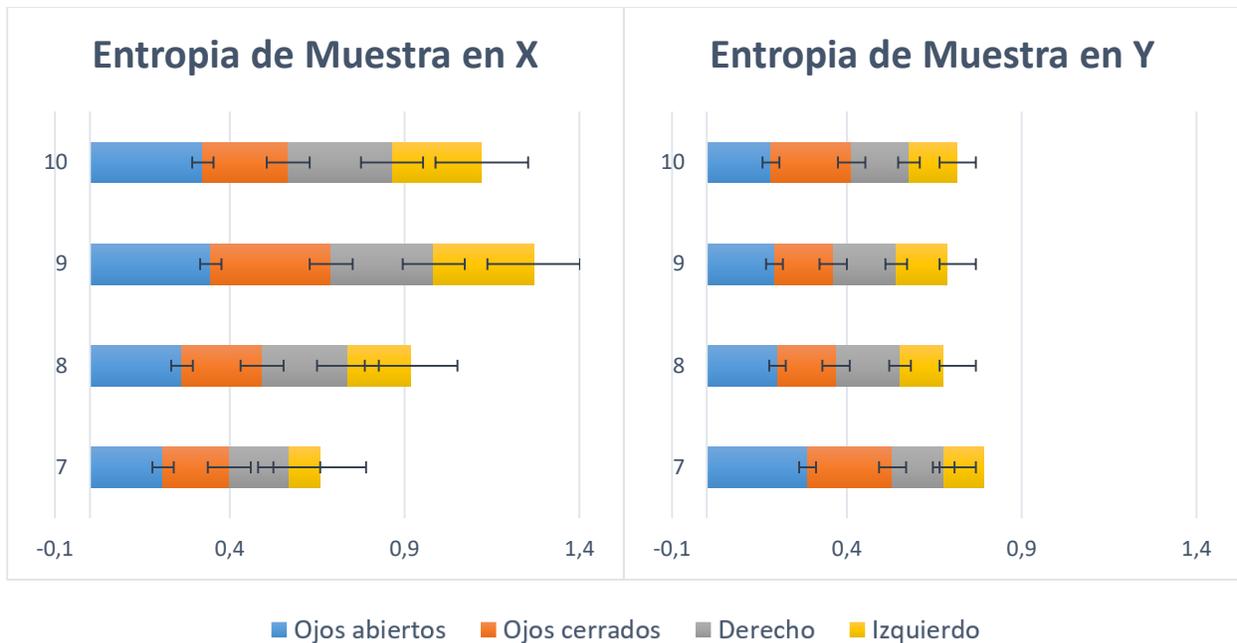


Gráfica 11. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía de muestra en función del sexo biológico

Con respecto a la edad, tal como se observa en el panel izquierdo de la Gráfica 12, para el eje “X” se evidencia un comportamiento proporcional entre la edad y el valor de entropía de muestra en especial para el comportamiento bipodal con ojos abiertos y el apoyo unipodal con extremidad dominante. Los valores de entropía en el eje “Y” reflejan un menor nivel de complejidad en comparación con el eje “X” y con comportamiento similar entre las diferentes condiciones sensoriales, así como entre los distintos grupos etarios, tal como se evidencia en el panel derecho de la Gráfica 12 (Tabla 12).

	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	<i>Entropía de Muestra en X</i>				<i>Entropía de Muestra en Y</i>			
7	0,21	0,19	0,17	0,09	0,29	0,24	0,15	0,11
8	0,26	0,23	0,25	0,18	0,2	0,17	0,18	0,12
9	0,35	0,34	0,29	0,29	0,19	0,17	0,18	0,15
10	0,32	0,24	0,3	0,26	0,18	0,23	0,16	0,14

Tabla 12. Valores de la entropía de muestra en función de la edad



Gráfica 12. Histogramas con valores promedio de entropía de muestra en función de la edad

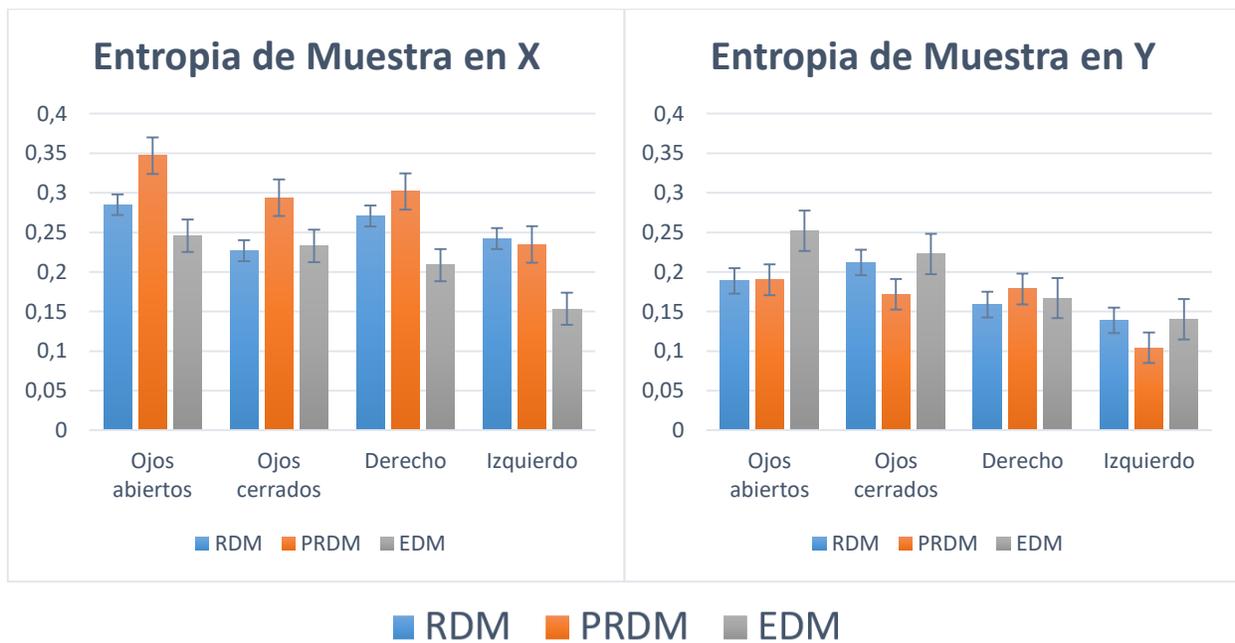
Frente al comportamiento del balance en función del nivel de actividad física, se evidencia un comportamiento similar entre el grupo de niños y niñas con “bajo nivel de actividad física” y aquellos con “nivel de actividad física alto o esperado” para todas las condiciones de la prueba de balance tal como se evidencia en Gráfica 24 en el Anexo 3 (Numeral iv).

Finalmente, para la variable condicionante del nivel de desarrollo motor, el grupo de niños y niñas “con riesgo de tener dificultad de movimiento” (PRDM), presentaron mayores niveles de entropía en el eje “X” para todas las condiciones de balance, pero sin significancia estadística (Panel izquierdo de Gráfica 13). De igual forma para el eje Y, tal como se evidencia en el panel derecho de la Gráfica 13), se observa mayor nivel de entropía en las mediciones de los sujetos “sin dificultad de movimiento” (EDM) especialmente en las condiciones de apoyo bipodal tanto con ojos abiertos como cerrado, dicha diferencia en el valor de complejidad no se observa en las condiciones de

apoyo unipodal donde los 3 grupos presentan comportamientos similares (Tabla 13, Gráfica 13).

Nivel Dilo	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	<i>Entropía de Muestra en X</i>				<i>Entropía de Muestra en Y</i>			
RDM	0,21	0,19	0,17	0,09	0,29	0,24	0,15	0,11
PRDM	0,26	0,23	0,25	0,18	0,2	0,17	0,18	0,12
EDM	0,35	0,34	0,29	0,29	0,19	0,17	0,18	0,15

Tabla 13. Valores de la entropía de muestra en función del nivel de desarrollo motor



Gráfica 13. Histogramas con valores promedio de entropía de muestra en función del nivel de desarrollo motor (RDM= Riesgo de desarrollo motor – PRDM= Posible riesgo de desarrollo motor – EDM= Desarrollo motor esperado)

6.4. Correlación entre balance postural y navegación espacial

6.4.1. Coeficientes de correlación utilizados

Antes de realizar el análisis de correlación, se evaluó el comportamiento de las variables de interés y se evidenció que la variable “Total Navegación espacial” no presentaba una distribución normal lo cual se verificó mediante la aplicación del test de Shapiro-Wilks en el software R, obteniendo un valor W de 0.84874, acompañado de un valor de p de 0.0007166, a partir de lo cual se pudo concluir como se mencionó anteriormente, con una confianza del 95%, que el total de navegación espacial no tenía distribución normal. A partir de esto, se utilizaron los test basados en las correlaciones de Spearman y Kendall para establecer las correlaciones de interés. Se decide adicionalmente utilizar el coeficiente de correlación de Kendall, debido a la presencia de datos atípicos que se evidencia en los datos a analizar.

Se realiza entonces el estudio de correlación tanto para los valores lineales y no lineales de la prueba general de balance y de las diferentes condiciones sensoriales de la misma (Apoyo bipodal con ojos abiertos y cerrados, apoyo unipodal con pierna derecha y con pierna izquierda). Los coeficientes y los valores de p para las pruebas estadísticas, así como los gráficos de dispersión generados se presentarán en los siguientes apartados.

Con respecto a la interpretación de los coeficientes de correlación, se utilizó la clasificación propuesta por Landis (141) presentada en la Tabla 14. La cual muestra similitud a la presentada por otros autores en el área de investigación médica (134) (142) que mencionan cómo el valor del coeficiente da cuenta de la fuerza de la relación entre las variables y es necesario no sólo mencionarlo, sino analizarlo en detalle para establecer la relevancia estadística de una investigación, pero también su relevancia clínica. Así pues, se considera válido hablar no sólo de existencia de correlación con

valores de mayores a 0,8 sino se empieza a dar cabida a análisis de valores inferiores siempre y cuando el nivel de significancia o incluso el intervalo de confianza del coeficiente de correlación, estén establecidos.

0	Correlación nula
$(0, 0.2] \cup [-0.2, 0)$	Correlación insignificante
$(0.2, 0.4] \cup [-0.4, -0.2)$	Correlación discreta
$(0.4, 0.6] \cup [-0.6, -0.4)$	Correlación moderada
$(0.6, 0.8] \cup [-0.8, -0.6)$	Correlación Sustancial
$(0.8, 1] \cup [-1, -0.8)$	Correlación muy fuerte

Tabla 14. Niveles de dependencia a partir de los coeficientes de correlación

6.4.2. Correlación entre navegación espacial y valores totales de las mediciones lineales y no lineales de balance postural

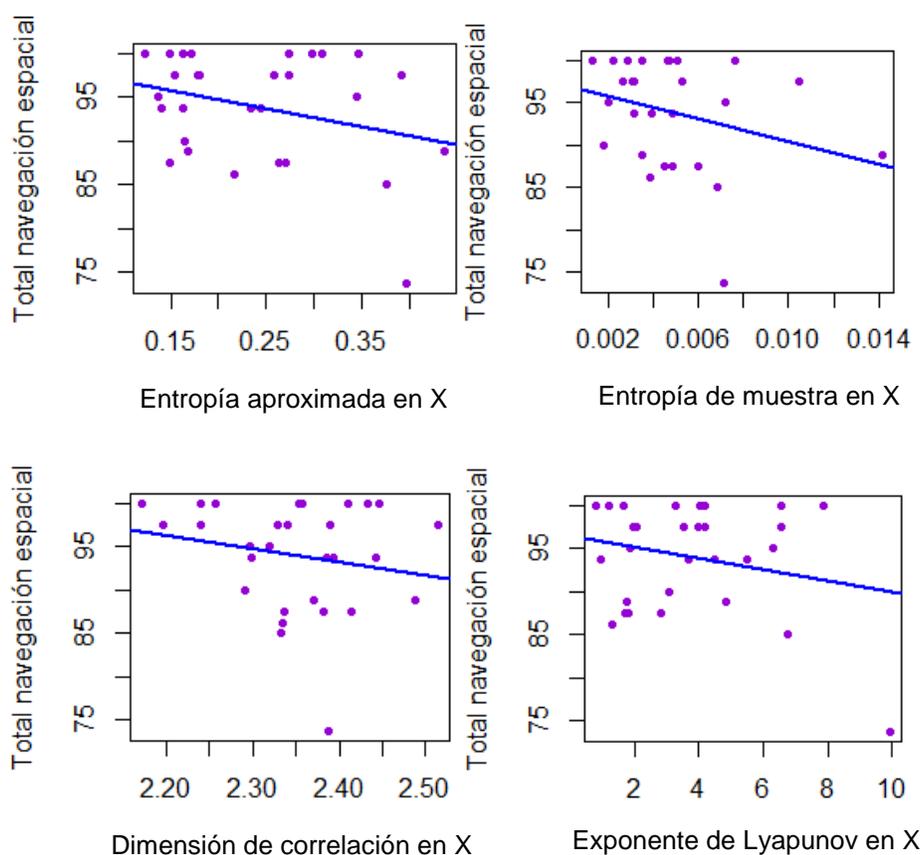
En primer lugar se realizaron los diagramas de dispersión entre los valores de navegación espacial y las mediciones lineales de la prueba total de balance postural, los cuales se encuentran en el *Anexo 3, Numeral v*. No obstante, no se observan pendientes que indiquen relación alguna entre las variables de interés, lo cual se confirma al realizar las pruebas de hipótesis correspondientes donde se obtienen los valores presentados en la Tabla 15. A partir de esto se comprueba la independencia entre dichas variables.

Mediciones lineales para la prueba global	Coeficiente de Spearman		Coeficiente de Kendall	
	<i>Valor</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor de p</i>
<i>Área promedio</i>	-0.1214951	0.5301	-0.09522877	0.4911
<i>Longitud promedio</i>	-0.1836205	0.3404	-0.1375527	0.32
<i>Velocidad promedio en X</i>	-0.1009537	0.6023	-0.0793573	0.5661

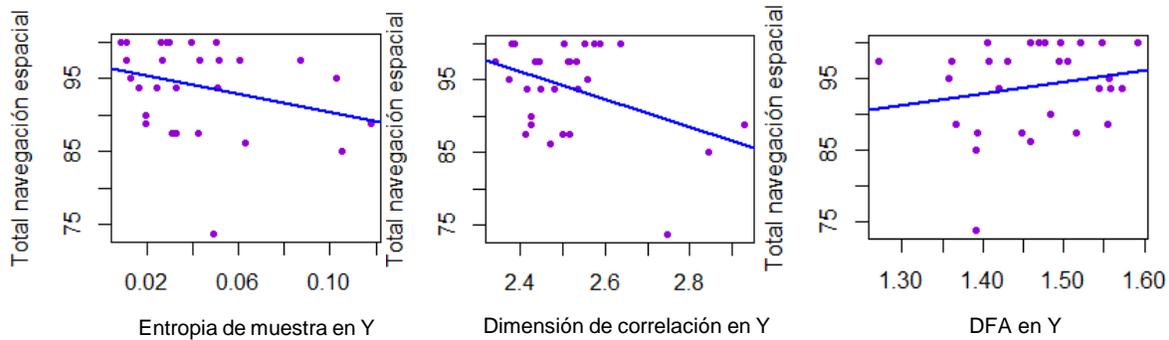
<i>Velocidad promedio en Y</i>	-0.04509098	0.8163	-0.0423239	0.7596
--------------------------------	-------------	--------	------------	--------

Tabla 15. Valores de p y coeficientes de las pruebas de hipótesis para la correlación entre navegación espacial y mediciones lineales del total de la prueba de balance postural

En segundo lugar se realizan los diagramas de dispersión entre el valor total de navegación espacial y los valores no lineales aplicados en la presente investigación para los datos del registro total de la prueba de balance postural, en éstos, se evidencia una pendiente de la recta de regresión diferente de 0 con las mediciones de entropía aproximada y de muestra, dimensión de correlación y exponente de Lyapunov para el caso del eje X y para las mediciones de entropía de muestra, dimensión de correlación y análisis de fluctuación de tendencia para el eje “Y” los cuales se presentan en la Gráfica 14 y Gráfica 15 respectivamente.



Gráfica 14. Gráficos de dispersión con recta de regresión significativa para el eje X entre navegación espacial y mediciones no lineales de la prueba total de balance postural



Gráfica 15. Gráficos de dispersión con recta de regresión significativa para el eje “Y” entre navegación espacial y mediciones no lineales de la prueba total de balance postural

Posteriormente se realizan las pruebas de hipótesis para todas las mediciones no lineales del registro total de la prueba de balance sin embargo, en este caso, solo se obtuvo correlación “discreta” para las mediciones de entropía de muestra en “Y” con un nivel de confianza del 90% tal como se evidencia en la Tabla 16.

Mediciones no lineales para la prueba global	Coeficiente de Spearman		Coeficiente de Kendall	
	Valor	Valor de p	Valor	Valor de p
Entropía de muestra en X	-0.276057	0.1472	-0.21691	0.1168
Entropía de muestra en Y	-0.3224005	0.08806	-0.2486529	0.07222
Entropía aprox en X	-0.1513053	0.4333	-0.1163907	0.4001
Entropía aprox en Y	-0.09769712	0.6141	-0.06348584	0.6462
DFA para X	0.1197416	0.5361	0.1005193	0.4674
DFA para Y	0.1966468	0.3066	0.1966468	0.3017
Dim de Corr en X	-0.1370265	0.4784	-0.09522877	0.4911
Dim de Corr en Y	-0.1179881	0.5421	-0.06348584	0.6462
Exp Lyapunov en X	-0.02354751	0.9035	0.01587146	0.9086
Exp Lyapunov en Y	-0.1114749	0.5648	-0.08464779	0.5405

Tabla 16. Valores de p y coeficientes de las pruebas de hipótesis para la correlación entre navegación espacial y mediciones no lineales del total de la prueba de balance postural

6.4.3. Correlación entre navegación espacial y mediciones lineales de los diversos estadios de balance

Se realizan los diagramas de dispersión entre la navegación espacial y las mediciones lineales de balance (Área promedio, longitud promedio, velocidad promedio en X y velocidad promedio en Y) de cada condición sensorial: Apoyo bipodal con ojos abiertos, apoyo bipodal con ojos cerrados, apoyo unipodal derecho y apoyo unipodal izquierdo. En dichas gráficas se encuentra una recta de regresión con pendiente diferente de cero para: Área promedio de apoyo bipodal con ojos abiertos y velocidad promedio de X para apoyo bipodal ojos cerrados, así como área, longitud promedio y velocidad promedio en X para apoyo unipodal derecho y área promedio y velocidad promedio de x para apoyo unipodal izquierdo, las cuales se encuentran en el Anexo 3, numeral vi. No obstante, al realizar las pruebas de hipótesis no se encuentran valores p significativos tal como se observa en Tabla 17 y en Tabla 18, con lo cual se determina con un nivel de confianza del 90%, que la navegación espacial no presenta correlación con las mediciones lineales del centro de gravedad.

Variable no lineal	COEFICIENTE DE SPEARMAN							
	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p
Área Promedio	-0,159	0,53	-0,233	0,224	-0,057	0,769	-0,033	0,865
Long Promedio	-0,184	0,34	-0,157	0,415	-0,09	0,643	-0,017	0,93

<i>Vel "X" Promedio</i>	-0,101	0,602	-0,275	0,149	-0,04	0,835	-0,003	0,987
<i>Vel "Y" promedio</i>	-0,045	0,816	-0,169	0,381	-0,076	0,694	0,053	0,786

Tabla 17. Coeficiente de Spearman para las mediciones lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal

Variable no lineal	COEFICIENTE DE KENDALL							
	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p
<i>Área Promedio</i>	-0,095	0,491	-0,18	0,251	-0,042	0,76	-0,021	0,878
<i>Long Promedio</i>	-0,138	0,32	-0,095	0,491	-0,069	0,619	-0,016	0,909
<i>Vel "X" Promedio</i>	-0,079	0,566	-0,18	0,193	-0,032	0,819	-0,011	0,939
<i>Vel "Y" promedio</i>	-0,042	0,76	-0,138	0,32	-0,063	0,646	0,026	0,848

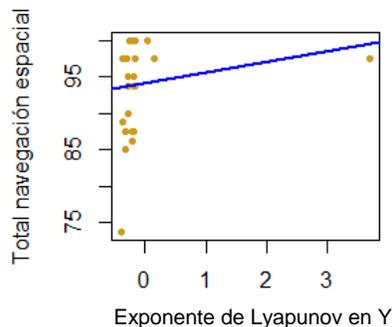
Tabla 18. Coeficiente de Kendall para las mediciones lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal

6.4.4. Correlación entre navegación espacial y mediciones no lineales de los diversos estadios de balance

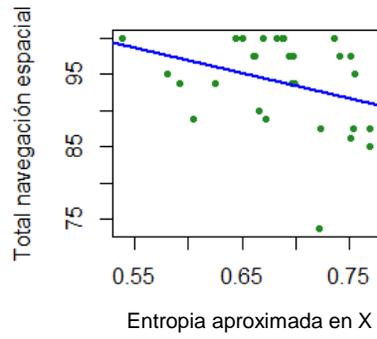
Se aplica la misma metodología que con las mediciones lineales para determinar la correlación de los distintos indicadores no lineales para cada condición sensorial de la

prueba de balance. Se elaboran primero los diagramas de dispersión y posteriormente se ejecutan las pruebas de hipótesis respectivas.

Al respecto de los diagramas de dispersión, se encuentran rectas de regresión con pendiente distinta de cero para los siguientes indicadores en el apoyo bipodal con ojos abiertos y cerrados: Entropía de muestra, entropía aproximada y análisis de fluctuación de tendencia para ambos ejes ("X" y "Y") y exponente de Lyapunov para el eje "Y". Para el apoyo unipodal derecho destacan: Entropía de muestra, entropía aproximada y dimensión de correlación para ambos ejes ("X" y "Y") y exponente de Lyapunov para el eje "X". Finalmente, para el apoyo unipodal izquierdo los indicadores con recta de regresión relevante son: Entropía de muestra y exponente de Lyapunov para ambos ejes, DFA para el eje "X" y para el eje "Y", dimensión de correlación y entropía aproximada. Sin embargo de estos indicadores, al realizar las pruebas de hipótesis (Tabla 19 y Tabla 20) se encuentra relación significativa sólo con los siguientes valores: Exponente de Lyapunov en "Y" para apoyo bipodal con ojos cerrados y entropía aproximada en "X" para apoyo unipodal derecho, cuyos gráficos de dispersión se presentan a continuación:



Gráfica 16. Gráficas de dispersión con coeficientes significativos para apoyo bipodal con ojos cerrados



Gráfica 17. Gráficas de dispersión con coeficientes significativos para apoyo unipodal derecho

Variable no lineal	COEFICIENTE DE SPEARMAN							
	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p
<i>Entropía Aprox X</i>	0,029	0,882	0,037	0,849	-0,388	0,037	0,029	0,882
<i>Entropía Aprox Y</i>	0,005	0,978	-0,175	0,364	-0,264	0,168	-0,263	0,168
<i>Entropía de Muestra X</i>	0,205	0,286	0,155	0,423	-0,003	0,992	-0,002	0,992
<i>Entropía de Muestra Y</i>	-0,067	0,728	-0,21	0,274	-0,073	0,264	-0,214	0,264
<i>Dimensión de Correl X</i>	-0,033	0,865	-0,006	0,977	0,022	0,627	-0,094	0,627
<i>Dimensión de Correl Y</i>	0,196	0,308	-0,036	0,853	-0,246	0,103	-0,309	0,103

<i>DFA X</i>	-0,003	0,989	-0,039	0,841	-0,034	0,863	-0,115	0,551
<i>DFA Y</i>	0,15	0,438	0,25	0,191	0,103	0,593	0,134	0,489
<i>Exp. Lyap en X</i>	0,13	0,502	-0,018	0,926	-0,063	0,416	-0,157	0,416
<i>Exp. Lyap en Y</i>	-0,168	0,383	0,366	0,051	-0,021	0,743	0,064	0,743

Tabla 19 Coeficiente de Spearman para las mediciones no lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal

Variable no lineal	COEFICIENTE DE KENDALL							
	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p	Coefic	Valor de p
<i>Entropía Aprox X</i>	0,021	0,878	0,042	0,76	-0,291	0,035	0,021	0,878
<i>Entropía Aprox Y</i>	0,032	0,819	-0,132	0,339	-0,201	0,146	-0,201	0,146
<i>Entropía de Muestra X</i>	0,148	0,284	0,127	0,359	-0,005	0,909	-0,016	0,909
<i>Entropía de Muestra Y</i>	-0,048	0,731	-0,127	0,359	-0,048	0,251	-0,159	0,251
<i>Dimensión de Correl X</i>	-0,037	0,789	-0,005	0,97	0,026	0,592	-0,074	0,592
<i>Dimensión de Correl Y</i>	0,132	0,339	-0,032	0,819	-0,19	0,136	-0,206	0,136
<i>DFA X</i>	-0,016	0,909	-0,032	0,819	-0,032	0,819	-0,09	0,516

<i>DFA Y</i>	0,106	0,444	0,201	0,146	0,079	0,566	0,074	0,592
<i>Exp. Lyap en X</i>	0,095	0,491	-0,016	0,909	-0,037	0,359	-0,127	0,359
<i>Exp. Lyap en Y</i>	-0,106	0,444	0,28	0,043	-0,021	0,702	0,053	0,702

Tabla 20 Coeficiente de Kendall para las mediciones no lineales de balance postural en apoyo bipodal y unipodal

Capítulo 7: Discusión

En el presente capítulo se realizará el análisis de los resultados ya presentados, en apartados congruentes con la distribución realizada en el apartado anterior. Así, en un primer momento se abordarán las cualidades principales de la muestra y su correspondencia con las condiciones de la población de estudio, para posteriormente examinar los datos obtenidos en las mediciones de las variables principales de la investigación, balance postural y navegación espacial, e interpretar su comportamiento en un tercer momento a la luz de las variables condicionantes. Finalmente se profundizará en el significado de las correlaciones halladas entre las variables principales y las implicaciones teóricas y prácticas de las mismas.

7.1. Caracterización de la muestra

Al respecto del número de sujetos del estudio, el cálculo del tamaño muestral fue de 29 personas que en efecto fue el número de niños y niñas evaluados, cumpliendo adicionalmente la distribución por estratos para edad y sexo biológico planteada inicialmente. La proporción entre hombres y mujeres en la presente investigación (1,07) fue similar a la proporción a nivel nacional (1,05 hombre(s)/mujer) según el perfil de la población obtenido luego del último censo realizado (143). Así mismo, hubo similitud en cuanto a la distribución de dominancia manual de la muestra en la que se reporta un 11,9% de población zurda en comparación con el 10,6% de la población a nivel mundial (144).

En cuanto al nivel de actividad física de la muestra, utilizando los puntos de corte definidos (140) para el cuestionario de actividad física para niños (129) que fue el instrumento utilizado, se obtuvo un 65,52% con nivel de actividad física normal lo cual difiere de lo reportado en estudios previos (107) (145) y de lo mencionado por la organización mundial de la salud (146) frente a la tendencia al sedentarismo y bajos

niveles de actividad física en la población infantil (146). Dicho resultado pudo obedecer a una particularidad de la muestra ya que varios niños y niñas practicaban actividades extracurriculares o estaban inscritos en escuelas deportivas en lo que parecía ser un efecto rebote luego del confinamiento producto de la pandemia. Otro elemento que pudo influir en dicho resultado fue el tipo de instrumento utilizado que, si bien fue una herramienta validada y con buenos niveles de confiabilidad como se presentó previamente en éste documento, pudo presentarse una sobreestimación de los niveles de actividad física por parte de los niños y niñas al tratarse de una herramienta de auto reporte.

Frente al nivel de desarrollo motor, si bien hubo mayor porcentaje de niños y niñas en los que no se detectó dificultad de movimiento (41,38%), el porcentaje de niños “en riesgo” de tener dificultad de movimiento y con “elevada probabilidad de dificultad de movimiento” fueron bastante altos (27,59% y 31,03% respectivamente), para lo esperado teniendo en cuenta que la muestra y población de estudio fueron sujetos potencialmente sanos. Dicho resultado pudo obedecer a que algunas preguntas de la lista de observación conductual de la MABC-2 (122) indagaban por comportamientos motores relacionados con cualidades como la motricidad y la coordinación, las cuales abarcan un amplio rango de desempeño no necesariamente vinculado a lo patológico como comúnmente podría interpretarse. Otro elemento a tener en cuenta, fue que ésta herramienta de tamizaje fue aplicada a los padres de familia quienes lo que implica un componente de subjetividad que podría llevar a subestimar los desempeños de los niños y niñas, tal como se ha reportado en algunos estudios recientes (147).

Ante el comportamiento del nivel de actividad física y nivel de desarrollo motor que se acaban de mencionar, es importante resaltar que, con las herramientas utilizadas para el presente estudio, se aspiraba realizar un tamizaje y evaluación gruesa de las mismas dada su naturaleza de variables intervinientes en ésta investigación y que con esto no se realizó una caracterización con significancia estadística ya que el diseño metodológico implementado no tenía tal fin. Para determinar si en efecto el desempeño de las mismas

es el obtenido se requerirían de estudios adicionales cuyo cálculo muestral, herramientas seleccionadas y demás estructura metodológica sirva a tal fin.

7.2. Medición de las variables de navegación espacial y balance postural

Con referencia a los resultados obtenidos en la estimación indirecta de la navegación espacial, se obtuvieron desempeños entre el 80 y 90% para todos los niños y niñas, lo cual es un comportamiento esperado teniendo en cuenta que se trataba de una población potencialmente sana donde el rango de desempeño en habilidades cognitivas como la navegación espacial se encuentra dentro de lo funcional. Al respecto, estudios previos (101) reportan en sus resultados, comportamientos similares con “dificultades típicas” que no implicarían una alteración significativa de su desempeño funcional.

Un elemento a mencionar frente a la medición de la navegación espacial en la presente investigación, es no sólo el hecho de que se trató de una estimación indirecta de la habilidad, sino que además, al tratarse de una escala ordinal que arroja un único valor frente al desempeño de la prueba, puede quedarse corto para comprender en mayor profundidad el funcionamiento y grado de desempeño de una habilidad cognitiva de éste tipo que involucraría elementos como planeación de ruta, tiempos de respuesta y ejecución, eficiencia del curso de acción seleccionado, entre otros elementos, que en conjunción dan origen a una habilidad compleja (43) que permite la interacción funcional con el entorno. Se pone en evidencia entonces la necesidad de metodologías de evaluación que den cuenta del proceso cognitivo real y no sólo del resultado para obtener así indicadores más detallados del procesamiento.

En el caso de la medición del balance postural sí fue posible la captura de una señal biológica con la era posible obtener datos continuos del proceso y los cambios en el

mismo, como resultado del cambio de las condiciones de la tarea. Dichas señales biológicas tendrían entonces la ventaja de permitir una mayor comprensión del fenómeno de estudio y los mecanismos fisiológicos subyacentes del evento o sistema biológico (148). Dicho registro del centro de presión (COP) generó una serie de tiempo de un valor de muestras cercano a 12.000 por persona, con el que se calcularon las mediciones convencionales de área promedio, longitud promedio y velocidad promedio en X y Y, así como mediciones no lineales que complementarían el análisis realizado dando mayor profundidad, además de permitir identificar variaciones en la señal de mejor manera en comparación con las mediciones lineales, dado el comportamiento dinámico de los mismos. Las mediciones no lineales fueron: Entropía de muestra y aproximada, dimensión de correlación y análisis de fluctuación de tendencia y exponente de Lyapunov. Cada uno de éstos cálculos aportó elementos significativos a la comprensión del fenómeno de interés tal como se presentará más adelante.

En relación a las mediciones lineales del balance, se obtuvo un aumento de los valores de área promedio, longitud promedio y velocidad promedio en “Y”, tanto en condiciones de apoyo bipodal con ojos cerrados, así como en apoyo unipodal tanto en extremidad dominante como no dominante (siendo mayores dichos valores en la no dominante). Respecto al velocidad promedio en “X” en el apoyo bipodal se observó una disminución con la oclusión ocular y un incremento con el apoyo unipodal como ocurrió con las otras variables. Dicho comportamiento fue similar a lo reportado en estudios previos (149) (150). El incremento de éstos parámetros estaría relacionado con una mayor inestabilidad (151) al cerrar los ojos y hacer apoyo unipodal, lo que confirma el aporte del sistema visual al control postural (28), así como las diferencias en el control postural y las estrategias de compensación utilizadas en función de la dominancia o preferencia de una extremidad (152).

Al respecto de éste último punto, sobre la influencia de la “dominancia” de un hemicuerpo, resulta relevante el incremento significativo de los parámetros con la pierna izquierda que para el caso de la muestra sería la extremidad no preferente. Lo anterior debido a

que al ser los niños y niñas evaluados de preferencia diestra para tareas dinámicas, podría hipotetizarse que la extremidad izquierda fuese en su mayoría, la extremidad preferente para tareas estáticas (152) y que, por ende, siguiendo los parámetros de interpretación que aluden a menores valores de éstos parámetros lineales, mayor estabilidad, las puntuaciones obtenidas con ésta extremidad fuesen menores, contrario a lo encontrado en ésta investigación. Lo anterior cuestiona la idea de un sistema de control postural determinista, así como la razones en las cuales se fundamenta una dominancia o preferencia tanto a nivel general como para tareas específicas, tema en el que debería profundizarse en estudios futuros.

Frente a las mediciones no lineales aplicadas al registro de centro de presión como indicador de balance en la presente investigación, éstas pueden agruparse en 3 grupos: Entropía aproximada y de muestra como medidas de la regularidad y complejidad de una señal, que para el caso del control postural brindarían adicionalmente información sobre la cantidad de atención dedicada a la realización de una tarea determinada (153). La dimensión de correlación y el análisis de fluctuación de tendencia, son medidas fractales que por otro lado darían cuenta de la estacionariedad de la señal y la propiedad ergódica e invariante o no, del sistema (154) es decir, la presencia de iteraciones que estarían relacionadas con la complejidad fisiológica (155) y por último el exponente de Lyapunov, que es un valor que permite hablar de la presencia de caos o comportamiento caótico en el sistema y proporciona una medida de la estabilidad local de un sistema dinámico, que para éste caso se relacionaría con la rigidez o adaptabilidad del sistema de balance postural (153).

Se infiere entonces a partir de las mediciones de entropía, una menor complejidad del sistema de balance al cerrar los ojos y levantar una pierna, especialmente la no preferente, en el sentido anteroposterior (Eje "Y"), en comparación con cierta regularidad de la señal en el eje X. Esto analizado en especial desde los valores de entropía de muestra teniendo en cuenta que es una medida más limpia que la entropía aproximada, (156) que muestra un incremento en las condiciones de apoyo unipodal posiblemente

debido a la demanda cognitiva de la tarea (153). Los valores obtenidos de forma general para éstos indicadores que se encuentran entre [0.13,0.25] para el caso de entropía de muestra puntualmente, presentan series de predominio regular lo que podría obedecer a la edad y momento de desarrollo de los sujetos de estudio. Con respecto a la diferencia entre dichos parámetros ante la oclusión ocular y entre los valores de X y Y, el comportamiento fue similar al reportado en presentados en estudios previos (157) (158). Dichos estudios, adicionalmente explican el comportamiento diferencial entre los ejes “X” y “Y” a partir de las cadenas musculares involucradas en el control de cada eje (155), que también podría estar relacionado con la distribución y el peso de los sistemas sensoriales en el procesamiento de dichos ejes espaciales.

Del comportamiento fractal analizado mediante la dimensión de correlación y el análisis de fluctuación de tendencia, es posible decir que la dimensión de espacio geoméricamente hablando fue similar en todas las condiciones de la prueba de balance tanto en eje “X” como “Y” lo que habla de un comportamiento ergódico del balance postural que además es estable (154) y que presenta complejidad fisiológica entiendo ésta como la interacción de una miríada de unidades estructurales y bucles de retroalimentación actuando como mecanismos reguladores, que operan en una amplia gama de y escalas espaciales y temporales, permitiendo al organismo adaptarse a las tensiones de la vida cotidiana (159).

Del análisis de fluctuación de tendencia se infiere igualmente un comportamiento fractal en condiciones de apoyo bipodal, que sí pierde iteración al cambio con apoyo unipodal con valores promedio de 1,5 que darían cuenta de una pérdida de correlación (160). Para la comparación con estudios previos, no se encontraron investigaciones que realizaran éstas mediciones no lineales en condiciones similares a las implementadas en éste estudio, ya que el estudio de Gurses et al. (154) si bien involucró niños entre 6 y 10 años, sólo registró en condiciones de apoyo bipodal por 3 minutos lo que deriva en un coeficiente de correlación sustancialmente diferente.

Finalmente, con respecto al exponente de Lyapunov, se encontraron bajos valores para las condiciones de apoyo bipodal tanto en X como en Y, lo que se interpretaría como un comportamiento poco caótico de un sistema que se comporta estable para ésta condición de prueba (161), debido posiblemente a la baja demanda que supone la tarea del apoyo bípedo debido a la automatización de la misma, en comparación con el apoyo unipodal donde incrementa dicho comportamiento caótico poniendo en evidencia un sistema con un mayor espectro de respuesta y una mayor posibilidad de adaptación y aprendizaje (153) debido a la situación de reto que supone la posición en apoyo unipodal por la dificultad implícita de la misma. Al respecto de ésta medición, tampoco se encontraron estudios que la analizaran en un grupo etario similar, por lo cual no es posible realizar comparaciones o inferencias en dicho sentido.

7.3. Comportamiento de las variables principales en función de las variables condicionantes

Previo a la interpretación del comportamiento de las variables de navegación espacial y balance postural en función de la edad, sexo biológico, niveles de actividad física y desarrollo motor, definidas como variables condicionantes de la presente investigación, es importante recordar que dicho análisis no pretende hacer una caracterización, entendiendo que el tamaño muestral de ésta investigación respondía al interés de aplicar una prueba de hipótesis para determinar correlación más allá de determinar el comportamiento de parámetros estadísticos con intervalos de confianza definidos, por lo cual la muestra es insuficiente para hacer dichos cálculos y análisis al respecto. Haciendo ésta aclaración, se presentan a continuación los comportamientos de las variables principales en función de los factores condicionantes ya mencionados.

Con respecto a la navegación espacial, se obtuvo un desempeño mayor pero sin significancia estadística en mujeres y proporcional a la edad, observando mejores resultados en los sujetos de mayores edades, en comparación con los más pequeños. Esto concuerda con lo reportado en estudios previos (162) (163) en los que a mayor edad se observa una navegación espacial más eficiente, que suele presentar además mejores desempeños en el sexo biológico masculino sobretodo en la adultez, ya que en la infancia se llegan a observar comportamientos similares. El desempeño proporcional a la edad obedecería al desarrollo propio de la habilidad cognitiva tal como lo reporta Sneider et al. (163), mientras que la diferencia entre hombres y mujeres en etapa adulta sería producto de los marcos de referencia y estrategias de navegación diferentes utilizadas por cada grupo de manera preferente (164).

Para la relación de la navegación espacial con el nivel de actividad física y desarrollo motor, no se encontraron cambios significativos entre los subgrupos propuestos. De igual forma, no existe reporte de investigaciones previas que hayan estudiado diferencias en la habilidad de navegación espacial en función del nivel de desarrollo motor o de los niveles de actividad física, concepto que difiere de la noción de ejercicio físico (165), con el cual sí se han reportado diferencias en cuanto al rendimiento en pruebas de habilidades espaciales por parte de sujetos que realicen ejercicio físicos o sean deportistas, en comparación con sujetos que no practican ejercicio o deporte alguno (166), lo cual según los autores obedece a los efectos del ejercicio físico sobre la organización estructural y funcional del cerebro entendiendo éste como elemento de una condición ambiental enriquecida (167).

El comportamiento de las mediciones lineales de balance postural en función de las variables definidas se podría sintetizar como mayores valores de los 4 parámetros en los hombres en especial en las condiciones de apoyo unipodal sin observarse diferencia significativa en el apoyo bipodal y un comportamiento inversamente proporcional de dichas medidas con el incremento de edad, de nuevo con significancia estadística en las condiciones de apoyo unipodal. Lo anterior concuerda con estudios previos en los que

se observa una disminución del “balanceo” conforme incrementa la edad (168) (169), así como mayores valores en los sujetos de sexo masculino (170) (171). El comportamiento diferencial entre ambos sexos es atribuido principalmente a las estrategias implementadas por cada uno (171).

En relación al comportamiento del balance con respecto a los niveles de actividad física y desarrollo motor, no se observaron diferencias significativas entre los subgrupos derivados de dichas categorías lo cual difiere de lo reportado por Stanek et al. (149) quienes sí encontraron parámetros que podrían relacionarse con un “mejor balance” en aquellos niños y niñas con mayores niveles de actividad física. La diferencia con respecto a lo encontrado en ésta investigación pudo obedecer al número de sujetos evaluado en dicha investigación. Con respecto al nivel de desarrollo motor, los hallazgos de éste estudio concuerdan con lo descrito en investigaciones previas (172), en los que tampoco se encontraron correlaciones significativas entre el balance postural y el nivel de desarrollo motor. Para el caso del presente estudio, los resultados obtenidos pueden obedecer a la relativa homogeneidad de la muestra ya que todos los sujetos fueron escolares potencialmente sanos en quienes no se evidenció un retraso significativo en el nivel de desarrollo motor.

Finalmente, se seleccionaron las variables de entropía de muestra y análisis de fluctuación de tendencia para realizar un acercamiento al comportamiento de dicha medición no lineal en función de los factores condicionantes ya descritos, debido a la independencia que presenta el primero frente a la longitud del registro, por lo que los resultados obtenidos son más consistentes que con otras mediciones no lineales (158), así como por la inferencia que permite hacer el segundo frente al nivel de complejidad fisiológica subyacente (155).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se encontró mayor nivel de entropía para mujeres en el eje “X” y valores similares de DFA para ambos sexos tanto para el

eje “X” como para el eje “Y”, no encontrando investigaciones previas con las cuales establecer comparaciones. Posiblemente, dicha variación en la entropía de muestra en el sentido medio-lateral obedezca a la diferencia en cuánto a estrategias de estabilización implementadas por ambos sexos como lo menciona Smith et al. (171). Para la variable de edad, se encontró un comportamiento en la entropía de muestra en eje “X” proporcional a dicho factor, posiblemente por el proceso de desarrollo y maduración del control postural innato al crecimiento, que conlleva también a un comportamiento inversamente proporcional de las variables lineales ya descrito (169). Así lo reportan Anderson y Button (173) quienes mencionan que a medida que los niños y niñas crecen, la regularidad de COP disminuye como resultado del incremento gradual de los grados de libertad, lo que permite un tipo de control postural más funcional y adaptable, dando cuenta además de la “fisiología de cambio” transitoria propia de ésta etapa que como elemento adaptativo ligado en éste caso a la biomecánica y que permite el desarrollo de su potencialidad (18).

Para el caso de las variables de actividad física y nivel de desarrollo motor, no se observaron diferencias significativas entre los diferentes subgrupos de cada categoría ni con la medición de entropía de muestra ni con la de análisis de fluctuación de tendencia, similar a cómo sucedió con los parámetros lineales. Tampoco se encontró en la búsqueda de literatura realizada, estudios que hayan aplicado éstos métodos de análisis no lineal para la comparación entre subgrupos a partir de éstas condiciones. El comportamiento similar pudo obedecer como se mencionó anteriormente, a la condición “potencialmente sana” de la muestra para el caso del desarrollo motor.

7.4. Correlación entre las variables principales

De forma general, se encontró una correlación discreta entre algunas mediciones del balance postural y la navegación espacial con coeficientes comprendidos en el intervalo $[0.2, 0.4]$, los cuales no se habían establecido en investigaciones previas ya que no se

habían realizado estudios de correlación que vincularan la navegación espacial y el balance postural. Ésta investigación provee entonces un insumo para investigaciones futuras en las que se pretenda profundizar en la relación entre éstas variables. En relación a lo anterior, se esperaba mayor grado de correlación entre el balance postural y la navegación espacial, pudiendo obedecer posiblemente dicho grado de correlación, a la diferencia entre las escalas de medición de cada variable, ya que si bien del balance postural fue posible realizar un registro continuo y una captura de la señal biológica, la navegación espacial fue estimada a partir de un único valor ordinal lo cual pone en relevancia la necesidad de aplicar herramientas de evaluación de las habilidades cognitivas en dónde se mida el proceso cognitivo además del resultado final y se logre dar cuenta del funcionamiento y complejidad del mismo.

Analizando en detalle las relaciones obtenidas, no se encontró relación entre las mediciones lineales del balance postural y la navegación espacial, pero sí se obtuvo una correlación discreta de tipo negativo entre la navegación espacial y la entropía aproximada en el eje mediolateral en la condición de apoyo unipodal con la extremidad dominante, lo cual se interpretaría como una disminución del desempeño de la navegación espacial en función del incremento del nivel de entropía del balance postural. Teniendo en cuenta que según estudios previos (153), ésta medida de entropía para el caso del balance postural da cuenta de la cantidad de atención dedicada a la ejecución de una determinada tarea, dicha correlación negativa podría obedecer a la presencia de “recursos compartidos” establecida en investigaciones anteriores (53) (57), en las cuales se encontraron diferentes niveles de actividad neuronal en el giro frontal medial, precentral, postcentral y parietal superior e inferior, durante el desempeño de tareas espaciales entre sesiones de tareas cognitivas únicas y tareas duales como posible consecuencia del consumo de recursos comunes entre el procesamiento de información espacial y el control postural (53).

Ésta explicación plausible de puntos de convergencia entre las líneas de procesamiento de ambas habilidades, también soporta la correlación positiva hallada con el exponente

de Lyapunov en el eje "Y" para apoyo bipodal con ojos cerrados, lo que implicaría un mejor desempeño en la navegación espacial en condiciones de mayor estabilidad del sistema, debido posiblemente y como se mencionó anteriormente, al proceso de automatización de la tarea que ha llevado a una disminución en las posibilidades de respuesta del sistema.

El hecho de que dichas correlaciones tengan lugar en condiciones de ojos cerrados podría explicarse desde el papel del sistema visual en la navegación espacial (43) el cual al estar en condición de privación con la oclusión, llevaría a una reponderación sensorial que implicaría un mayor aporte de las demás aferencias tales como la vestibular y propioceptiva, involucrando tanto el plano anteroposterior ("Eje Y") como mediolateral ("Eje X") debido a la distribución espacial de los órganos sensoriales. Dicha reponderación bayesiana conllevaría a un mayor grado de adaptabilidad del sistema para una navegación espacial exitosa, que es uno de los fenómenos de los que da cuenta el exponente de Lyapunov.

Frente a la correlación con los indicadores en apoyo unipodal dominante, se obtuvo una correlación negativa con las mediciones de entropía aproximada en eje "X", lo cual podría explicarse nuevamente desde el incremento en la dificultad de la tarea que derivaría en menor disponibilidad de la red de procesamiento compartida para la ejecución efectiva de las tareas de navegación espacial, tanto en términos de atención como de complejidad fisiológica, que sería adicionalmente más evidente en el eje mediolateral debido a la importancia de dicho eje para la campimetría visual en la ubicación de marcadores ambientales para una navegación espacial efectiva (174).

A partir de las relaciones descritas anteriormente, se puede considerar entonces que existe una correlación discreta entre el balance postural y la navegación espacial que sería a su vez el indicador de un vínculo de naturaleza no jerárquica entre el control motor y los procesos cognitivos, en el cual no sólo se compartirían módulos de procesamiento

sino además se producirían fenómenos complementarios que permitirían una “complejidad fisiológica”, lo que se asemejaría más a un modelo de funcionamiento en red para dichas habilidades más que los modelos jerárquico, en serie, en paralelo, etc. propuestos a lo largo de la historia como explicaciones plausibles a la relación existente entre dichos dominios. En sintonía con esto, existen teorías recientes que hablan de sistemas neuronales complejos que se componen de múltiples partes interactuando de forma profunda (175).

Éstas interacciones formarían patrones intrincados en grandes escalas espaciotemporales, produciendo comportamientos emergentes que serían difíciles de predecir a partir de elementos individuales (175) y de identificar con relaciones directas o unicasales debido a dicho funcionamiento en red que conlleva el aporte de múltiples estímulos y aferencias para el desempeño exitoso de la tarea, posiblemente, ésta fue una de las razones para el grado de correlación encontrado. Para abordar dicho funcionamiento en red, han aparecido abordajes desde la ciencia de redes tales como la teoría de grafos (176) que proporcionan un marco particularmente apropiado para estudiar e intervenir en dichos sistemas al tratar los elementos neuronales como nodos en un gráfico y las interacciones neuronales (sinapsis, tractos de materia blanca) como enlaces de dichos nodos. Desde una perspectiva funcional, la comunicación entre éstos nodos estaría codificada por una dependencia temporal entre las actividades de diferentes áreas del cerebro (177) y sería el sustrato de esa complejidad fisiológica del sistema nervioso que permitiría la capacidad de adaptación al entorno y que además confiere al ser humano la posibilidad de desenvolverse de manera funcional en un ambiente cambiante y hacer frente a las demandas del mismo.

A partir de la presente investigación se verifica igualmente, la existencia de dicho vínculo entre el balance postural y la navegación espacial puntualmente en la infancia, lo que podría dar cuenta también del funcionamiento en red presentado anteriormente que posiblemente involucraría módulos de procesamiento y mecanismos de retroalimentación diferentes tanto en términos espaciales como temporales debido a los

procesos de neurodesarrollo que tienen lugar en ésta etapa y que más que “buenos” o “malos” serían funcionales para las demandas propias de esa etapa del ciclo vital. Para determinar las diferencias en el funcionamiento de ésta red de procesamiento entre ésta etapa y la adultez, se requerirían de estudios futuros que caracterizaran mediante herramientas tales como las imágenes funcionales, el comportamiento de la misma.

Para ésta etapa del ciclo vital, la infancia, dicha funcionalidad se vincula además, al desempeño en el entorno escolar y a la comprensión de conceptos de diversas temáticas muchas de las cuales estarían vinculadas a la navegación espacial tales como algunas nociones matemáticas y de ciencias formales (59), en las cuales suelen presentarse dificultades para la comprensión de conceptos teóricos y procedimentales. La existencia de una relación entre la navegación espacial y el balance funcional en éste grupo etario brinda entonces un argumento de plausibilidad biológica para la implementación de intervenciones enfocadas en potencializar el sistema de control postural para impactar así la habilidad de navegación espacial e impactar así de forma indirecta el rendimiento de los niños y niñas en las competencias escolares asociadas a ésta habilidad.

Capítulo 8: Conclusiones, limitaciones e implicaciones

8.1. Conclusiones

A partir de la presente investigación se concluye la existencia de una relación catalogada como discreta entre el balance postural y la navegación espacial en niños y niñas entre 7 y 10 años en la población de estudio, con un coeficiente de correlación comprendido en el intervalo $[0.2, 0.4]$, que sugiere a su vez la existencia de un sistema nervioso de naturaleza compleja y dinámica, que da lugar a la interacción de habilidades que podrían pensarse como independientes tales como el control postural al cual pertenece la habilidad del balance y la navegación espacial clasificada tradicionalmente como un proceso cognitivo puro. Se aporta entonces a la comprensión de una neurofisiología que dista de comportarse en dinámicas jerárquicas o en serie como tradicionalmente se interpretó durante mucho tiempo, para ahondar en la comprensión de dicha neurofisiología como un sistema en red.

Esto plantea a su vez una transformación en el enfoque jerárquico de secuencias de movimiento subordinadas a señalizaciones provenientes del encéfalo, así como en el abordaje del sistema de balance postural, del cual se presentaron en ésta investigación distintos indicadores lineales y no lineales que dan cuenta de las numerosas interacciones y elementos que conforman dicha habilidad y que permiten elementos como la anticipación, la cual refleja la complejidad y capacidad de adaptación de dicho sistema y lo dotan de características que permiten abordarlo como un proceso cognitivo en sí mismo. Dicha complejidad y capacidad de adaptación, pasan además, por el alejarse de un procesamiento determinista como el que tendría lugar un sistema con lados “dominantes” y “no dominantes” o “extremidades para tareas dinámicas” y

“extremidades para tareas estáticas”, para constituirse como un proceso con amplio espectro de respuesta que permite la interacción funcional cotidiana.

Se concluye de igual forma a partir de la presente investigación, la existencia de dicha relación puntualmente durante la infancia, etapa del ciclo vital donde tienen lugar diversos procesos de neurodesarrollo que posiblemente involucran módulos de procesamiento distintos a los de la etapa adulta que funcionarían además en distintas escalas espaciotemporales, con niveles de complejidad particulares y con opciones diferentes de respuesta, también por las posibilidades propias del sistema al contar por ejemplo, con grados de libertad en términos del sistema de balance, distintos a los encontrados en la edad adulta. La existencia de dicha relación en éste grupo etario resulta útil particularmente debido a la relación que tiene la navegación espacial con diversas habilidades académicas mencionadas en el presente documento y que en conjunto con la relación encontrada entre la navegación espacial y el balance postural, se convierten en el sustento teórico y mecanismos de plausibilidad biológica subyacentes a la potencialización del sistema de control postural como estrategia para mejorar las habilidades de navegación espacial en la población escolar con la intención de influir sobre el rendimiento en áreas temáticas como las ciencias STEM en las cuales se presentan desempeños poco favorables.

8.2. Limitaciones y recomendaciones

En el marco de desarrollo de la presente investigación, se evidenciaron diversos factores que pudieron actuar como factores limitantes en los resultados de la misma, destacándose la forma de medición de navegación espacial que en comparación con la posibilidad de captura de una señal biológica y análisis del comportamiento de la misma como sucedió con el balance postural, se queda corta frente a la profundidad del nivel de interpretación lo que pone en evidencia la necesidad de aplicación de metodologías de evaluación fisiológica de procesos cognitivos que presenten no sólo un resultado

comportamental sino también brinden la posibilidad de analizar el procesamiento subyacente.

Otro elemento a mencionar en éste apartado fueron las metodologías seleccionadas para la medición de los niveles de actividad física y nivel de desarrollo motor, variables con las cuales no se obtuvo un comportamiento diferencial de las variables principales, lo cual pudo deberse a las herramientas de medición aplicadas, las cuales fueron seleccionadas en función del papel ocupado por las mismas en ésta investigación, no obstante, posiblemente en estudios futuros cuyo objetivo principal sea la caracterización del comportamiento de la navegación espacial y el balance postural en función del nivel de actividad física y del nivel de desarrollo motor, puedan realizar mediciones tales como la acelerometría y la aplicación de pruebas de desempeño motriz para la estimación del primer y segundo elemento respectivamente, con lo que tal vez se encontrarían diferencias significativas en función de éstos factores al tratarse de las metodologías de medición “Gold standard” de los mismos.

Finalmente, en referencia al dispositivo utilizado para la captura del centro de presión, la Wii Balance board, se comprueba su utilidad y costo eficiencia para el registro de dicha señal, convirtiéndose así en una alternativa de fácil acceso a las plataformas de fuerza que son por excelencia los equipos utilizados para la medición de centro de presión. No obstante, si bien dicha plataforma ha sido validada para tal fin, presenta un nivel de ruido superior a las plataformas de fuerza, hecho que tal vez pudo ser el responsable de la variabilidad presentada los datos, por lo cual, a la hora de trabajar con éste implemento, es necesario realizar un procesamiento que filtre de mejor forma dicho nivel de ruido, para obtener así mayor consistencia en los datos reflejada en valores estadísticos de alta significancia.

8.3. Implicaciones

La presente investigación aporta distintos elementos a la comprensión de la relación entre el control postural y el proceso cognitivo, delimitada en éste estudio en el sistema de balance postural y la navegación espacial como elementos integradores de éstos procesos respectivamente. Al respecto, uno de los principales aportes es la generación de un coeficiente de correlación que da cuenta de una relación discreta entre dichas variables, el cuál no se había establecido en investigaciones previas y que será de utilidad en futuros estudios para caracterizar dicha relación en función de diversas características logrando incluso valores estadísticos y de correlación mayores a los de ésta investigación, al no tener que utilizar un coeficiente indeterminado para el cálculo del tamaño muestral.

Con esto, se espera abrir las puertas a diversas investigaciones que busquen describir y comprender el funcionamiento complejo del sistema nervioso desde un abordaje de red, para así dimensionar la naturaleza dinámica y no lineal de dicho proceso. De igual forma, se espera que ésta investigación contribuya a la modificación de los supuestos teóricos utilizados para la explicación de fenómenos tales como el balance postural que históricamente han sido abordados como respuestas reflejas del organismo.

El coeficiente de correlación aquí encontrado, se convierte también en un aporte al sustento de plausibilidad biológica que soporte múltiples abordajes e intervenciones del control postural como vía de acceso a los módulos de procesamiento de procesos tales como la navegación espacial para así poder incidir sobre la arquitectura funcional del sistema nervioso promoviendo su potencialización en función de las habilidades de cada sujeto y las demandas puntuales de su entorno. Para el caso de la población infantil, el perfeccionamiento de la habilidad de navegación espacial por medio del abordaje del control postural, puede ser una vía para mejorar el desempeño en áreas vinculadas a

ésta habilidad cognitiva tales como la física, matemática, química, entre otras, que son también áreas en dónde se suelen observar dificultades en el desempeño.

A. Anexo 1. Cuadro de Operacionalización de Variables

<i>Variable y Tipo</i>	<i>Definición y Naturaleza de la Variable</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicador y Unidad de Medida</i>	<i>Instrumento</i>
<i>Balance Postural (Principal)</i>	<p>Propiedad del sistema neuromuscular de controlar una alineación particular de los diferentes segmentos de manera tal que se mantenga el centro de masa dentro de la base de soporte.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Naturaleza: De intervalo 	<p>Balance estático</p> <p>Balance dinámico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Valor de la trayectoria recorrida por el centro de presión en mm durante 4 posiciones sostenidas durante 30 segundos. 2. Área de desplazamiento del COP definida en mm² 3. Velocidades promedio en eje "X" y "Y" del COP 4. Indicadores No lineales (Entropía aproximada, de muestra, dimensión de correlación, análisis de fluctuación de tendencia y Exponente de Lyapunov) de la serie temporal registrada de desplazamiento del COP. 	Wii Balance Board

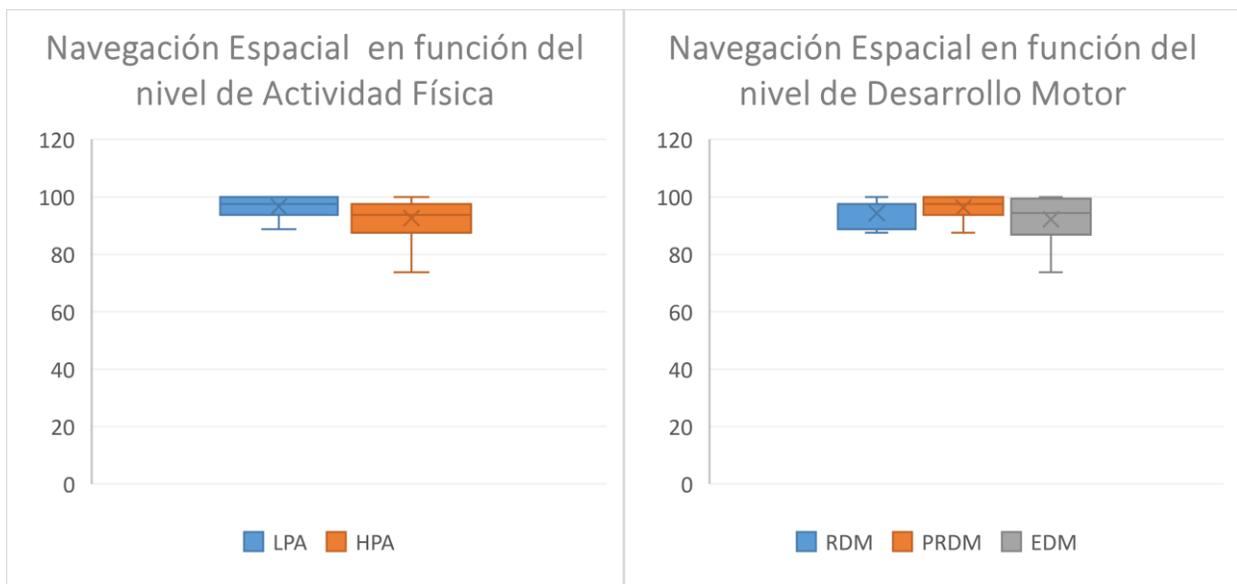
<p><i>Navegación Espacial (Principal)</i></p>	<p>Habilidad cognitiva por medio de la cual se usan diversas señales para desarrollar un camino hacia un destino y desplazarse al mismo tal como una ruta planeada</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Naturaleza: De intervalo. 	<p>Toma de perspectiva Rotación mental</p>	<p>1. Puntuación de 1 a 9 en función del número de ítems correctos en la prueba. 2. Número de aciertos y equivocaciones durante la prueba de rotación mental</p>	<p>1. Test de toma de perspectiva espacial (99) 2. Test de rotación mental (132)</p>
<p><i>Sexo biológico (Interviniente)</i></p>	<p>Sexo con el que se nació, determinado por cromosomas, genitales, hormonas y gónadas</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Naturaleza: Nominal dicotómica 	<p>No aplica</p>	<p>Sexo del menor (Niño, niña o intersexual en caso de que se presente)</p>	<p>Formato de recolección de datos</p>
<p><i>Edad (Interviniente)</i></p>	<p>Tiempo que ha vivido una persona</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Naturaleza: De razón 	<p>No aplica</p>	<p>Años enteros cumplidos por el niño o niña</p>	<p>Formato de recolección de datos</p>
<p><i>Actividad física (Interviniente)</i></p>	<p>Cualquier movimiento que genere gasto de energía superior al metabolismo basal.</p>	<p>No aplica</p>	<p>Puntuación de 1 a 5 donde 1 será baja actividad física y 5 será actividad física elevada</p>	<p>Cuestionario de actividad física para niños (CPAQ) (130)</p>

<p><i>Desarrollo motor</i> <i>(Interviniente)</i></p>	<p>Grado de maduración biológica y funcional del sistema neuromuscular</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Naturaleza: De intervalo 	<p>Motricidad fina</p> <p>Motricidad gruesa</p>	<p>Sumatoria de hitos o habilidades motoras observadas, con interpretación cualitativa de presencia, ausencia o riesgo de desarrollo de dificultades de movimiento.</p>	<p>Forma Corta de la batería MABC -2 (122)</p>
---	---	---	---	--

Tabla 21. Selección y Operacionalización de Variables

C. Anexo 3: Información Complementaria de Resultados

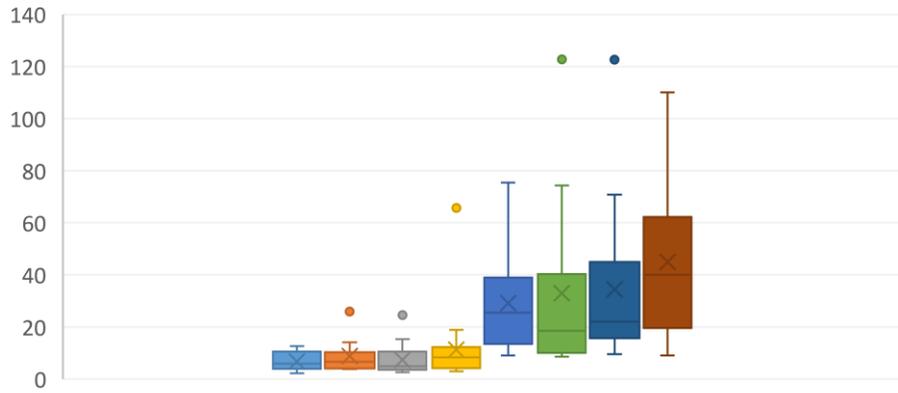
i. Gráficas de comportamiento de navegación espacial en función de niveles de actividad física y desarrollo motor



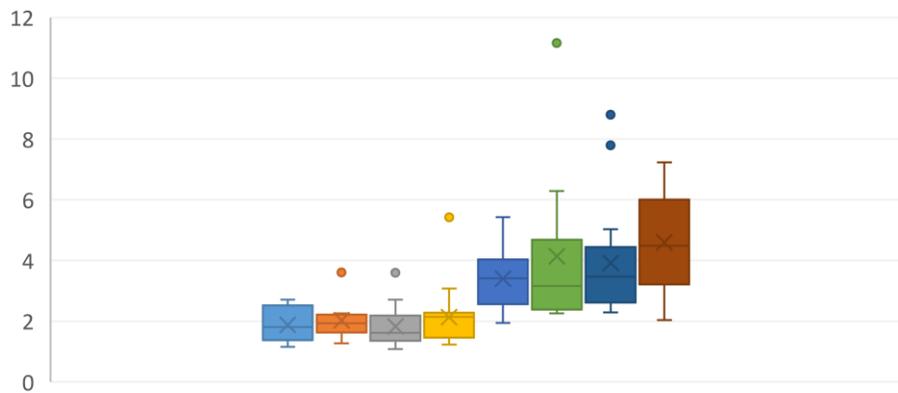
Gráfica 18. Diagramas de cajas y bigotes de valores de navegación espacial en función del nivel de actividad física y de desarrollo motor

ii. Gráficas de comportamiento de los parámetros lineales de balance postural en función del nivel de actividad física

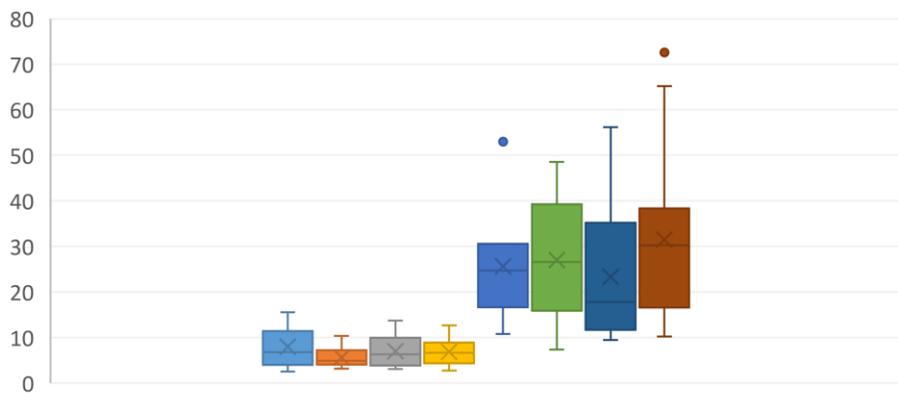
Área Promedio

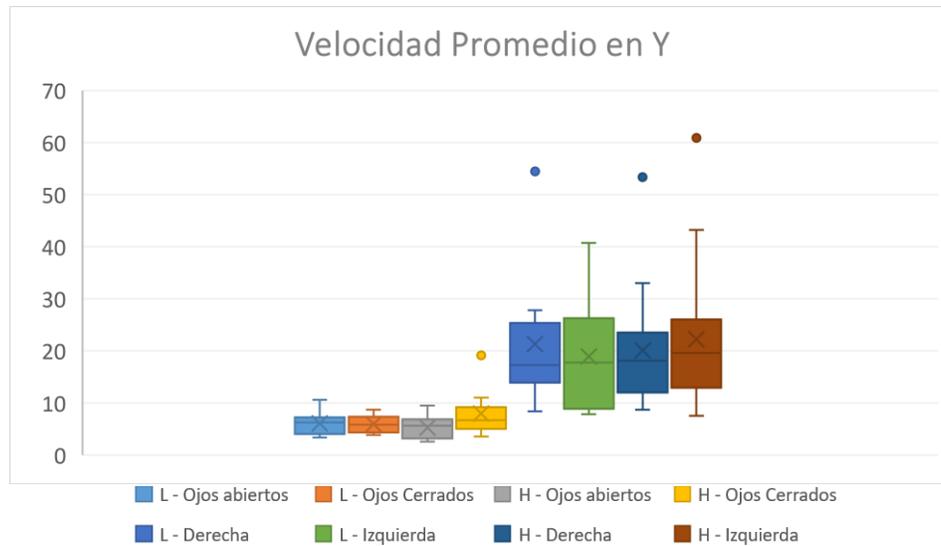


Longitud Promedio



Velocidad Promedio en X



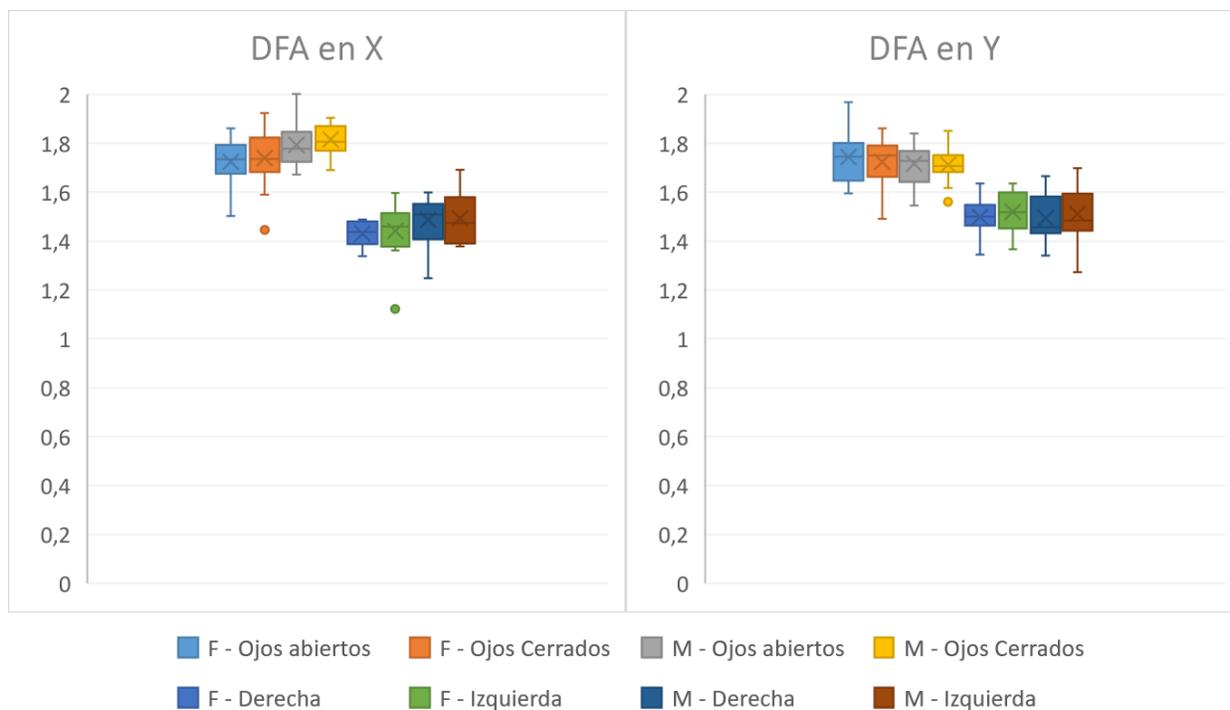


Gráfica 19. Diagramas de cajas y bigotes con valores de parámetros lineales del balance postural en función del nivel de actividad física

iii. Resultados del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de las variables condicionantes

Variable lineal	Apoyo Bipodal				Apoyo Unipodal			
	Ojos abiertos		Ojos Cerrados		Derecha		Izquierda	
	F	M	F	M	F	M	F	M
DFA X	1,72	1,79	1,74	1,82	1,43	1,49	1,44	1,49
DFA Y	1,74	1,72	1,72	1,71	1,5	1,49	1,52	1,51

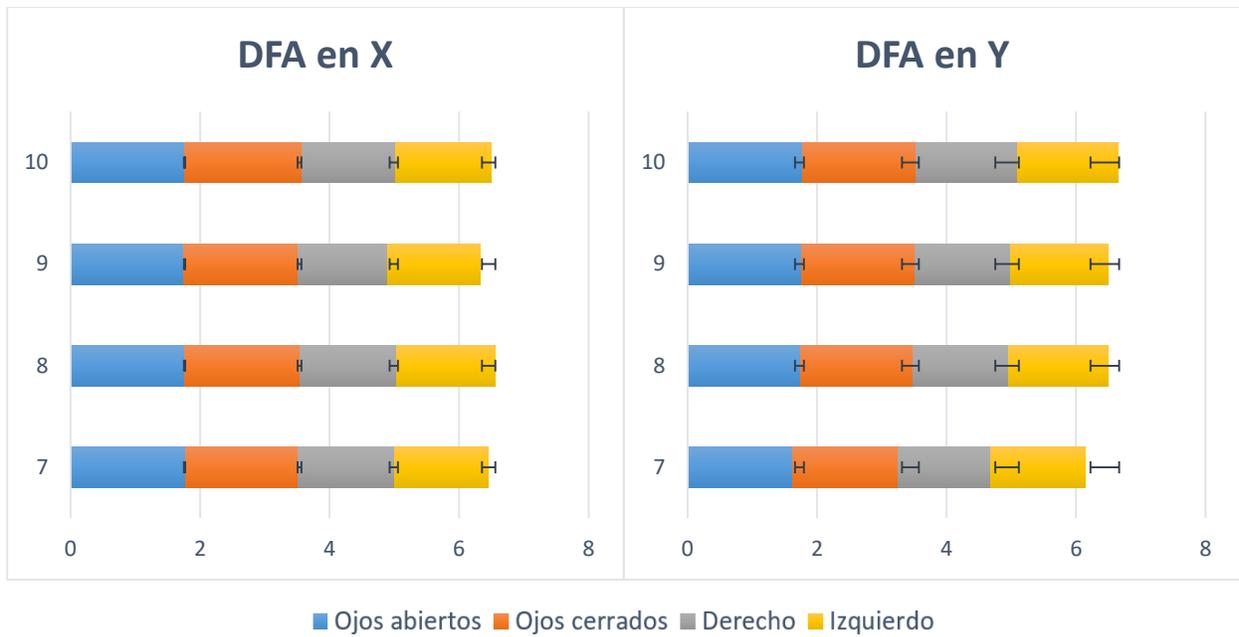
Tabla 22. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del sexo biológico



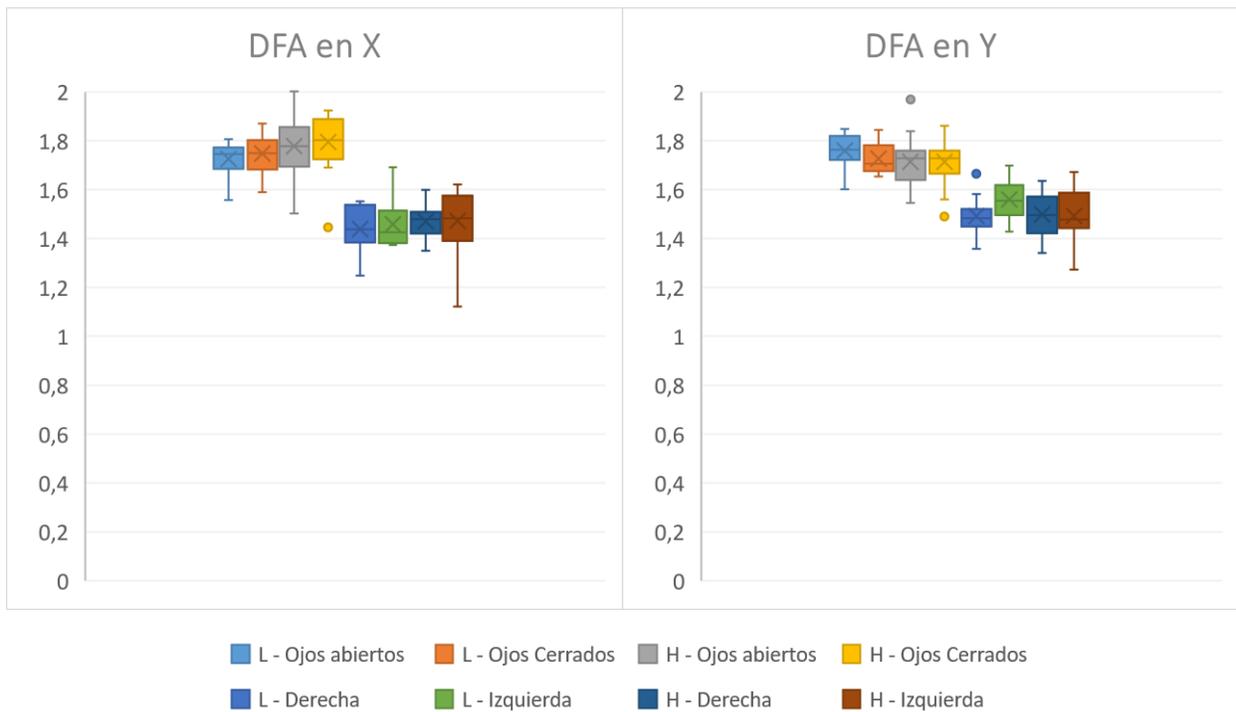
Gráfica 20. Diagramas de cajas y bigotes con valores de análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del sexo biológico

	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	<i>DFA en X</i>				<i>DFA en Y</i>			
7	1,77	1,74	1,49	1,45	1,62	1,63	1,43	1,46
8	1,76	1,79	1,49	1,52	1,75	1,74	1,48	1,53
9	1,75	1,76	1,39	1,42	1,76	1,75	1,48	1,51
10	1,76	1,81	1,45	1,47	1,78	1,75	1,57	1,55

Tabla 23. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de la edad



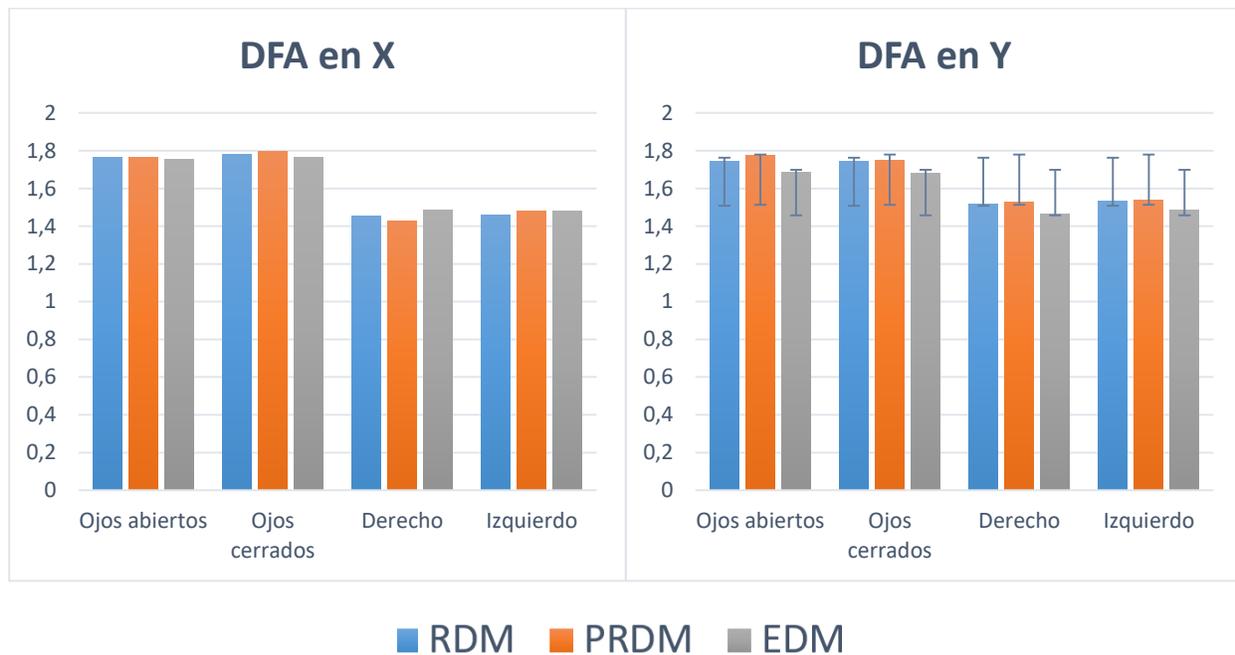
Gráfica 21. Histogramas con valores promedio del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de la edad



Gráfica 22. Diagramas de cajas y bigotes con valores de análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función de los niveles de actividad física (L= Nivel de actividad física bajo – H= Nivel de actividad física alto)

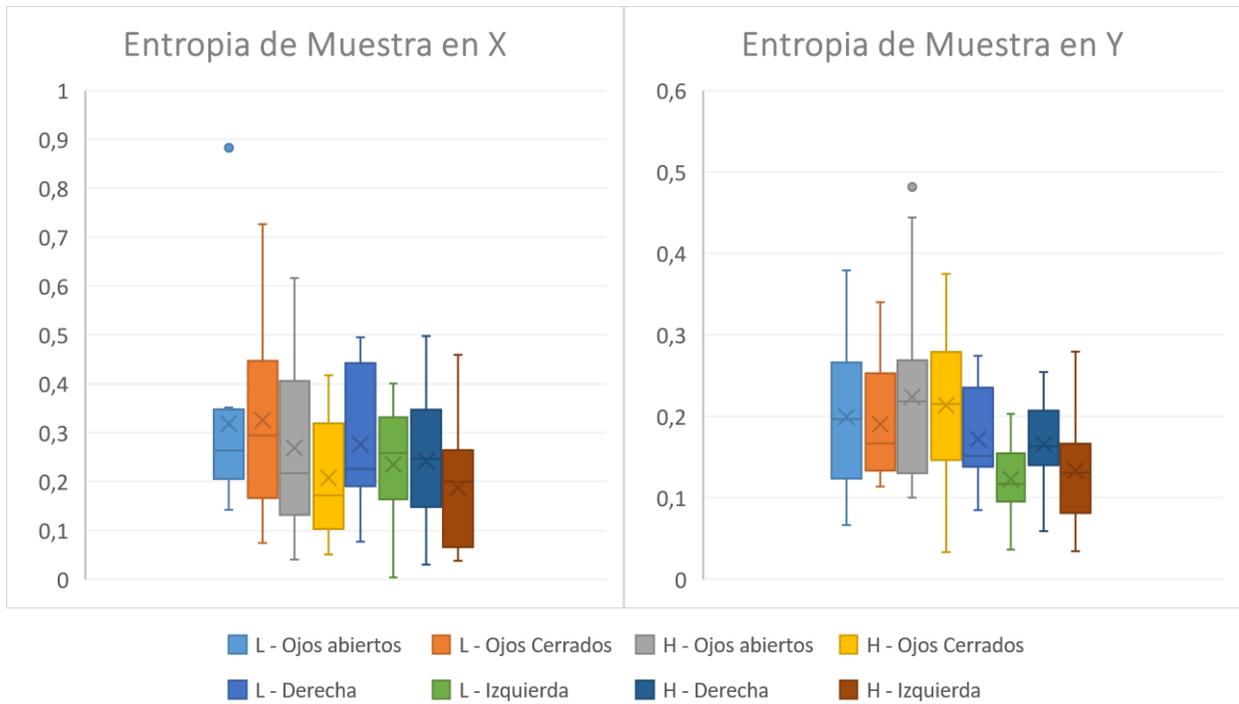
Nivel Dilo	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq	Ojos Abiert	Ojos Cerr	Der	Izq
	DFA en X				DFA en Y			
RDM	1,76	1,78	1,45	1,46	1,75	1,74	1,51	1,54
PRDM	1,77	1,8	1,43	1,48	1,78	1,75	1,53	1,54
EDM	1,75	1,76	1,49	1,48	1,69	1,68	1,46	1,49

Tabla 24. Valores del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del nivel de desarrollo motor



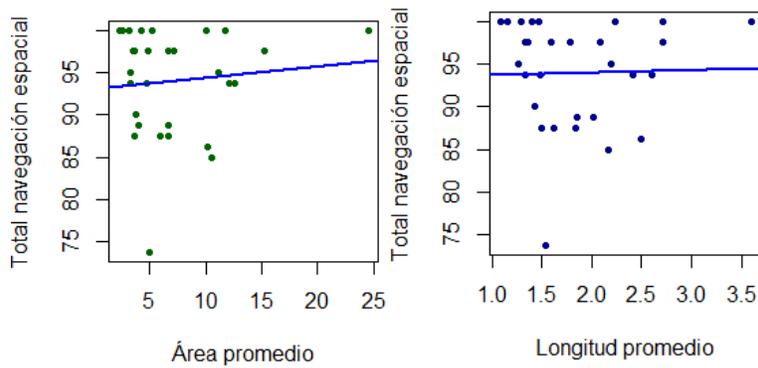
Gráfica 23. Histogramas con valores promedio del análisis de fluctuación de tendencia (DFA) en función del nivel de desarrollo motor (RDM= Riesgo de desarrollo motor – PRDM= Posible riesgo de desarrollo motor – EDM= Desarrollo motor esperado)

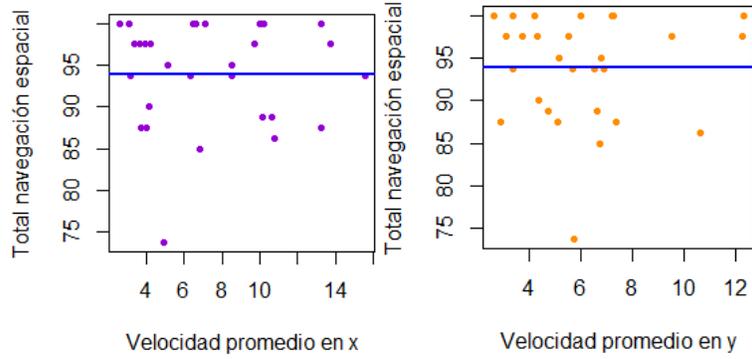
iv. Gráficas de comportamiento de la entropía de muestra en función del nivel de actividad física



Gráfica 24. Diagramas de cajas y bigotes de valores de entropía de muestra en función de los niveles de actividad física (L= Nivel de actividad física bajo – H= Nivel de actividad física alto)

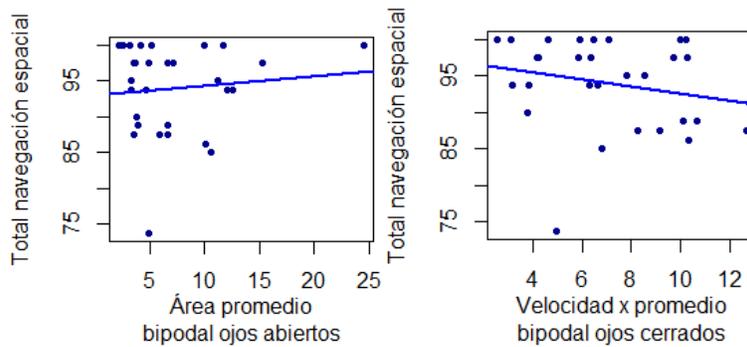
v. Diagramas de dispersión entre navegación espacial y mediciones lineales de la prueba de balance total



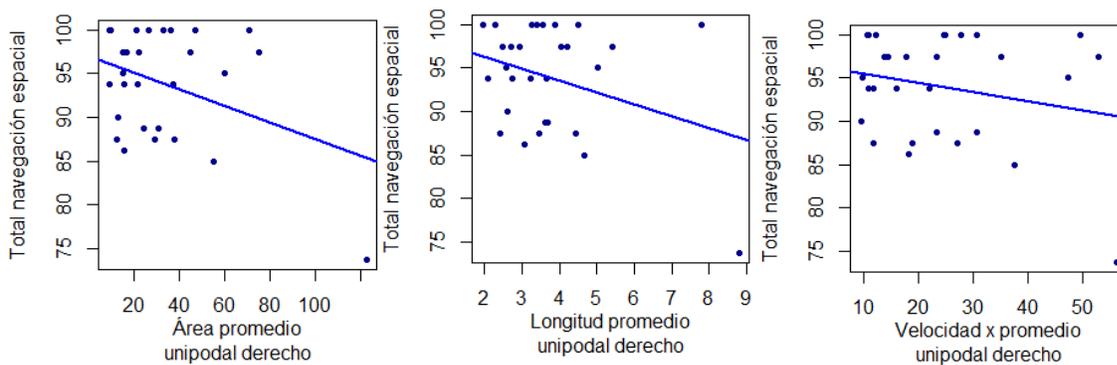


Gráfica 25. Diagramas de dispersión entre navegación espacial y mediciones lineales de la prueba de balance total

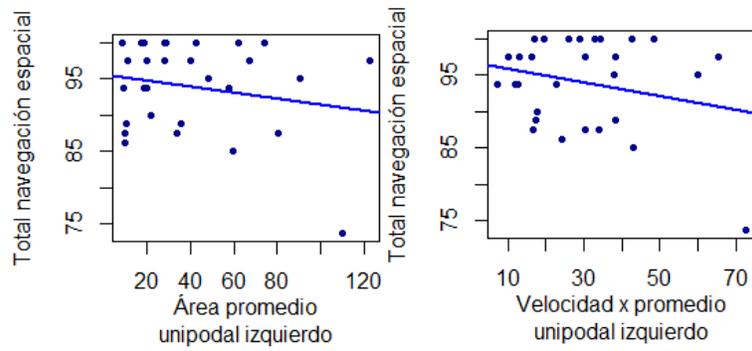
vi. Mediciones lineales con recta de regresión distintas de cero



Gráfica 26. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo bipodal



Gráfica 27. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo unipodal derecho



Gráfica 28. Gráficos de dispersión de mediciones lineales con recta de regresión diferente de cero para las condiciones de apoyo unipodal izquierdo

Bibliografía

1. Chica AB, Bartolomeo P, Lupiáñez J. Two cognitive and neural systems for endogenous and exogenous spatial attention. *Behav Brain Res.* 2013;237(1):107–23.
2. Rinaldi L, Merabet LB, Vecchi T, Cattaneo Z. The spatial representation of number, time, and serial order following sensory deprivation: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev.* 2018;90(July 2017):371–80.
3. Kaschak MP, Jones JL, Carranza J, Fox MR. Embodiment and language comprehension. *Routledge Handb Embodied Cogn.* 2014;18(5):118–26.
4. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 2002;88(3):1097–118.
5. Rogge AK, Röder B, Zech A, Nagel V, Hollander K, Braumann KM, et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults. *Sci Rep.* 2017;7(1):1–10.
6. Wolfensteller U. Juggling with the brain - thought and action in the human motor system. Vol. 174, *Progress in Brain Research.* Elsevier; 2009. 289–301 p.
7. Westermann G, Sirois S, Shultz TR, Mareschal D. Modeling developmental cognitive neuroscience. *Trends Cogn Sci.* 2006;10(5):227–32.
8. Severin E. Un nuevo paradigma educativo. *Innov Educ.* 2017;7.
9. Semana R. ¿Cómo le fue a Colombia en las últimas pruebas PISA? [Internet]. *Revista Semana.* 2019 [citado el 21 de julio de 2020]. p. 1–9. Disponible en: <https://www.semana.com/educacion/articulo/como-le-fue-a-colombia-en-las-ultimas-pruebas-pisa/642984>
10. PISA/OCDE. Colombia - Country Note - PISA 2018 Results OECD. 2019.
11. Jornet Meliá JM. Análisis metodológico del Proyecto PISA como evaluación internacional. *RELIEVE - Rev Electrónica Investig Eval Educ.* 2016;22(1).
12. Solano-Flores G, Milbourn T. Capacidad evaluativa, validez cultural, y validez consecuencial en PISA. *RELIEVE - Rev Electrónica Investig Eval Educ.* 2016;22(1).
13. Ruiz Sánchez de León JM, Fernández Blázquez MA. Arquitecturas cognitivas y cerebro: hacia una teoría unificada de la cognición. *Int J Psychol Res.* 2011;4(2):38–47.

14. Davis PM. Cognición y Aprendizaje. Reseña de Investigaciones Realizadas Entre Grupos Etnolingüísticos Minoritarios. 2014. 1 p.
15. Baronchelli A, Ferrer-i-Cancho R, Pastor-Satorras R, Chater N, Christiansen MH. Networks in Cognitive Science. *Trends Cogn Sci*. 2013;17(7):348–60.
16. Trelles L, Thorne C. La Cognición : El Punto De Vista Neurologico. *Rev Psicol Pontif Univ Católica Perú*. 1986;4(2):143–56.
17. Damasio A. EL ERROR DE DESCARTES.pdf. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello; 1996. 337 p.
18. Zuluaga Gómez JA. Neurodesarrollo y estimulación. Primera. Bogotá: Editorial Médica Panamericana; 2001. 295 p.
19. Ridderinkhof KR. Neurocognitive mechanisms of perception-action coordination: A review and theoretical integration. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014;46(P1):3–29.
20. Gentsch A, Weber A, Synofzik M, Vosgerau G, Schütz-Bosbach S. Towards a common framework of grounded action cognition: Relating motor control, perception and cognition. *Cognition*. 2016;146:81–9.
21. Leitan ND, Chaffey L. Embodied cognition and its applications: A brief review. *Sensoria J Mind Brain Cult*. 2014;10(1):3.
22. Ziemke T. The body of knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition. *BioSystems*. 2016;148:4–11.
23. Barsalou LW. Grounded Cognition. *Annu Rev Psychol*. 2008;59(1):617–45.
24. Varghese JP, McIlroy RE, Barnett-Cowan M. Perturbation-evoked potentials: Significance and application in balance control research. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;83(August):267–80.
25. Balasubramaniam R, Wing AM. The dynamics of standing balance. *Trends Cogn Sci*. 2002;6(12):531–6.
26. Bolton DAE. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;57:142–55.
27. Parreira RB, Grecco LAC, Oliveira CS. Postural control in blind individuals: A systematic review. *Gait Posture*. 2017;57(November 2016):161–7.
28. Redfern MS, Yardley L, Bronstein AM. Visual influences on balance. *J Anxiety Disord*. 2001;15(1–2):81–94.
29. Väljamäe A. Auditorily-induced illusory self-motion: A review. *Brain Res Rev*. 2009;61(2):240–55.

30. Pasma JH, Boonstra TA, Campfens SF, Schouten AC, Van der Kooij H. Sensory reweighting of proprioceptive information of the left and right leg during human balance control. *J Neurophysiol.* 2012;108(4):1138–48.
31. Gu Y. Vestibular signals in primate cortex for self-motion perception. *Curr Opin Neurobiol.* 2018;52:10–7.
32. Stiles L, Smith PF. The vestibular-basal ganglia connection: Balancing motor control. *Brain Res.* 2015;1597:180–8.
33. Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Res Rev.* 2011;67(1–2):119–46.
34. Brittain JS, Brown P. Oscillations and the basal ganglia: Motor control and beyond. *NeuroImage.* 2014;85:637–47.
35. Isa T, Sasaki S. Brainstem control of head movements during orienting; Organization of the premotor circuits. *Prog Neurobiol.* 2002;66(4):205–41.
36. Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C. Development of postural control in healthy children: A functional approach. *Neural Plast.* 2005;12(2–3):109–18.
37. Rondi-Reig L, Burguière E. Is the cerebellum ready for navigation? *Prog Brain Res.* 2005;148:199–212.
38. Colombo D, Serino S, Tuena C, Pedroli E, Dakanalis A, Cipresso P, et al. Egocentric and allocentric spatial reference frames in aging: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017;80(July):605–21.
39. Lappi O. Eye movements in the wild: Oculomotor control, gaze behavior & frames of reference. *Neurosci Biobehav Rev.* 2016;69:49–68.
40. Serino A. Peripersonal space (PPS) as a multisensory interface between the individual and the environment , de fi ning the space of the self. *Neurosci Biobehav Rev.* 2019;99(December 2018):138–59.
41. Lopez C, Falconer CJ, Deroualle D, Mast FW. In the presence of others: Self-location, balance control and vestibular processing. *Neurophysiol Clin.* 2015;45(4–5):241–54.
42. Riva G. The neuroscience of body memory: From the self through the space to the others. *Cortex.* 2018;104:241–60.
43. Lester AW, Moffat SD, Wiener JM, Barnes CA, Wolbers T. The Aging Navigational System. *Neuron.* 2017;95(5):1019–35.

44. Giummarra MJ, Gibson SJ, Georgiou-Karistianis N, Bradshaw JL. Mechanisms underlying embodiment, disembodiment and loss of embodiment. *Neurosci Biobehav Rev.* 2008;32(1):143–60.
45. Colby CL. Action-Oriented Spatial Reference Frames in Cortex. *Neuron.* 1998;20:15–24.
46. Dieterich M, Brandt T. Global orientation in space and the lateralization of brain functions. *Curr Opin Neurol.* 2018;31(1):96–104.
47. Lackner JR, DiZio P. Vestibular, Proprioceptive, and Haptic Contributions to Spatial Orientation. *Annu Rev Psychol.* 2005;56(1):115–47.
48. Barry C, Burgess N. Neural mechanisms of Self - Location. *Curr Biol.* 2014;14(April):855–7.
49. Buzsáki G, Tingley D. Space and Time: The Hippocampus as a Sequence Generator. *Trends Cogn Sci.* 2018;22(10):853–69.
50. Angelaki DE, Klier EM, Snyder LH. A Vestibular Sensation: Probabilistic Approaches to Spatial Perception. *Neuron.* 2009;64(4):448–61.
51. Vasilyeva M, Lourenco SF. Development of spatial cognition. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.* 2012;3(3):349–62.
52. Irani S, Yu Q, Anderson D, Tang L, Chen D. The Development of Spatial Navigation Ability from Childhood to Adulthood. 2017;
53. Chen Y, Yu Y, Niu R, Liu Y. Selective Effects of Postural Control on Spatial vs. Nonspatial Working Memory: A Functional Near-Infrared Spectral Imaging Study. *Front Hum Neurosci.* 2018;12(June):1–11.
54. Coelho AR, Lamberti Perobelli JL, Sonobe LS, Moraes R, de Carneiro Barros CG, Carvalho de Abreu DC. Severe dizziness related to postural instability, changes in gait and cognitive skills in patients with chronic peripheral vestibulopathy. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2020;24(1):E99–106.
55. Breinbauer HA, Contreras MD, Lira JP, Guevara C, Castillo L, Ruëdinger K, et al. Spatial Navigation Is Distinctively Impaired in Persistent Postural Perceptual Dizziness. *Front Neurol.* 2020;10(January).
56. Dordevic M, Schrader R, Taubert M, Müller P, Hökelmann A, Müller NG. Vestibulo-hippocampal function is enhanced and brain structure altered in professional ballet dancers. *Front Integr Neurosci.* 2018;12(October):1–10.
57. Riley MA, Mitra S, Saunders N, Kiefer AW, Wallot S. The interplay between posture control and memory for spatial locations. *Exp Brain Res.* 2012;217(1):43–52.

58. Verdine BN, Golinkoff RM, Hirsh-Pasek K, Newcombe NS. I. Spatial Skills, Their Development, and Their Links To Mathematics. *Monogr Soc Res Child Dev.* 2017;82(1):7–30.
59. Verdine BN, Irwin CM, Golinkoff RM, Hirsh-Pasek K. Contributions of Executive Function and Spatial Skills to Preschool Mathematics Achievement previous investigations of early mathematics skill focus solely on number recognition, cardinality, counting, and number magnitude. *Likewise, many mathematics curr.* 2004;37–51.
60. Cornu V, Hornung C, Schiltz C, Martin R. How do different aspects of spatial skills relate to early arithmetic and number line estimation? *J Numer Cogn.* 2017;3(2):309–43.
61. Cornu V, Schiltz C, Martin R, Hornung C. Visuo-spatial abilities are key for young children’s verbal number skills. *J Exp Child Psychol.* 2018;166:604–20.
62. Hodgkiss A, Gilligan KA, Tolmie AK, Thomas MSC, Farran EK. Spatial cognition and science achievement: The contribution of intrinsic and extrinsic spatial skills from 7 to 11 years. *Br J Educ Psychol.* 2018;88(4):675–97.
63. Gilligan KA, Flouri E, Farran EK. The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. *J Exp Child Psychol.* 2017;163:107–25.
64. Nazareth A, Newcombe NS, Shipley TF, Velazquez M, Weisberg SM. Beyond small-scale spatial skills: Navigation skills and geoscience education. *Cogn Res Princ Implic.* 2019;4(1).
65. Tosto MG, Hanscombe KB, Haworth CMA, Davis OSP, Petrill SA, Dale PS, et al. Why do spatial abilities predict mathematical performance? *Dev Sci.* 2014;17(3):462–70.
66. Rinaldi L, Gallucci M, Girelli L. Spatial-numerical consistency impacts on preschoolers’ numerical representation: Children can count on both peripersonal and personal space. *Cogn Dev.* 2016;37:9–17.
67. Domahs F, Moeller K, Huber S, Willmes K, Nuerk HC. Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition.* 2010;116(2):251–66.
68. Westcott SL, Lowes LP, Richardson PK. Evaluation of postural stability in children: Current theories and assessment tools. *Phys Ther.* 1997;77(6):629–45.
69. Villalobos-Samaniego C, Rivera-Sosa JM, Ramos-Jimenez A, Cervantes-Borunda MS, Lopez-Alonzo SJ, Hernandez-Torres RP. Evaluation methods of static and dynamic balance in children aged 8 to 12 years old. *Retos.* 2020;37:793–801.

70. Sibley KM, Beauchamp MK, Van Ooteghem K, Paterson M, Wittmeier KD. Components of Standing Postural Control Evaluated in Pediatric Balance Measures: A Scoping Review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(10):2066--2078.e4.
71. Mancini M, Horak FB. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2010;46(2):239–48.
72. Paillard T, Noé F. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Res Int.* 2015;2015.
73. Alonso AC, Luna NM, Dionísio FN, Speciali DS, Leme LEG, Greve JMD. Functional Balance Assessment: review. *Med Express.* 2014;1(6):298–301.
74. Nintendo. Wii Balance Board™, operations' manual. 2008;13.
75. Goble DJ, Cone BL, Fling BW. Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: The first half decade of "wii-search". *J NeuroEngineering Rehabil.* 2014;11(1):1–9.
76. Chang WDWYWD, Chang WDWYWD, Lee CL, Feng CY. Validity and reliability of wii fit balance board for the assessment of balance of healthy young adults and the elderly. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(10):1251–3.
77. Park DS, Lee G. Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: Usability and validation. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2014;11(1):1–8.
78. Clark RA, Bryant AL, Pua Y, McCrory P, Bennell K, Hunt M. Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait Posture.* 2010;31(3):307–10.
79. Bonnechère B, Van Hove O, Jansen B, Van Sint Jan S. Validation of the Wii Balance Board to assess static balance during dual-task activity in healthy subjects. *Med Nov Technol Devices.* 2019;1(May):100003.
80. Larsen LR, Jørgensen MG, Junge T, Juul-Kristensen B, Wedderkopp N. Field assessment of balance in 10 to 14 year old children, reproducibility and validity of the Nintendo Wii board. *BMC Pediatr.* 2014;14(1):1–9.
81. Bunn L, Brady D, Cattani A, Marsden J, Cowie D. Wee-Wii-validation: investigating the validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance in young children. *Physiotherapy.* 2017;103:e17.
82. Severini G, Straudi S, Pavarelli C, Da Roit M, Martinuzzi C, Di Marco Pizzongolo L, et al. Use of Nintendo Wii Balance Board for posturographic analysis of Multiple Sclerosis patients with minimal balance impairment. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2017;14(1):1–14.

83. van den Berg E, Ruis C. Space in Neuropsychological Assessment. *Neuropsychology of Space: Spatial Functions of the Human Brain*. Elsevier Inc.; 2017. 361–378 p.
84. Fernandez-Baizan C, Arias JL, Mendez M. Spatial orientation assessment in preschool children: Egocentric and allocentric frameworks. *Appl Neuropsychol Child*. 2019;0(0):1–23.
85. Piper BJ, Acevedo SF, Craytor MJ, Murray PW, Raber J. The use and validation of the spatial navigation Memory Island test in primary school children. *Behav Brain Res*. 2010;210(2):257–62.
86. Newhouse P, Newhouse C, Astur RS. Sex differences in visual-spatial learning using a virtual water maze in pre-pubertal children. *Behav Brain Res*. 2007;183(1):1–7.
87. Ventura M, Shute V, Wright T, Zhao W. An investigation of the validity of the virtual spatial navigation assessment. *Front Psychol*. 2013;4(DEC):1–7.
88. Lind SE, Bowler DM, Raber J. Spatial navigation, episodic memory, episodic future thinking, and theory of mind in children with autism spectrum disorder: Evidence for impairments in mental simulation? *Front Psychol*. 2014;5(DEC):1–20.
89. Mueller SC, Temple V, Cornwell B, Grillon C, Pine DS, Ernst M. Impaired spatial navigation in pediatric anxiety. *J Child Psychol Psychiatry*. 2009;50(10):1227–34.
90. Kozhevnikov M, Motes MA, Rasch B, Blajenkova O. Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Appl Cogn Psychol*. 2006;20(3):397–417.
91. Belmonti V, Berthoz A, Cioni G, Fiori S, Guzzetta A. Navigation strategies as revealed by error patterns on the Magic Carpet test in children with cerebral palsy. *Front Psychol*. 2015;6(JUL):1–13.
92. Moses J, Kubert J. Effects of Age and Gender on Spatial Navigation : Evidence from Samoan Primary School Children. *Mod Psychol Stud*. 2019;24(1):Article 10.
93. Hegarty M, Richardson AE, Montello DR, Lovelace K, Subbiah I. Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*. el 1 de septiembre de 2002;30(5):425–47.
94. Murias K, Kirton A, Tariq S, Gil Castillejo A, Moir A, Iaria G. Spatial Orientation and Navigation in Children With Perinatal Stroke. *Dev Neuropsychol*. 2017;42(3):160–71.
95. Davies C, Athersuch L, Amos N. Sense of direction: One or two dimensions? *Leibniz Int Proc Inform LIPIcs*. 2017;86(9):1–9.

96. Julià C, Antolí JÒ. Spatial ability learning through educational robotics. *Int J Technol Des Educ.* 2016;26(2):185–203.
97. Flanagin VL, Fisher P, Olcay B, Kohlbecher S, Brandt T. A bedside application-based assessment of spatial orientation and memory: approaches and lessons learned. *J Neurol.* 2019;266(s1):126–38.
98. Chang JSK, Yeboah G, Doucette A, Clifton P, Nitsche M, Welsh T, et al. Evaluating the effect of tangible virtual reality on spatial perspective taking ability. *SUI 2017 - Proc 2017 Symp Spat User Interact.* 2017;68–77.
99. Hegarty M, Kozhevnikov M, Waller D. Perspective taking / spatial orientation test. *Intelligence.* 2004;32(January):175–91.
100. Aslan D, Köksal Akyol A. PERSPECTIVE TAKING TEST FOR CHILDREN (PTC) [TEST ITEMS AND INSTRUCTIONS]. 2017.
101. Heil C. Double perspective taking processes of primary children-adoption and application of a psychological instrument. *CERME - HAL.* 2017;10(Febrero).
102. Xistouri X, Pitta-Pantazi D. Spatial Rotation and Perspective Taking Abilities in Relation To Performance in Reflective Symmetry Tasks. *Proc 30th Conf Int Group Psychol Math Educ.* 2006;5(1981):425–32.
103. Ainsworth B, Cahalin L, Buman M, Ross R. The Current State of Physical Activity Assessment Tools. *Prog Cardiovasc Dis.* 2015;57(4):387–95.
104. Vanhelst J. Physical activity assessment using accelerometry. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2019;67(2):126–34.
105. Sternfeld B, Goldman-Rosas L. A systematic approach to selecting an appropriate measure of self-reported physical activity or sedentary behavior. *J Phys Act Health.* 2012;9 Suppl 1(Suppl 1):19–28.
106. Ayán Pérez C, Sánchez Lastra A, Cancela Carral JM, Valcarce Sánchez R. Cuestionarios de actividad física para niños y adolescentes españoles: una revisión sistemática. *An Sist Sanit Navar.* 2016;39(3):417–28.
107. Molina S, Paez A, Peña N. Actividad Física en Niños de Colegios Públicos de Valledupar y su relación con aspectos sociodemográficos. Proyecto para optar por el título de Fisioterapeuta. Universidad de Santander; 2018.
108. Richardson D, Cavill N, Ells L, Roberts K. Measuring Diet and Physical Activity in Weight Management Interventions: A Briefing Paper. *Natl Obes Obs.* 2011;(March):1–28.
109. -González M, Bagur-Calafat ;, Girabent-Farrés. Original Fiabilidad De La Versión Española Del Cuestionario De Actividad Física Paq-C Reliability Spanish Version

- of Questionnaire of Physical Activity Paq-C. *Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte*. 2017;17(65):139–52.
110. Morera-castro M, Jiménez-díaz J, Araya-vargas G, Herrera-gonzález E, Morera-castro M, Jiménez-díaz J, et al. Cuestionario Pictórico de la Actividad Física Infantil : diseño y validación Cuestionario Pictórico de la Actividad Física Infantil : diseño y validación Pictorial Children ' s Physical Activity Questionnaire : design and validation. *Redalyc,Scielo*. 2018;18(2):22.
 111. Herazo-Beltrán AY, Domínguez-Anaya R. Confiabilidad del cuestionario de actividad física en niños colombianos The reliability of a questionnaire regarding Colombian children's physical activity. *Rev Salud Pública*. 2012;14(5):802–9.
 112. Hackfort D, Schinke RJ, Strauss BBTD of SP, editores. M. En *Academic Press*; 2019. p. 169–92.
 113. Adolph KE, Hoch JE. Motor Development: Embodied, Embedded, Enculturated, and Enabling. *Annu Rev Psychol*. 2019;70(1):141–64.
 114. Hadders-Algra M. Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018;90(May):411–27.
 115. Gerber RJ, Wilks T, Erdie-Lalena C. Developmental milestones: Motor development. *Pediatr Rev*. 2010;31(7):267–77.
 116. Partridge LD, Partridge LD. *Nervous System Actions and Interactions : Concepts in Neurophysiology*. 2003. 497 p.
 117. Marks KP, LaRosa A. Understanding Developmental-Behavioral Screening Measures. *Pediatr Rev*. 2012;33(10):448–58.
 118. Extremera B, Gallegos G, Montero R. Procedimientos e instrumentos para la medición y evaluación del desarrollo motor en el sistema educativo. *J Sport Health Res*. 2010;2(2):63–76.
 119. Mendonça B, Sargent B, Fetters L. Cross-cultural validity of standardized motor development screening and assessment tools: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2016;58(12):1213–22.
 120. Vericat A, Orden AB. Herramientas de screening del desarrollo psicomotor en Latinoamérica. *Rev Chil Pediatr*. 2010;81(5):391–401.
 121. Jurado Castro V, Rebolledo Cobos RC. Análisis De Escalas Para La Evaluación Del Desarrollo Infantil Usadas En América: Una Revisión De Literatura. *Mov Científico*. 2017;10(2):72–82.

122. Henderson, Sheila E., Sugden DA, Barnett AL. Bateria de evaluación del movimiento para niños - 2 (MABC-2). Segunda. Madrid, España: Pearson Education; 2007. 206 p.
123. Wiart L, Darrah J. Review of four tests of gross motor development. *Dev Med Child Neurol.* 2007;43(4):279–85.
124. Avila Correa FJ, Barbosa N. Desarrollo motriz y actividad física en niños de 8 a 12 años de básica primaria: una revisión sistemática. *EFDeportes.com Rev Digit B Aires Año 17 N° 176.* 2013;17(176).
125. Hestbaek L, Andersen ST, Skovgaard T, Olesen LG, Elmose M, Bleses D, et al. Influence of motor skills training on children's development evaluated in the Motor skills in PreSchool (MiPS) study-DK: Study protocol for a randomized controlled trial, nested in a cohort study. *Trials.* 2017;18(1):1–11.
126. Sampieri R. Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill Education. 2014.
127. García Herrera SY. Verticalidades y horizontalidades en la configuración de la Sabana Occidente como puerto seco de Bogotá. *Territorios.* 2019;(41):197–222.
128. Moscoso Castañeda DP. Medición del nivel de ansiedad en personas con desórdenes vestibulares mediante escalas de autopercepción versus respuesta autonómica. Universidad Nacional de Colombia; 2019.
129. Kowalski KC, Crocker PRE, Donen RM. The Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-C) and Adolescents (PAQ-A) Manual The Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-C) and Adolescents (PAQ-A) Manual [Internet]. College of Kinesiology, University of Saskatchewan; 2004. Disponible en: https://www.prismsports.org/UserFiles/file/PAQ_manual_ScoringandPDF.pdf
130. -González M, Bagur-Calafat ;, Girabent-Farrés. Original Fiabilidad De La Versión Española Del Cuestionario De Actividad Física Paq-C Reliability Spanish Version of Questionnaire of Physical Activity Paq-C. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte.* 2017;17(65):139–52.
131. Aslan D, Köksal Akyol A. PERSPECTIVE TAKING TEST FOR CHILDREN (PTC). *KEFAD.* 2017;17(3):207–21.
132. Jansen P, Schmelter A, Quaiser-Pohl C, Neuburger S, Heil M. Mental rotation performance in primary school age children: Are there gender differences in chronometric tests? *Cogn Dev.* enero de 2013;28(1):51–62.
133. Cooper J, Siegfried K, Ahmed A. BrainBloX: Brain and Biomechanics Lab in a Box Software [Internet]. Colorado, United States: Neuromechanics Laboratory, University of Colorado Boulder; 2014. Disponible en: <http://www.colorado.edu/neuromechanics/research/wii-balance-board-project>

134. Schober P, Boer C, Schwarte L. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg.* el 1 de febrero de 2018;126:1.
135. R Core Team. The R Project for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria.: R Foundation for Statistical Computing; 2021. Disponible en: <https://www.R-project.org/>.
136. Nuremberg TI de. Código de Núremberg. 1947.
137. Asociación Médica Mundial/Asociación. Declaración de Helsinki. 1964.
138. COMISIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SUJETOS HUMANOS DIBYDC. EL INFORME BELMONT: PRINCIPIOS Y GUÍAS ÉTICOS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SUJETOS HUMANOS DE INVESTIGACIÓN. o. 1979.
139. Ministerio de Salud C. Resolución Número 8430 de 1993. Bogotá; 1993 oct.
140. Benítez-Porres J. Cut-off values for classifying active children and adolescents using the Physical Activity Questionnaire: PAQ-C and PAQ-A. *Nutr Hosp.* 2016;33(5):1036–44.
141. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics.* 1977;33(1):159–74.
142. Janse RJ, Hoekstra T, Jager KJ, Zoccali C, Tripepi G, Dekker FW, et al. Conducting correlation analysis: important limitations and pitfalls. *Clin Kidney J.* el 1 de noviembre de 2021;14(11):2332–7.
143. Colombia Perfil Población 2019 [Internet]. Indexmundi. 2019 [citado el 3 de febrero de 2022]. Disponible en: https://www.indexmundi.com/es/colombia/poblacion_perfil.html
144. Corral A. ¿Cuántos zurdos hay en el planeta? Este estudio desvela el porcentaje real [Internet]. *elconfidencial.com.* 2020 [citado el 3 de febrero de 2022]. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2020-04-06/cuantos-zurdos-planeta-mayor-estudio-porcentaje_2535896/
145. Cervantes De la Torre K, Amador Rodero E, Arrazola David M. Nivel de actividad física en niños de edades de 6 a 12 años en algunos colegios de Barranquilla-Colombia, en el año 2014-2015. *Biociencias.* el 5 de enero de 2017;12(1):17–23.
146. Physical activity [Internet]. [citado el 3 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
147. de Milander M, du Plessis AM, Coetzee FF. Usefulness of movement ABC-2 checklist and developmental coordination disorder questionnaire'07 for parents as screening tools to identify developmental coordination disorder in grade 1 learners. *South Afr J Res Sport Phys Educ Recreat.* 2019;41(2):29–44.

148. Escabí M. Chapter 11 - Biosignal Processing. En: Enderle JD, Bronzino JD, editores. Introduction to Biomedical Engineering (Third Edition) [Internet]. Boston: Academic Press; 2012. p. 667–746. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123749796000113>
149. Stanek E, Truszczyńska A, Drzał-Grabiec J, Tarnowski A. Postural balance assessment in children aged 7 to 9 years, as related to body weight, height, and physical activity. *Biomed Hum Kinet*. 2015;7(1).
150. Lara S, Graup S, Balk RDS, Teixeira LP, Farias AD, Alves GB, et al. Association between postural balance and anthropometric indexes in elementary schoolchildren. *Rev Paul Pediatr*. 2018;36(1):59–65.
151. Sobota G, Bacik B, Błaszczuk J. Classification of the preferred velocity in normal human walk. 2008.
152. Promsri A, Haid T, Federolf P. How does lower limb dominance influence postural control movements during single leg stance? *Hum Mov Sci*. el 1 de abril de 2018;58:165–74.
153. Kędziorek J, Błażkiewicz M. Nonlinear Measures to Evaluate Upright Postural Stability: A Systematic Review. *Entropy*. el 30 de noviembre de 2020;22(12):1357.
154. Gurses S, Celik H. Correlation dimension estimates of human postural sway. *Hum Mov Sci*. febrero de 2013;32(1):48–64.
155. Caballero C, Barbado D, Moreno FJ. El procesado del desplazamiento del centro de presiones para el estudio de la relación complejidad/rendimiento observada en el control postural en bipedestación. *Rev Andal Med Deporte*. 2013;6(3):101–7.
156. Montesinos L, Castaldo R, Pecchia L. On the use of approximate entropy and sample entropy with centre of pressure time-series. *J NeuroEngineering Rehabil*. diciembre de 2018;15(1):116.
157. Donker SF, Ledebt A, Roerdink M, Savelsbergh GJP, Beek PJ. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res*. el 1 de enero de 2008;184(3):363–70.
158. Algaba del Castillo J, de la Cruz Torres B, Naranjo Orellana J, Centeno Prada RA, Beas Jiménez J de D. Análisis del equilibrio estático en sujetos sanos mediante el cálculo de la entropía muestral. *Rev Andal Med Deporte*. el 1 de diciembre de 2008;1(3):98–101.
159. Goldberger AL, Peng CK, Lipsitz LA. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiol Aging*. enero de 2002;23(1):23–6.

160. Teresa Blázquez M, Anguiano M, de Saavedra FA, Lallena AM, Carpena P. Characterizing the human postural control system using detrended fluctuation analysis. *J Comput Appl Math.* enero de 2010;233(6):1478–82.
161. Liu K, Wang H, Xiao J, Taha Z. Analysis of Human Standing Balance by Largest Lyapunov Exponent. *Comput Intell Neurosci.* 2015;2015:1–10.
162. Munion AK, Stefanucci JK, Rovira E, Squire P, Hendricks M. Gender differences in spatial navigation: Characterizing wayfinding behaviors. *Psychon Bull Rev.* el 1 de diciembre de 2019;26(6):1933–40.
163. Sneider JT, Hamilton DA, Cohen-Gilbert JE, Crowley DJ, Rosso IM, Silveri MM. Sex differences in spatial navigation and perception in human adolescents and emerging adults. *Behav Processes.* 2014/11/25 ed. febrero de 2015;111:42–50.
164. Boone AP, Gong X, Hegarty M. Sex differences in navigation strategy and efficiency. *Mem Cognit.* el 1 de agosto de 2018;46(6):909–22.
165. Aznar Laín S, Webster T. Conceptos importantes en materia de Actividad Física y de Condición Física. En: *Actividad Física y Salud en la Infancia y la Adolescencia* [Internet]. 1a ed. España: Gobierno de Sanidad de España; 2016 [citado el 6 de febrero de 2022]. p. 11. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/proteccionSalud/adultos/actiFisica/docs/capitulo1_Es.pdf
166. Morawietz C, Muehlbauer T. Effects of Physical Exercise Interventions on Spatial Orientation in Children and Adolescents: A Systematic Scoping Review. *Front Sports Act Living* [Internet]. 2021 [citado el 6 de febrero de 2022];3. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fspor.2021.664640>
167. Singh AS, Saliassi E, Berg V van den, Uijtdewilligen L, Groot RHM de, Jolles J, et al. Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: a novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *Br J Sports Med.* el 1 de mayo de 2019;53(10):640–7.
168. Verbecque E, Vereeck L, Hallemans A. Postural sway in children: A literature review. *Gait Posture.* septiembre de 2016;49:402–10.
169. Schedler S, Kiss R, Muehlbauer T. Age and sex differences in human balance performance from 6-18 years of age: A systematic review and meta-analysis. Neto MG, editor. *PLOS ONE.* el 9 de abril de 2019;14(4):e0214434.
170. Nolan L, Grigorenko A, Thorstensson A. Balance control: Sex and age differences in 9- to 16-year-olds. *Dev Med Child Neurol.* el 1 de julio de 2005;47:449–54.
171. Smith AW, Ulmer FF, Wong DP. Gender Differences in Postural Stability Among Children. *J Hum Kinet.* el 4 de julio de 2012;33:25–32.

172. Erkut Atilgan O. Relationships between perceptual-motor skills and postural balance in nine years old boys. *Educ Res Rev* [Internet]. el 26 de septiembre de 2012 [citado el 6 de febrero de 2022];7(24). Disponible en: <http://www.academicjournals.org/err/abstracts/abstracts2012/26%20Sept/Atilgan.htm>
173. Anderson N, Button C. Development of Static Postural Control: An Overview and Summary of Entropy Analysis. *J Mot Learn Dev*. el 1 de junio de 2017;5(1):126–47.
174. Basso D. Spatial Navigation. *Cogn Process*. noviembre de 2008;9(4):227–8.
175. Bassett DS, Khambhati AN, Grafton ST. Emerging Frontiers of Neuroengineering: A Network Science of Brain Connectivity. *Annu Rev Biomed Eng*. el 21 de junio de 2017;19:327–52.
176. Sporns O. Graph theory methods: applications in brain networks. *Dialogues Clin Neurosci*. junio de 2018;20(2):111–21.
177. De Vico Fallani F, Richiardi J, Chavez M, Achard S. Graph analysis of functional brain networks: practical issues in translational neuroscience. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. el 5 de octubre de 2014;369(1653):20130521.