

# Estabilidad postural, función cognitiva y marcha: correlaciones neurofisiológicas en el adulto mayor



El libro “**ESTABILIDAD POSTURAL, FUNCIÓN COGNITIVA Y MARCHA: CORRELACIONES NEUROFISIOLÓGICAS EN EL ADULTO MAYOR**” está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas “*double-blind paper review*” registrados en la base de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libro No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

**ISBN\_978-9942-595-06-5**

Primera edición, marzo 2026

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital**.

El libro queda en propiedad de la editorial y por tanto su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital**.



**Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador**

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: [www.cienciadigitaleditorial.com](http://www.cienciadigitaleditorial.com)

w: <http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

e: [luisefrainvelastegui@cienciadigital.org](mailto:luisefrainvelastegui@cienciadigital.org)

## AUTORES

# AUTORES

- **Fabian Andrés Contreras Jauregui**  
(Universidad del Atlántico)
- **Mariano Salleg Cabarcas**  
(Universidad de Córdoba)
- **Fernando Antonio De La Espriella Arenas**  
(Universidad de Córdoba)
- **Luis Efraín Velastegui López**  
(Ciencia Digital Editorial)

 **CIENCIA DIGITAL EDITORIAL**

La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C. Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No. 663.

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.


El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación


Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0 y en diferentes bases de datos y repositorios: **Ciencia Digital** (ISSN 2602-8085), **Visionario Digital** (ISSN 2602-8506), **Explorador Digital** (ISSN 2661-6831), **Conciencia Digital** (ISSN 2600-5859), **Anatomía Digital** (ISSN 2697-3391) & **Alfa Publicaciones** (ISSN 2773-7330).

**ISBN: 978-9942-595-06-3 Versión Electrónica**

-  Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



 Efraín Velasteguí López<sup>1</sup>

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: [www.cienciadigitaleditorial.com](http://www.cienciadigitaleditorial.com)

e: [luisefrainvelastegui@cienciadigital.org](mailto:luisefrainvelastegui@cienciadigital.org)

Editora Ejecutiva

Dr. Tatiana Carrasco R.

Director General

Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

---

<sup>1</sup> **Efraín Velasteguí López:** Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 120 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 16 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

**EJEMPLAR GRATUITO  
PROHIBIDA SU VENTA**

El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice con fines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial.

## PROLOGO

El presente libro, titulado *Estabilidad postural, función cognitiva y marcha: correlaciones neurofisiológicas en el adulto mayor*, constituye una obra fruto de la reflexión científica, pedagógica y humana sobre los procesos biológicos, cognitivos y motores que definen el envejecimiento. En un mundo caracterizado por el aumento progresivo de la esperanza de vida, comprender la relación entre el cerebro, el movimiento y la estabilidad corporal se convierte en un imperativo no solo médico, sino también educativo y social.

El texto nace de la confluencia entre las neurociencias, la gerontología y la educación física, tres campos que, al entrelazarse, permiten ofrecer una visión integral del ser humano en su etapa de madurez. Desde una perspectiva interdisciplinaria, se propone un análisis profundo de los fundamentos fisiológicos del envejecimiento, de los cambios estructurales del sistema nervioso y de los mecanismos sensoriomotores que regulan la estabilidad postural y la marcha. Cada capítulo está orientado a demostrar que el cuerpo y la mente actúan como una unidad funcional y dinámica, donde la cognición guía el movimiento, y el movimiento, a su vez, fortalece la cognición.

La obra no se limita a exponer teorías o resultados empíricos; busca, además, ofrecer una mirada humanista sobre la vejez como una etapa de crecimiento interior, plasticidad cerebral y potencial de aprendizaje. La vejez no representa la decadencia, sino la posibilidad de reorganizar la vida desde nuevas formas de equilibrio físico y emocional. Por ello, este libro aspira a convertirse en una herramienta formativa para profesionales de la educación física, la fisioterapia, la neuropsicología y la rehabilitación, que encuentran en el movimiento una vía para preservar la autonomía y la dignidad del adulto mayor.

En el contexto latinoamericano, donde los desafíos de la inclusión y la salud pública demandan enfoques integrales, este texto propone un modelo de envejecimiento activo sustentado en la ciencia del movimiento y la educación para la salud. Su mensaje central es claro: el ejercicio físico, guiado por la evidencia neurocientífica, constituye una forma de educación del cerebro y del cuerpo que trasciende lo biológico para alcanzar lo ético, lo social y lo espiritual.

---

## RESUMEN

El libro *Estabilidad postural, función cognitiva y marcha: correlaciones neurofisiológicas en el adulto mayor* examina, desde una perspectiva interdisciplinaria, las interacciones entre los sistemas nervioso, sensorial y musculoesquelético en la regulación del equilibrio, la postura y la locomoción durante el proceso de envejecimiento. A través de un enfoque integrador, el autor analiza los mecanismos biológicos, neurológicos y cognitivos que sustentan la estabilidad corporal, demostrando cómo la actividad física, la estimulación cognitiva y la educación motriz pueden modular los efectos del deterioro funcional asociado a la edad.

La obra aborda los procesos fisiológicos y neuropsicológicos del envejecimiento, explicando cómo las transformaciones estructurales del cerebro y del sistema musculoesquelético repercuten en la movilidad, la coordinación y la percepción del espacio. Se estudian los mecanismos sensoriales y neuromusculares del equilibrio, la función del cerebelo y de los ganglios basales en el control motor, y la importancia del aprendizaje motor en la preservación de la funcionalidad. Desde la neurociencia del movimiento, se discute la relación entre las funciones ejecutivas, la memoria de trabajo, la atención y la planificación motora, y cómo su deterioro incrementa el riesgo de caídas y dependencia funcional.

Asimismo, el texto integra teorías cognitivas y psicosociales del envejecimiento que explican la interacción entre los aspectos mentales, emocionales y sociales de la vejez. Se presenta la evidencia científica que demuestra que la práctica sistemática de ejercicio físico estimula la plasticidad cerebral, incrementa los niveles de factores neurotróficos como el BDNF y favorece la reorganización funcional del sistema nervioso. De esta manera, el libro plantea que el envejecimiento activo es posible mediante la integración de programas de educación física adaptada que promuevan el bienestar cognitivo y motor.

Finalmente, el autor invita a repensar la educación física como una ciencia del movimiento humano al servicio del envejecimiento digno, donde el cuerpo se convierte en un medio de expresión cognitiva y emocional. El libro representa una síntesis entre ciencia, pedagogía y ética, ofreciendo herramientas teóricas y

prácticas para mejorar la calidad de vida, la autonomía y la salud integral del adulto mayor.

**Palabras clave:** envejecimiento, estabilidad postural, función cognitiva, marcha, neuroplasticidad, educación física, equilibrio.

## ABSTRACT

The book *Postural Stability, Cognitive Function, and Gait: Neurophysiological Correlations in Older Adults* presents an interdisciplinary exploration of the neurobiological, psychological, and pedagogical foundations that explain the relationship between brain function, movement, and postural control during aging. Through an integrative perspective, it examines the interactions among the nervous, sensory, and musculoskeletal systems that sustain balance and functional mobility, emphasizing how physical activity and cognitive stimulation can modulate age-related decline.

The text analyzes the physiological and neurological processes of aging, focusing on how structural and biochemical changes in the brain affect cognition, coordination, and gait performance. It also discusses the sensory and neuromuscular mechanisms underlying postural stability, the role of the cerebellum and basal ganglia in motor control, and the impact of executive and attentional functions on motor performance. Current scientific evidence highlights that regular physical activity enhances neuroplasticity, increases brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels, and supports the maintenance of cognitive and motor abilities in late life.

In addition, the work incorporates cognitive and psychosocial theories of aging, demonstrating that aging is not a process of decline but a phase of reorganization and adaptation. The author advocates for a holistic view of physical education, where movement serves as both a cognitive and emotional expression, fostering autonomy, resilience, and quality of life among older adults. This book thus represents a synthesis of neuroscience, motor learning, and education, offering a scientific foundation for promoting active and healthy aging.

**Keywords:** aging, postural stability, cognitive function, gait, neuroplasticity, physical education, balance.

## ÍNDICE

INTRODUCCION .....	13
CAPÍTULO 1 .....	16
CAPÍTULO 2 .....	31
ESTABILIDAD POSTURAL Y CONTROL MOTOR.....	31
CAPÍTULO 3 .....	39
FUNCIÓN COGNITIVA Y SU RELACIÓN CON EL MOVIMIENTO .....	39
CAPÍTULO 4 .....	55
LA MARCHA COMO INDICADOR FUNCIONAL Y NEUROLÓGICO .....	55
CAPÍTULO 5 .....	67
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	67
CAPÍTULO 6 .....	75
POBLACIÓN, MUESTRA Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN .....	75
CAPITULO 7 .....	79
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	79
CAPÍTULO 8 .....	83
PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	83
CAPÍTULO 9 .....	92
RESULTADOS DEL ESTUDIO .....	92
CAPÍTULO 10 .....	105
DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS HALLAZGOS .....	105
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES .....	119
REFERENCIAS.....	122

## INTRODUCCION

El envejecimiento humano constituye un proceso biológico y social de gran complejidad que involucra la interacción entre factores genéticos, ambientales, psicológicos y culturales. En la actualidad, el incremento de la población adulta mayor exige una comprensión más profunda de los mecanismos que determinan la funcionalidad y la autonomía en esta etapa de la vida. Entre los elementos más determinantes se encuentran la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha, tres componentes interdependientes que reflejan el estado integral del sistema nervioso, muscular y sensorial (Erickson et al., 2020; OMS, 2022).

La estabilidad postural es el fundamento biomecánico y neurológico de la movilidad humana. Mantener el equilibrio implica un diálogo constante entre los sistemas vestibular, visual y propioceptivo, que proporcionan al cerebro la información necesaria para regular la posición y el movimiento del cuerpo. Con el envejecimiento, la eficiencia de estos sistemas se ve comprometida, lo que aumenta el riesgo de inestabilidad y caídas. Sin embargo, la investigación reciente ha demostrado que la práctica sistemática de ejercicio físico, especialmente aquel que combina fuerza, coordinación y atención, puede reactivar los mecanismos de compensación y restaurar la funcionalidad motriz (Granacher et al., 2021; Horak, 2021).

La función cognitiva, por su parte, desempeña un papel esencial en el control motor. La atención, la memoria y las funciones ejecutivas permiten planificar, anticipar y ajustar los movimientos según las demandas del entorno. El deterioro cognitivo leve o las alteraciones en la función ejecutiva se asocian con una reducción significativa en la capacidad de mantener el equilibrio y con una mayor incidencia de caídas (Montero-Odasso et al., 2021). En consecuencia, la comprensión del vínculo entre cognición y movimiento es indispensable para diseñar estrategias de prevención y rehabilitación que favorezcan la independencia del adulto mayor.

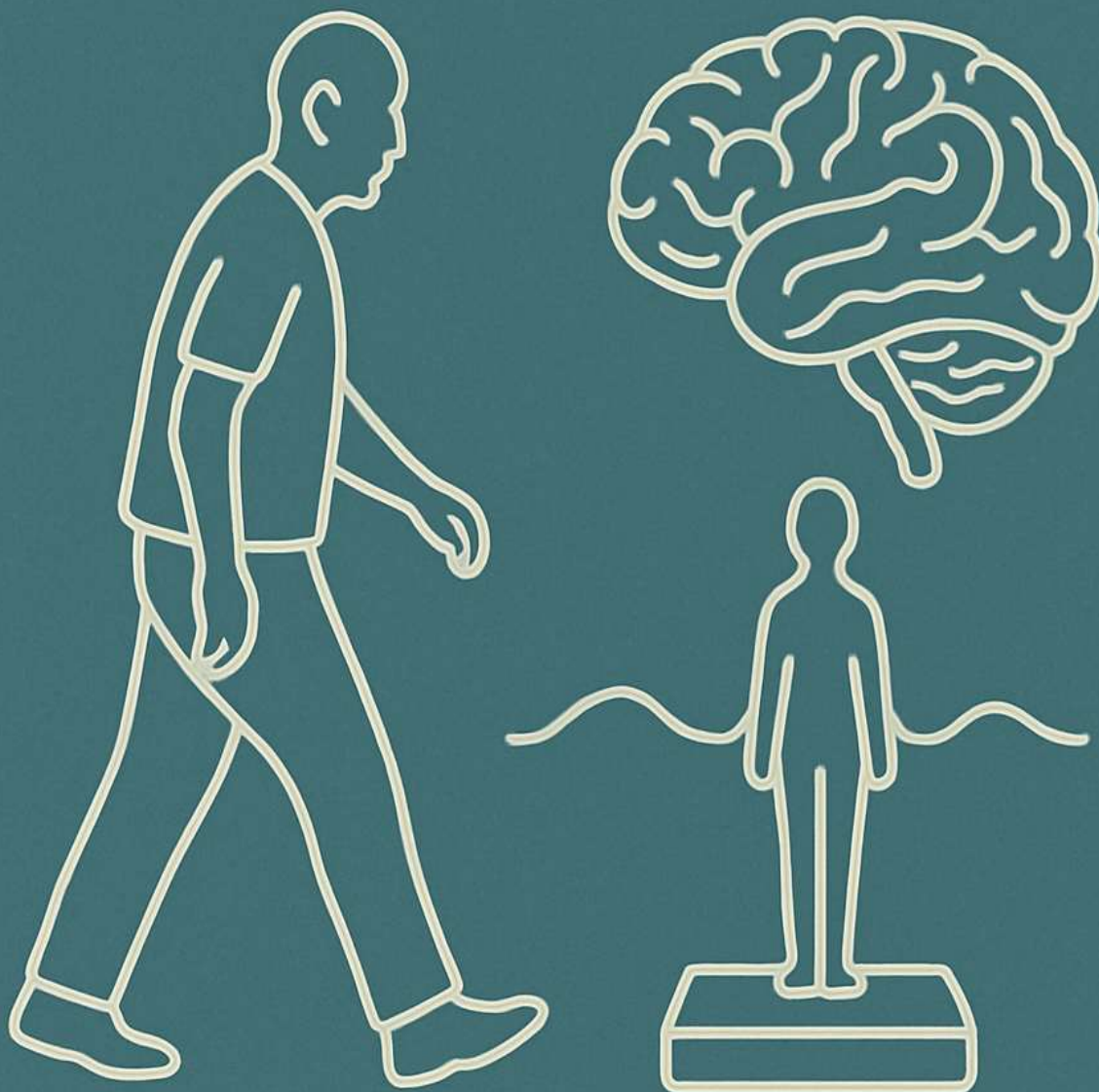
La marcha, entendida como una expresión compleja de la coordinación neuromotora, sintetiza la interacción entre los sistemas nervioso, muscular y cognitivo. Su deterioro no solo limita la movilidad, sino que también afecta la autoestima, la participación social y la calidad de vida. Por ello, el análisis de la

marcha desde una perspectiva neurofisiológica ofrece información valiosa sobre el estado de salud cerebral y la capacidad adaptativa del individuo (Hunter et al., 2022). La marcha, además, constituye un indicador funcional del envejecimiento activo, pues integra la postura, el equilibrio, la fuerza y la cognición en una misma acción motriz.

El presente libro tiene como propósito examinar las correlaciones neurofisiológicas entre la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha, proponiendo un modelo de comprensión integral del envejecimiento basado en la educación física y las neurociencias. A lo largo de sus capítulos, se desarrolla un recorrido desde los fundamentos biológicos del envejecimiento hasta las estrategias pedagógicas para la intervención motriz. Se abordan las teorías biológicas, cognitivas y psicosociales del envejecimiento; los mecanismos sensoriales y neuromusculares de la estabilidad; los procesos cognitivos del control motor; y la influencia de la plasticidad cerebral en la preservación de las funciones ejecutivas.

El enfoque que guía esta obra es ecológico, interdisciplinario y humanista. Ecológico, porque considera la interacción del individuo con su entorno físico y social; interdisciplinario, porque integra la biología, la neurociencia, la psicología y la pedagogía del movimiento; y humanista, porque reconoce en el envejecimiento una oportunidad de crecimiento interior, aprendizaje y trascendencia. La actividad física es presentada no solo como un medio para conservar la salud, sino como una forma de educación del cuerpo y de la mente, donde el movimiento actúa como herramienta terapéutica, cognitiva y emocional.

En síntesis, esta introducción invita al lector a comprender el envejecimiento como una etapa de reorganización funcional, donde la neuroplasticidad, la educación y el ejercicio convergen para mantener la autonomía y la dignidad del ser humano. El movimiento, en su dimensión biológica y simbólica, se erige así como el eje central de la vida, del pensamiento y de la existencia en el adulto mayor.





# **CAPÍTULO I**

**ENVEJECIMIENTO  
HUMANO: PROCESOS  
BIOLÓGICOS Y  
NEUROPSICOLÓGICOS**

## Conceptualización de Envejecimiento

El envejecimiento es un proceso biológico, psicológico y social inevitable que acompaña al ser humano a lo largo de su ciclo vital. No constituye una enfermedad, sino una etapa natural caracterizada por la disminución progresiva de la capacidad funcional y la adaptabilidad del organismo frente a los estímulos del entorno. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), el envejecimiento saludable implica mantener un equilibrio entre la capacidad intrínseca del individuo resultado de la interacción entre sus sistemas fisiológicos y mentales y las condiciones del entorno que facilitan su autonomía y bienestar.

Desde una perspectiva científica, el envejecimiento se define como un proceso multidimensional que involucra alteraciones estructurales y funcionales en los tejidos y órganos, acompañadas de modificaciones conductuales y cognitivas (Ferrucci et al., 2021). Estas transformaciones se expresan de manera diferente en cada individuo, debido a la influencia combinada de factores genéticos, ambientales, culturales y de estilo de vida. En el campo de la educación física, comprender este proceso resulta fundamental para diseñar programas de actividad adaptados a las necesidades del adulto mayor.

El envejecimiento, en el contexto de la salud y la educación física, representa un desafío para las sociedades contemporáneas, en especial aquellas con un incremento sostenido de la población mayor de 60 años. La literatura científica ha demostrado que la calidad del envejecimiento está estrechamente relacionada con los hábitos de vida adoptados durante la adultez temprana, destacando la práctica regular de ejercicio físico, la nutrición equilibrada y la estimulación cognitiva como pilares de un envejecimiento activo (Nelson et al., 2023).

Históricamente, el envejecimiento fue considerado un fenómeno negativo asociado con la decadencia física y mental; sin embargo, los enfoques actuales, apoyados en la gerontología y las neurociencias, lo interpretan como una fase dinámica en la que persisten capacidades de aprendizaje, adaptación y desarrollo (Baltes & Baltes, 1990; Fernández-Ballesteros, 2021). Este cambio de paradigma ha impulsado la creación de políticas públicas orientadas al

envejecimiento activo y saludable, donde la educación física cumple un papel central en la promoción de la autonomía funcional.

Desde la biología, el envejecimiento es un proceso caracterizado por la acumulación de daños moleculares que afectan la homeostasis del organismo. Las células pierden gradualmente su capacidad de dividirse, repararse y responder a los estímulos externos, lo que conduce a una pérdida de la reserva funcional (López-Otín et al., 2023). Este deterioro progresivo, sin embargo, puede ser modulado por intervenciones relacionadas con la actividad física y la nutrición, que actúan sobre mecanismos de regeneración y plasticidad celular.

En el ámbito psicológico, el envejecimiento se asocia con la reconfiguración de la identidad personal y social, así como con la adaptación emocional a los cambios corporales y cognitivos. Teorías recientes destacan la importancia de la resiliencia, la autoeficacia y la percepción positiva de la edad como factores protectores frente al deterioro funcional (Carstensen & Mikels, 2020). En la práctica educativa y deportiva, estos componentes influyen en la adherencia a programas de ejercicio y en la disposición a mantener una vida activa.

El envejecimiento también se interpreta desde un punto de vista social, donde las redes de apoyo, la participación comunitaria y el acceso a servicios de salud y educación determinan la calidad de vida del adulto mayor. Las desigualdades socioeconómicas y culturales influyen en la forma en que los individuos envejecen, generando brechas en la salud física y mental (Hernández & Paredes, 2021). Por ello, la intervención educativa en el campo de la actividad física debe integrar componentes sociales y comunitarios que promuevan la inclusión y la equidad.

La conceptualización contemporánea del envejecimiento incorpora el término *envejecimiento activo*, acuñado por la OMS, que lo define como el proceso de optimización de las oportunidades de salud, participación y seguridad con el fin de mejorar la calidad de vida a medida que las personas envejecen (OMS, 2022). En este sentido, la educación física contribuye al mantenimiento de la funcionalidad física, al fortalecimiento de las capacidades cognitivas y al fomento del bienestar emocional.

Desde la perspectiva pedagógica, la educación física en el adulto mayor no solo busca conservar la movilidad y la fuerza, sino también promover la autopercepción positiva del cuerpo y la integración social. Este enfoque integral, sustentado en la alfabetización motriz y la neuroeducación, concibe el movimiento como medio de desarrollo cognitivo y emocional, favoreciendo la autorregulación y la autoestima (Contreras et al., 2024).

La conceptualización del envejecimiento debe ser entendida, además, dentro de los marcos ecológicos del desarrollo humano, como el propuesto por Bronfenbrenner (1979), que reconoce la interacción entre el individuo y los múltiples contextos en los que se desenvuelve. Bajo esta mirada, la salud y la funcionalidad del adulto mayor dependen tanto de los factores biológicos como de los sistemas sociales, culturales y educativos que lo rodean.

El envejecimiento activo implica la interacción entre la actividad física y las funciones cognitivas, un vínculo demostrado ampliamente por la neurociencia moderna. La práctica regular de ejercicio estimula la neurogénesis, la angiogénesis y la liberación de factores neurotróficos que favorecen la preservación de las capacidades mentales y motoras (Erickson et al., 2020). Por tanto, el envejecimiento no debe concebirse como un proceso lineal de deterioro, sino como una oportunidad para la reorganización funcional del sistema nervioso.

En el plano social, las políticas públicas orientadas al envejecimiento saludable buscan promover entornos inclusivos que estimulen la actividad física y la participación comunitaria. La educación física, desde una perspectiva de salud pública, se convierte en un medio para reducir la dependencia funcional, prevenir caídas y fortalecer la autonomía del adulto mayor (Ministerio de Salud de Colombia, 2023).

A nivel conceptual, el envejecimiento puede clasificarse en tres tipos: biológico, psicológico y social. El envejecimiento biológico se relaciona con la pérdida de eficiencia fisiológica; el psicológico, con los cambios en la cognición, la emoción y la motivación; y el social, con las transformaciones en los roles y relaciones interpersonales (Papalia & Feldman, 2021). Esta clasificación permite una

comprensión integral del proceso y su abordaje interdisciplinar en el campo de la salud y la educación física.

El envejecimiento exitoso, término propuesto por Rowe y Kahn (1997), enfatiza tres componentes fundamentales: baja probabilidad de enfermedad, mantenimiento de la capacidad funcional y participación activa en la vida. Este modelo se ha complementado con la visión contemporánea del envejecimiento productivo y saludable, donde la educación física juega un rol determinante al promover la autonomía, la movilidad y la participación social.

En síntesis, el envejecimiento debe entenderse como un proceso dinámico, modulable y contextual, donde los factores biológicos, psicológicos y sociales interactúan de forma permanente. La conceptualización actual destaca la importancia de la actividad física y la educación para la salud como estrategias esenciales para prolongar la funcionalidad, la independencia y la calidad de vida del adulto mayor. Por ello, el enfoque interdisciplinar entre gerontología, neurociencia y educación física constituye una vía esencial para enfrentar los retos del envejecimiento poblacional en el siglo XXI.

### **Cambios fisiológicos asociados con la edad**

El envejecimiento se caracteriza por un conjunto de modificaciones fisiológicas que afectan progresivamente la estructura y la función de los distintos sistemas corporales. Estos cambios, aunque universales, se manifiestan con diferente intensidad según los hábitos de vida, el nivel de actividad física y los factores genéticos del individuo. Desde la perspectiva de la educación física, comprender los procesos fisiológicos del envejecimiento es esencial para adaptar los programas de ejercicio a las capacidades y limitaciones del adulto mayor (Jiménez & Serrano, 2022).

El sistema cardiovascular experimenta una de las transformaciones más evidentes con el paso del tiempo. El miocardio pierde elasticidad y aumenta su grosor, lo que reduce la eficiencia de la contracción y el gasto cardíaco máximo. Asimismo, las arterias tienden a endurecerse, generando un aumento en la presión arterial sistólica y una menor capacidad de respuesta ante el ejercicio (Seals et al., 2021). Estas alteraciones exigen estrategias de entrenamiento

aeróbico moderado que fortalezcan la función cardiovascular sin generar sobrecarga.

En el sistema respiratorio, el envejecimiento provoca una disminución en la elasticidad pulmonar, un aumento del espacio muerto alveolar y una reducción en la capacidad vital. Tales cambios repercuten en la oxigenación tisular y en la eficiencia del intercambio gaseoso durante la actividad física. Sin embargo, se ha demostrado que los ejercicios de resistencia respiratoria y las prácticas aeróbicas controladas pueden mejorar la capacidad ventilatoria y la tolerancia al esfuerzo (López & Contreras, 2023).

El sistema musculoesquelético presenta una pérdida gradual de masa y fuerza muscular, fenómeno conocido como sarcopenia. Este proceso se asocia con una reducción en el número y tamaño de las fibras musculares, especialmente las tipo II, responsables de la fuerza explosiva. La disminución de la masa ósea, o desmineralización, conduce a la fragilidad estructural y al riesgo de fracturas. No obstante, el entrenamiento de resistencia y la actividad física regular pueden retardar significativamente estos efectos (Cruz-Jentoft et al., 2022).

La función articular también se ve comprometida por la degeneración del cartílago y la reducción de la producción de líquido sinovial. Estos cambios disminuyen la movilidad y aumentan el riesgo de dolor y rigidez. En el ámbito de la educación física, las actividades que promueven la amplitud de movimiento, como el yoga, el tai chi o la gimnasia suave, son esenciales para mantener la flexibilidad y prevenir la dependencia funcional (Rebelo et al., 2021).

A nivel metabólico, el envejecimiento conlleva una disminución del metabolismo basal y una menor eficiencia en el uso de la glucosa. Esto puede incrementar el riesgo de resistencia a la insulina y de enfermedades metabólicas, como la diabetes tipo 2. El ejercicio físico desempeña un papel regulador al mejorar la sensibilidad insulínica y estimular la oxidación de lípidos, contribuyendo al mantenimiento del peso corporal y al equilibrio energético (Nelson et al., 2023).

El sistema endocrino experimenta alteraciones significativas con la edad, especialmente en la secreción de hormonas anabólicas como la testosterona, el estrógeno, la hormona del crecimiento y la insulina. Estas reducciones

hormonales se asocian con la pérdida de masa muscular, aumento del tejido adiposo y disminución de la densidad ósea (Fabbri et al., 2020). Por tanto, las estrategias de intervención deben incluir programas de ejercicio multicomponente y una nutrición adecuada para mantener la homeostasis hormonal.

El sistema inmunológico también sufre cambios sustanciales, un fenómeno conocido como inmunosenescencia. Se caracteriza por una disminución en la respuesta de las células T y B, lo que reduce la capacidad del organismo para combatir infecciones y responder a las vacunas. Sin embargo, estudios recientes demuestran que la práctica regular de actividad física de intensidad moderada puede fortalecer la función inmunitaria y disminuir los procesos inflamatorios crónicos asociados al envejecimiento (Campbell & Turner, 2021).

El sistema digestivo muestra una menor producción de enzimas y una ralentización del tránsito intestinal. Estos cambios pueden derivar en deficiencias nutricionales y alteraciones en la microbiota intestinal. La integración de hábitos saludables, combinando la educación alimentaria y el ejercicio físico, favorece la motilidad intestinal, la absorción de nutrientes y la prevención del estreñimiento, mejorando la calidad de vida del adulto mayor (Ghosh et al., 2020).

El sistema renal disminuye su capacidad de filtración glomerular y de concentración de orina, afectando la regulación hídrica y electrolítica. Estas alteraciones aumentan la susceptibilidad a la deshidratación y a las infecciones urinarias. En el marco de la educación física, la planificación del ejercicio debe incluir pautas adecuadas de hidratación y control de temperatura para evitar complicaciones durante la práctica (Martínez & Ramírez, 2022).

El sistema sensorial también experimenta un deterioro progresivo. La visión se ve afectada por la presbicia, la opacidad del cristalino y la disminución de la agudeza visual, mientras que la audición presenta pérdida de sensibilidad a frecuencias altas, conocida como presbiacusia. Estos cambios sensoriales influyen directamente en el equilibrio, la orientación espacial y la seguridad durante la actividad física (Rodríguez & Pérez, 2023).

En cuanto al sistema tegumentario, la piel pierde elasticidad y grosor debido a la disminución de colágeno y elastina, mientras que la sudoración se reduce por el deterioro de las glándulas sudoríparas. Estas modificaciones comprometen la regulación térmica, aumentando el riesgo de golpes de calor durante la práctica física. La educación en hábitos de protección solar e hidratación cutánea resulta indispensable en los programas para adultos mayores (Serrano & Delgado, 2022).

El sistema locomotor, en conjunto, experimenta una pérdida de coordinación intermuscular y una reducción de la fuerza funcional. La velocidad de reacción se ralentiza, afectando la capacidad para responder ante estímulos externos, lo que incrementa el riesgo de caídas y lesiones. La práctica sistemática de ejercicios de equilibrio y coordinación, acompañada de una supervisión profesional, puede mejorar la estabilidad postural y prevenir accidentes (García et al., 2024).

En términos de capacidad aeróbica, el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2$  máx.) disminuye aproximadamente un 1 % por año después de los 25 años, y de forma más acentuada en la vejez. No obstante, la investigación evidencia que el entrenamiento de resistencia puede contrarrestar parcialmente esta pérdida, mejorando la función cardiorrespiratoria y prolongando la independencia funcional (Hunter et al., 2022). Este hallazgo refuerza la necesidad de mantener la actividad física como herramienta preventiva y terapéutica.

En síntesis, los cambios fisiológicos asociados con la edad reflejan una reducción general de la reserva funcional de los sistemas corporales. Sin embargo, la evidencia científica demuestra que muchos de estos efectos pueden mitigarse mediante la práctica regular de actividad física, una alimentación equilibrada y la estimulación cognitiva. En la educación física, este conocimiento permite diseñar estrategias pedagógicas orientadas al mantenimiento de la salud, la prevención de enfermedades crónicas y la promoción del bienestar integral en la vejez.

## **Cambios neurológicos asociados con la edad**

El envejecimiento produce transformaciones sustanciales en el sistema nervioso central y periférico que afectan las funciones motoras, cognitivas y sensoriales. Estos cambios se expresan de manera progresiva y están influenciados por factores genéticos, ambientales y conductuales. En la educación física, comprender los mecanismos neurofisiológicos del envejecimiento permite diseñar estrategias de intervención que favorezcan la neuroplasticidad y preserven las funciones ejecutivas, la coordinación y el equilibrio (Cabeza et al., 2022).

A nivel estructural, el cerebro experimenta una disminución gradual de su volumen y peso debido a la pérdida de neuronas y sinapsis, especialmente en las regiones prefrontales, hipocampales y cerebelosas. Esta reducción volumétrica se asocia con el deterioro de la memoria, la atención y la velocidad de procesamiento de la información (Fjell & Walhovd, 2020). No obstante, la evidencia actual demuestra que la práctica regular de ejercicio físico estimula la neurogénesis y la conectividad sináptica, mitigando parcialmente dichos efectos.

En el ámbito funcional, se observa una disminución en la velocidad de transmisión nerviosa, atribuida a la degeneración de la mielina y a la reducción en la densidad axonal. Esto genera una ralentización de los reflejos y de la respuesta motora, afectando la ejecución de movimientos complejos (Hedden et al., 2023). Sin embargo, los programas de entrenamiento motor, especialmente aquellos que combinan coordinación, equilibrio y ritmo, pueden compensar estas limitaciones mediante la reorganización cortical.

El hipocampo, estructura clave en los procesos de memoria y orientación espacial, es una de las regiones más vulnerables al envejecimiento. La reducción en la neurogénesis hipocampal se relaciona con dificultades en la consolidación de recuerdos y en la navegación espacial. La actividad física, en particular los ejercicios aeróbicos, ha demostrado aumentar el volumen del hipocampo y mejorar la memoria espacial, actuando como un potente estímulo neurotrófico (Erickson et al., 2020).

Otro aspecto relevante es la alteración de los neurotransmisores. Con la edad, disminuyen los niveles de dopamina, serotonina y acetilcolina, lo cual incide en la regulación del estado de ánimo, la motivación y la función cognitiva. Este desequilibrio neuroquímico puede contribuir al deterioro motor y a la aparición de trastornos como la depresión o el deterioro cognitivo leve (Bäckman et al., 2021). La actividad física regular actúa sobre estos sistemas modulando la liberación de neurotransmisores y mejorando la comunicación neuronal.

El cerebelo, encargado de la coordinación motora y el equilibrio, también sufre una reducción de volumen y una pérdida de células de Purkinje con el envejecimiento. Este proceso repercute en la precisión de los movimientos y en la estabilidad postural. En este contexto, los programas de ejercicios de equilibrio, propiocepción y fortalecimiento contribuyen a compensar la disminución del control motor y a prevenir caídas (Clark et al., 2022).

La corteza prefrontal, asociada con las funciones ejecutivas como la planificación, la toma de decisiones y la inhibición de respuestas impulsivas, muestra un envejecimiento más acelerado que otras regiones cerebrales. Esta pérdida de eficiencia prefrontal se traduce en dificultades para realizar tareas que requieren atención sostenida o flexibilidad cognitiva (Raz & Lindenberger, 2022). La educación física, a través de actividades que integran componentes motores y cognitivos, puede estimular la plasticidad prefrontal y mantener la capacidad funcional.

El envejecimiento también afecta la integración sensoriomotora, es decir, la capacidad del sistema nervioso para procesar y coordinar la información visual, vestibular y propioceptiva. Esta desincronización genera inestabilidad y torpeza motriz, factores que aumentan el riesgo de caídas en adultos mayores (Menant et al., 2021). Las actividades que combinan ejercicios de equilibrio, marcha y orientación espacial contribuyen a la reintegración sensorial y al mantenimiento de la postura.

Desde la neurociencia del ejercicio, se ha comprobado que la actividad física promueve la liberación de factores neurotróficos como el *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF), que favorece la supervivencia neuronal, la sinaptogénesis y la neuroplasticidad (Duzel et al., 2022). Este proceso es

fundamental para contrarrestar los efectos degenerativos del envejecimiento cerebral y fortalecer las redes neuronales relacionadas con la memoria, el control motor y la cognición.

En conclusión, los cambios neurológicos asociados con la edad reflejan una interacción compleja entre el deterioro estructural, funcional y neuroquímico del sistema nervioso. Sin embargo, la evidencia científica demuestra que la práctica regular de ejercicio físico actúa como un modulador neuroprotector que estimula la plasticidad cerebral, mejora el equilibrio, preserva las funciones cognitivas y retrasa la aparición de trastornos neurodegenerativos. En consecuencia, la educación física adaptada al adulto mayor constituye una herramienta esencial para la promoción de la salud cerebral y el envejecimiento activo.

### **Teorías Biológicas del Envejecimiento**

Las teorías biológicas del envejecimiento buscan explicar los mecanismos celulares y moleculares que conducen al deterioro progresivo del organismo con el paso del tiempo. Desde una perspectiva fisiológica, el envejecimiento no es un proceso uniforme, sino una acumulación de daños que comprometen la homeostasis y reducen la capacidad de adaptación al entorno. En el contexto de la educación física y la salud, comprender estos fundamentos biológicos permite diseñar programas de ejercicio que estimulen los procesos regenerativos y minimicen la degeneración funcional (Campisi et al., 2020).

Una de las teorías más reconocidas es la **teoría del daño oxidativo**, la cual sostiene que el envejecimiento es resultado de la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan proteínas, lípidos y ADN. Este estrés oxidativo genera disfunción mitocondrial, pérdida de energía y aumento de la inflamación celular (Harman, 1956). La práctica regular de actividad física moderada estimula los sistemas antioxidantes endógenos, reduciendo el impacto del daño oxidativo y favoreciendo la longevidad funcional (Radak et al., 2020).

La **teoría mitocondrial** complementa este enfoque al señalar que las mitocondrias, generadoras de energía celular, son particularmente vulnerables al daño acumulativo. La disminución de la eficiencia mitocondrial con la edad

reduce la producción de ATP y aumenta la generación de radicales libres (Sun et al., 2022). En la educación física, el ejercicio aeróbico tiene un papel esencial en la biogénesis mitocondrial, lo que contribuye a mejorar la capacidad metabólica y retardar los signos fisiológicos del envejecimiento.

Otra explicación es la **teoría de la senescencia celular**, que plantea que las células dejan de dividirse después de un número determinado de replicaciones, fenómeno conocido como “límite de Hayflick”. La acumulación de células senescentes provoca un ambiente proinflamatorio y una pérdida de función tisular (López-Otín et al., 2023). En el ámbito de la salud, el ejercicio físico estimula la eliminación de células senescentes mediante mecanismos de autofagia, mejorando la funcionalidad del tejido muscular y cardiovascular.

La **teoría de los telómeros** ofrece otra perspectiva al relacionar la longitud de los telómeros —extremos protectores de los cromosomas— con la longevidad celular. Con cada división celular, los telómeros se acortan, lo que limita la capacidad regenerativa del organismo. El estrés crónico, el sedentarismo y la mala alimentación aceleran este proceso, mientras que el ejercicio regular y las prácticas de manejo del estrés se asocian con una mayor longitud telomérica (Puterman et al., 2021). Esto resalta el valor del movimiento como promotor de longevidad biológica.

La **teoría inmunológica del envejecimiento** señala que con la edad ocurre una disminución de la respuesta inmunitaria y un aumento de la inflamación sistémica crónica, fenómeno denominado *inflammaging* (Franceschi et al., 2018). Este desequilibrio inmunológico incrementa la susceptibilidad a enfermedades infecciosas y metabólicas. Las evidencias científicas demuestran que la práctica física regular modula las citoquinas proinflamatorias y fortalece la inmunocompetencia, reduciendo la vulnerabilidad ante patologías asociadas a la edad.

En síntesis, las teorías biológicas del envejecimiento coinciden en que el deterioro corporal resulta de una combinación de factores genéticos, oxidativos, celulares e inmunológicos. Desde la perspectiva de la educación física, el conocimiento de estos procesos permite diseñar intervenciones basadas en el ejercicio y la nutrición funcional que potencien los mecanismos de reparación,

reduzcan la inflamación y promuevan una longevidad saludable. El movimiento, en este contexto, se convierte en un modulador biológico del envejecimiento activo y digno.

### **Teorías cognitivas y psicosociales del envejecimiento**

Las teorías cognitivas del envejecimiento abordan los cambios en la memoria, la atención, el razonamiento y el procesamiento de la información que ocurren con el paso del tiempo. Desde la neurociencia del desarrollo, se reconoce que el cerebro mantiene un grado de plasticidad a lo largo de la vida, aunque la velocidad de procesamiento y la eficiencia sináptica disminuyen (Park & Reuter-Lorenz, 2019). En el campo de la educación física, comprender estas transformaciones es fundamental para diseñar actividades que estimulen las funciones cognitivas mediante el movimiento y la coordinación motora.

La **teoría del procesamiento de la información** sostiene que el envejecimiento afecta la capacidad de codificar, almacenar y recuperar información. Los adultos mayores presentan un descenso en la memoria de trabajo y en la atención dividida, lo cual puede interferir en el aprendizaje motor y en la ejecución de tareas físicas complejas (Salthouse, 2019). Sin embargo, la práctica sistemática de ejercicio físico y actividades coordinativas estimula las redes neuronales, compensando parcialmente estas pérdidas.

La **hipótesis de la reserva cognitiva** plantea que el envejecimiento no conlleva necesariamente deterioro, sino que las personas con mayores niveles de estimulación mental, educación y actividad física desarrollan una resiliencia cerebral frente al daño neurológico (Stern et al., 2020). En este sentido, la participación en programas de actividad física que combinen esfuerzo aeróbico, coordinación y toma de decisiones refuerza la reserva cognitiva y contribuye al mantenimiento de la autonomía funcional en el adulto mayor.

Por su parte, la **teoría de la neuroplasticidad compensatoria** indica que, aunque se produzcan pérdidas neuronales, el cerebro puede reorganizar sus redes mediante nuevas conexiones sinápticas (Cabeza et al., 2018). Este principio sustenta la inclusión de programas de ejercicio físico que integren desafíos cognitivos, tales como el baile, el tai chi o los circuitos de equilibrio, los

cuales estimulan la corteza prefrontal y promueven la sincronización entre percepción y acción.

En la actualidad, los estudios sobre la **interacción entre cognición y movimiento** han demostrado que el ejercicio físico regular incrementa la secreción de factores neurotróficos, como el BDNF (*Brain-Derived Neurotrophic Factor*), que favorece la supervivencia neuronal y la formación de nuevas sinapsis (Erickson et al., 2021). De este modo, la práctica sistemática de actividad física se convierte en un recurso preventivo frente al deterioro cognitivo y las demencias.

Las teorías psicosociales del envejecimiento se centran en los factores emocionales, sociales y culturales que determinan la calidad de vida en la vejez. Desde una perspectiva educativa y sanitaria, el envejecimiento activo se entiende como un proceso integral que combina bienestar físico, mental y social. La participación en entornos comunitarios y programas de ejercicio grupal favorece la integración social y la autoestima (World Health Organization, 2020).

La **teoría de la desvinculación**, propuesta por Cumming y Henry (1961), sugiere que las personas tienden a retirarse gradualmente de los roles sociales a medida que envejecen. No obstante, investigaciones recientes han criticado esta postura al evidenciar que la interacción social es un factor protector frente a la depresión y el deterioro cognitivo (Carstensen et al., 2020). Desde la educación física, fomentar actividades cooperativas y recreativas puede contrarrestar el aislamiento social y promover la participación intergeneracional.

En contraposición, la **teoría de la actividad** sostiene que el bienestar en la vejez se asocia con la continuidad en la participación social y física. Los adultos mayores que mantienen rutinas de ejercicio, voluntariado o aprendizaje continuo presentan niveles más altos de satisfacción vital y menor riesgo de deterioro funcional (Adams et al., 2022). Esta teoría respalda el diseño de programas de educación física adaptados, donde el movimiento se concibe como vehículo de integración y bienestar.

La **teoría de la continuidad** plantea que las personas buscan mantener patrones de comportamiento, intereses y relaciones a lo largo del ciclo vital. En

este sentido, la práctica regular de ejercicio físico representa una extensión natural de los hábitos adquiridos durante etapas anteriores de la vida (Atchley, 1989). Promover la continuidad del movimiento y la práctica deportiva en adultos mayores fortalece la identidad personal y la percepción de control sobre la salud.

La **teoría de la selectividad socioemocional**, desarrollada por Carstensen (2019), sostiene que las personas mayores priorizan relaciones y actividades emocionalmente significativas, reduciendo aquellas que generan estrés o demanda cognitiva elevada. Este principio se refleja en la elección de actividades físicas placenteras, como el yoga o las caminatas al aire libre, que aportan satisfacción emocional y estabilidad psicológica.

La **teoría del envejecimiento exitoso**, propuesta por Rowe y Kahn (1997), integra componentes biológicos, psicológicos y sociales, definiendo el envejecimiento saludable como la ausencia de enfermedad, el mantenimiento de la función física y cognitiva, y la participación activa en la vida. En la actualidad, esta teoría ha evolucionado hacia el concepto de envejecimiento funcional, donde la capacidad adaptativa y la autonomía son los indicadores centrales de salud (Martin et al., 2023).

Desde la perspectiva pedagógica, las teorías psicosociales del envejecimiento invitan a la educación física a trascender el paradigma del rendimiento para orientarse hacia el bienestar integral. La práctica del ejercicio se convierte en un espacio de encuentro social, reconstrucción de la identidad y fortalecimiento emocional. Los docentes en educación física deben considerar la dimensión afectiva del movimiento como herramienta de inclusión y resiliencia (Hernández et al., 2022).

Finalmente, las teorías cognitivas y psicosociales coinciden en que el envejecimiento no debe entenderse como un proceso de pérdida, sino como una etapa de reorganización y aprendizaje continuo. El ejercicio físico actúa como un modulador cognitivo y emocional que potencia la autonomía, estimula la neuroplasticidad y refuerza el sentido de pertenencia social. Promover el envejecimiento activo desde la educación física implica formar sujetos capaces de mantener su funcionalidad, bienestar y dignidad en la vejez.



# **CAPÍTULO II**

**ESTABILIDAD  
POSTURAL Y CONTROL  
MOTOR**

## Conceptos de Equilibrio y Postura

El equilibrio constituye una función esencial del sistema motor que permite mantener la estabilidad corporal frente a la gravedad y las perturbaciones del entorno. Desde una perspectiva biomecánica, el equilibrio implica la capacidad de conservar el centro de masa dentro de la base de sustentación, lo cual requiere una interacción precisa entre los sistemas nervioso, sensorial y musculoesquelético (Shumway-Cook & Woollacott, 2021). En la educación física, comprender este concepto es fundamental para el diseño de programas que fortalezcan la estabilidad dinámica y prevengan caídas, especialmente en poblaciones vulnerables como los adultos mayores.

La postura, por su parte, se define como la alineación y orientación del cuerpo en relación con el espacio y la gravedad. Una postura adecuada optimiza la eficiencia biomecánica, reduce el estrés articular y contribuye a la estabilidad del movimiento. Desde el punto de vista neurofisiológico, la postura es el resultado de una regulación continua del tono muscular mediada por reflejos espinales, vías vestibulares y mecanismos corticales (Horak, 2021). Así, equilibrio y postura conforman un sistema integrado que garantiza el control corporal durante la ejecución de actividades motoras.

El control postural es un proceso dinámico que combina la información sensorial y la respuesta motora para mantener la estabilidad en situaciones estáticas y en movimiento. Los ajustes posturales anticipatorios, generados antes del inicio de un movimiento voluntario, son esenciales para contrarrestar las fuerzas que alteran el equilibrio (Massion, 2018). En la práctica de la educación física, promover el control postural implica entrenar tanto la respuesta refleja como la planificación motora, optimizando el rendimiento funcional y la prevención de lesiones.

Desde la perspectiva neurofisiológica, el equilibrio depende de la integración multisensorial entre los sistemas vestibular, visual y somatosensorial. Cada uno aporta información específica sobre la posición corporal, la aceleración y el entorno espacial. El sistema nervioso central interpreta y pondera estas señales para generar una respuesta motora coordinada que preserve la estabilidad

(Peterka, 2019). La eficiencia de este proceso determina la capacidad de adaptación frente a perturbaciones externas o internas.

El equilibrio se clasifica en **estático** y **dinámico**. El equilibrio estático corresponde a la capacidad de mantener una posición estable sin desplazamiento, mientras que el equilibrio dinámico se refiere a la habilidad para conservar la estabilidad durante el movimiento (Winter, 2020). Ambas formas se interrelacionan y dependen de la sinergia neuromuscular que regula la postura. En programas de entrenamiento físico, el desarrollo equilibrado de ambos tipos es clave para mejorar la movilidad y la funcionalidad cotidiana.

La postura, en tanto manifestación del equilibrio, refleja el estado funcional de los sistemas músculo-esquelético y nervioso. Una postura erguida y alineada se asocia con un óptimo control neuromuscular y eficiencia energética, mientras que las alteraciones posturales indican desequilibrios musculares, disfunciones articulares o déficits sensoriales (Kerrigan et al., 2020). Por ello, la evaluación postural constituye un indicador clínico y educativo relevante en el ámbito del movimiento humano.

El control del equilibrio implica la interacción entre mecanismos automáticos y voluntarios. Los reflejos posturales, como el reflejo vestibuloespinal y el reflejo tónico cervical, actúan de manera inconsciente para ajustar la posición corporal frente a estímulos rápidos. A su vez, los movimientos voluntarios coordinados por la corteza motora y el cerebelo permiten respuestas más finas y adaptativas (Ivanenko & Gurfinkel, 2018). Esta dualidad refleja la naturaleza jerárquica del control motor humano.

La función postural también tiene un componente anticipatorio y proactivo. Los ajustes posturales anticipatorios (APAs) preparan al cuerpo para el movimiento, distribuyendo el peso y ajustando el tono muscular antes de la acción. Estos mecanismos son entrenables mediante ejercicios de equilibrio, propiocepción y fortalecimiento funcional (Latash, 2021). En el adulto mayor, la disminución de los APAs está vinculada con un mayor riesgo de caídas y menor capacidad de reacción frente a desequilibrios.

Desde la neurociencia del movimiento, el equilibrio se considera una manifestación de la *homeostasis motora*, es decir, la capacidad del organismo de mantener un estado de estabilidad dinámica frente a perturbaciones internas o externas. El cerebelo desempeña un papel central en esta regulación, ajustando la precisión y el timing de las contracciones musculares (Morton & Bastian, 2021). Por tanto, el entrenamiento de la coordinación y la precisión motora refuerza los mecanismos cerebelosos responsables del equilibrio.

La postura no es estática, sino un proceso de oscilación constante controlado por microajustes musculares. Estas oscilaciones posturales, conocidas como *sway postural*, reflejan la comunicación continua entre los sistemas sensoriales y motores (Paillard, 2019). En sujetos sanos, este balanceo mínimo es un signo de control efectivo; sin embargo, un aumento excesivo de la oscilación indica deterioro del control neuromuscular, común en la vejez o en patologías neurológicas.

El equilibrio corporal está estrechamente vinculado con la fuerza y la flexibilidad. Los músculos del tronco, cadera y miembros inferiores actúan como estabilizadores primarios, mientras que la flexibilidad articular permite los ajustes necesarios ante perturbaciones (Granacher et al., 2021). Por ello, en la educación física, los programas de fortalecimiento del *core* y el entrenamiento del equilibrio se consideran pilares para la salud musculoesquelética y la funcionalidad motora.

La postura también se relaciona con aspectos cognitivos y emocionales. Investigaciones recientes muestran que el estrés, la fatiga mental y las emociones negativas pueden alterar el tono muscular y el control postural (Lobo et al., 2022). Estos hallazgos respaldan una visión holística del equilibrio, donde la mente y el cuerpo interactúan de forma bidireccional, especialmente en adultos mayores con vulnerabilidad emocional.

En el contexto de la educación física y la salud, el equilibrio y la postura son indicadores de funcionalidad global. Un equilibrio adecuado permite la independencia en las actividades diarias, mientras que la pérdida de estabilidad se asocia con mayor riesgo de caídas, lesiones y disminución de la calidad de vida (Howcroft et al., 2021). Por tanto, la evaluación y el entrenamiento de la

estabilidad postural deben ser componentes permanentes en los programas de intervención física.

La educación postural es un componente preventivo que busca reeducar la alineación corporal mediante ejercicios que integren la conciencia corporal, la respiración y el fortalecimiento equilibrado. En el adulto mayor, estas estrategias no solo previenen desequilibrios, sino que también mejoran la percepción del cuerpo en el espacio (Mora et al., 2022). De esta manera, la educación física se convierte en una herramienta terapéutica de gran impacto social.

En síntesis, los conceptos de equilibrio y postura integran una visión multidimensional del movimiento humano que abarca lo biomecánico, lo neurológico y lo psicológico. El equilibrio no es solo la ausencia de caída, sino la capacidad de adaptación y control ante las fuerzas del entorno. Comprender su base teórica permite a los profesionales de la educación física diseñar estrategias que favorezcan la autonomía, la estabilidad y la calidad de vida en todas las etapas del ciclo vital.

### **Mecanismos sensoriales y neuromusculares de la estabilidad postural**

La estabilidad postural depende de la integración de múltiples sistemas fisiológicos que trabajan en sinergia para mantener el cuerpo en equilibrio. En este proceso, los sistemas sensoriales, neuromusculares y cognitivos interactúan constantemente para detectar, procesar y responder a perturbaciones tanto internas como externas (Paillard, 2019). Esta interacción garantiza la homeostasis motora y permite que el organismo mantenga el centro de gravedad dentro de su base de sustentación, condición esencial para la funcionalidad motora.

El sistema sensorial proporciona la información necesaria para conocer la posición del cuerpo en el espacio. Este sistema está compuesto por tres subsistemas principales: el vestibular, el visual y el somatosensorial, cada uno con un rol específico en la regulación del equilibrio (Peterka, 2019). El sistema nervioso central actúa como un integrador de estas señales, ponderando su relevancia de acuerdo con el contexto y ajustando las respuestas motoras para mantener la estabilidad postural.

El sistema vestibular, localizado en el oído interno, es el principal regulador del equilibrio dinámico. Detecta los movimientos de rotación y traslación de la cabeza a través de los canales semicirculares y los otolitos. Esta información es transmitida al tronco encefálico y al cerebelo, donde se generan respuestas reflejas para estabilizar la mirada y el cuerpo (Bronstein, 2019). En adultos mayores, la degeneración de las células ciliadas vestibulares reduce la sensibilidad al movimiento, comprometiendo la estabilidad y aumentando el riesgo de caídas.

El sistema visual proporciona información espacial que ayuda al cerebro a identificar la orientación del cuerpo respecto al entorno. Las señales visuales permiten anticipar los movimientos y corregir desequilibrios de manera rápida y precisa (Berencsi et al., 2020). Sin embargo, la dependencia excesiva del sistema visual puede ser contraproducente, especialmente cuando se produce una reducción de la agudeza visual o en entornos con escasa iluminación, situaciones comunes en la población senescente.

El sistema somatosensorial, compuesto por receptores cutáneos, musculares y articulares, aporta información sobre la posición de los segmentos corporales y las fuerzas que actúan sobre ellos. La propiocepción, entendida como la percepción consciente e inconsciente del movimiento y la posición corporal, es esencial para ajustar los patrones motores (Proske & Gandevia, 2018). En el ámbito de la educación física, los ejercicios propioceptivos son fundamentales para optimizar la coordinación y prevenir lesiones, especialmente en el adulto mayor.

El sistema nervioso central (SNC) cumple una función integradora y reguladora. El cerebelo, los ganglios basales, el tronco encefálico y la corteza motora trabajan en conjunto para generar respuestas motoras ajustadas a las demandas del entorno (Morton & Bastian, 2021). Estas estructuras no solo corrigen los errores posturales, sino que también anticipan los cambios en la estabilidad, mostrando la naturaleza predictiva del control motor humano.

El cerebelo es una estructura clave en la modulación del equilibrio. Sus circuitos neuronales permiten ajustar la fuerza, el tiempo y la dirección de las contracciones musculares. Cuando existe una disfunción cerebelosa, se observan movimientos torpes, oscilaciones posturales exageradas y pérdida de coordinación (Ghez & Thach, 2020). En la educación física, el entrenamiento coordinativo estimula la neuroplasticidad cerebelosa, fortaleciendo los mecanismos de control postural.

Los ganglios basales participan en la automatización del control postural. Estas estructuras subcorticales facilitan la ejecución fluida de los movimientos y suprimen los impulsos motores inadecuados (Lanciego et al., 2019). En patologías como la enfermedad de Parkinson, el deterioro de los ganglios basales causa rigidez, bradicinesia y alteraciones en el equilibrio. Por ello, los programas de ejercicio orientados a la estimulación motora rítmica son altamente recomendados en esta población.

El tronco encefálico constituye un centro de integración reflejo que conecta la información vestibular y somatosensorial con la respuesta motora. Los reflejos vestibuloespinales y reticuloespinales actúan rápidamente para mantener la cabeza y el tronco en posición estable ante perturbaciones (Horak, 2021). Estos reflejos son automáticos, pero su eficiencia depende del estado general del sistema nervioso y del entrenamiento motor continuo.

A nivel periférico, la estabilidad postural se mantiene mediante la coordinación neuromuscular entre agonistas, antagonistas y sinergistas. Los músculos posturales, como los del tronco y la cadera, presentan un tono basal constante que previene el colapso ante la gravedad (Granacher et al., 2021). La pérdida de fuerza o la rigidez excesiva de estos músculos afecta la alineación corporal, reduciendo la capacidad de mantener el equilibrio.

Los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi son los principales receptores neuromusculares responsables del control de la tensión y la longitud muscular. Estos receptores permiten ajustes inmediatos en la contracción muscular ante cambios en la posición del cuerpo (Enoka & Duchateau, 2017). El entrenamiento que involucra estímulos de desequilibrio o inestabilidad fortalece

la capacidad de respuesta de estos mecanismos reflejos, mejorando la eficiencia neuromotora.

La coordinación intermuscular e intramuscular es otro componente crítico del control postural. Una activación armónica entre los grupos musculares garantiza la correcta distribución del peso y la alineación segmentaria (Latash, 2021). En la vejez, la disminución de la sincronización neuromuscular y la lentitud en la transmisión de impulsos afectan la estabilidad funcional, fenómeno que puede revertirse parcialmente mediante programas de entrenamiento de equilibrio y fuerza reactiva.

Los ajustes posturales anticipatorios (APAs) y los compensatorios (CPAs) son mecanismos complementarios del control del equilibrio. Los APAs preparan el cuerpo para el movimiento voluntario, mientras que los CPAs corrigen perturbaciones imprevistas (Massion, 2018). La capacidad de generar APAs eficientes disminuye con la edad, debido a una menor velocidad de procesamiento neural y a un déficit en la integración sensorial, lo que incrementa la vulnerabilidad a las caídas.

En el ámbito de la educación física y la rehabilitación, la estimulación de los mecanismos sensoriales y neuromusculares del equilibrio puede lograrse mediante ejercicios funcionales y tareas duales que involucren componentes cognitivos y motores. Este tipo de entrenamiento no solo mejora la estabilidad postural, sino que también potencia la plasticidad cerebral y la integración sensorial (Woollacott & Shumway-Cook, 2021). De esta forma, el ejercicio se convierte en una estrategia preventiva frente al deterioro del sistema postural.

En conclusión, la estabilidad postural es el resultado de una compleja interacción entre los sistemas sensoriales, neuromusculares y cognitivos. La comprensión de estos mecanismos permite a los profesionales de la educación física diseñar programas que estimulen la propiocepción, la coordinación y la fuerza reactiva, optimizando la funcionalidad motora. En poblaciones envejecidas, la preservación de la estabilidad postural mediante el ejercicio constituye una herramienta clave para la autonomía, la prevención de caídas y la mejora de la calidad de vida.



# **CAPÍTULO III**

**FUNCIÓN COGNITIVA Y  
SU RELACIÓN CON EL  
MOVIMIENTO**

## Procesos cognitivos implicados en el control motor

El control motor constituye un proceso complejo en el que la cognición y la acción se integran de manera dinámica para permitir la ejecución eficiente de movimientos voluntarios y automáticos. Los procesos cognitivos, tales como la atención, la memoria de trabajo, la planificación y la toma de decisiones, se encuentran profundamente implicados en la organización del movimiento (Mutha & Sainburg, 2022). Estas funciones permiten al sistema nervioso central (SNC) anticipar las consecuencias de las acciones y ajustar la conducta motora ante cambios en el entorno, evidenciando una interdependencia entre los dominios cognitivo y motor que ha sido confirmada por estudios de neuroimagen funcional.

Desde la neurociencia cognitiva, el control motor es entendido como un proceso de predicción sensoriomotora mediado por representaciones mentales internas. El cerebro no solo reacciona ante los estímulos, sino que anticipa los resultados de la acción mediante modelos internos que integran información perceptiva, sensorial y cognitiva (Shadmehr et al., 2023). De esta forma, la acción motora depende tanto de la percepción del entorno como de la capacidad cognitiva para elaborar estrategias anticipatorias y corregir errores, lo que permite al sujeto adaptarse a contextos variables.

La atención desempeña un papel central en el control motor al seleccionar y priorizar la información relevante para la ejecución del movimiento. La atención motora puede dividirse en interna centrada en la planificación de la acción y externa dirigida hacia las consecuencias perceptivas del movimiento. Diversas investigaciones han demostrado que el enfoque atencional externo mejora la eficiencia motora y reduce el gasto energético durante tareas dinámicas (Wulf & Lewthwaite, 2021). Esta relación evidencia que la orientación cognitiva influye en la precisión y el aprendizaje motor.

Otro componente esencial es la memoria de trabajo, que sostiene temporalmente la información necesaria para planificar y coordinar movimientos secuenciales. Este proceso permite al individuo mantener un esquema motor mientras actualiza las condiciones del entorno (Anguera et al., 2021). En tareas motoras complejas, como la conducción o la práctica deportiva, la memoria de

trabajo facilita la integración de información visual, propioceptiva y auditiva, actuando como un sistema de soporte para el control en línea del movimiento.

La función ejecutiva, entendida como el conjunto de procesos responsables de la regulación cognitiva y conductual, resulta fundamental para el control motor voluntario. Dentro de este dominio se incluyen la planificación, la inhibición de respuestas inadecuadas y la flexibilidad cognitiva. Estas funciones, asociadas principalmente a la corteza prefrontal, permiten la modulación del movimiento en función de los objetivos, normas o contextos sociales (Diamond, 2020). El deterioro de estas capacidades compromete la capacidad de ajuste motor, aumentando la torpeza o la variabilidad en la ejecución.

La percepción también participa activamente en la regulación motora. A través de los sistemas visual, vestibular y somatosensorial, el individuo obtiene retroalimentación continua sobre su posición, orientación y velocidad. Estos datos son interpretados y transformados en representaciones cognitivas que guían la acción. La integración multisensorial, mediada por regiones como el cerebelo y el lóbulo parietal posterior, permite una corrección precisa de los movimientos en tiempo real (Ronsse et al., 2021). Así, la percepción se convierte en una dimensión cognitiva clave del control motor.

El aprendizaje motor depende igualmente de la participación cognitiva. Durante las primeras fases del aprendizaje, la atención consciente y la memoria explícita son esenciales para comprender las reglas del movimiento. Con la práctica, el control se automatiza y pasa a depender de estructuras subcorticales como los ganglios basales, disminuyendo la carga cognitiva (Krakauer et al., 2019). Este proceso de transición del control cognitivo al automático ilustra cómo la cognición facilita la adquisición de destrezas motoras eficientes.

En el ámbito clínico, los trastornos del control motor se asocian con alteraciones cognitivas específicas. Por ejemplo, en la enfermedad de Parkinson, los déficits ejecutivos y atencionales preceden al deterioro motor observable, afectando la iniciación y la secuencia de los movimientos (Redgrave et al., 2022). Este hallazgo sugiere que el control motor no es solo una cuestión muscular o neural, sino una manifestación del funcionamiento global del sistema cognitivo-motor.

Las redes neuronales implicadas en el control motor comprenden tanto estructuras corticales como subcorticales. Entre las más relevantes se encuentran la corteza motora primaria, el cerebelo, los ganglios basales y las áreas prefrontales, las cuales establecen circuitos de retroalimentación que integran la cognición con la acción (Diedrichsen & Bastian, 2021). Esta interconexión garantiza que las órdenes motoras no sean simples respuestas reflejas, sino productos de una evaluación cognitiva compleja.

La motivación y la emoción también influyen de manera decisiva en el control motor. Los estados afectivos modulan la activación del sistema dopaminérgico, que interviene tanto en la toma de decisiones como en la ejecución de movimientos precisos. Se ha demostrado que la motivación intrínseca mejora el rendimiento motor al reforzar los circuitos de recompensa que facilitan la plasticidad sináptica (Murayama et al., 2020). De esta manera, la cognición emocional se convierte en un componente regulador del control motor.

El control motor consciente requiere la interacción entre sistemas automáticos y procesos deliberativos. Los movimientos automáticos son rápidos y eficientes, pero los procesos cognitivos permiten ajustar la conducta ante situaciones nuevas o impredecibles. Esta dualidad cognitiva-motora se refleja en el modelo de control jerárquico, donde las estructuras corticales superiores regulan la actividad motora básica en función de metas y contextos (Glover & Baran, 2021). La flexibilidad de este modelo explica la adaptabilidad humana ante demandas motoras cambiantes.

En el envejecimiento, los procesos cognitivos relacionados con el control motor muestran una declinación progresiva. La ralentización en la velocidad de procesamiento y la disminución de la atención selectiva repercuten negativamente en la coordinación y el equilibrio (Li et al., 2021). Por tanto, comprender los mecanismos cognitivos del control motor en adultos mayores resulta esencial para diseñar estrategias preventivas que reduzcan el riesgo de caídas y mejoren la autonomía funcional.

La investigación contemporánea ha comenzado a considerar el control motor como un proceso distribuido en redes cerebrales que involucran múltiples dominios cognitivos. Los modelos de conectividad funcional muestran que la

ejecución de una tarea motora activa regiones relacionadas con la memoria, la emoción y la toma de decisiones, lo cual refuerza la idea de que la cognición no puede dissociarse de la acción (Doucet et al., 2023). Este enfoque integrador redefine el movimiento humano como una manifestación de la inteligencia corporal.

En contextos educativos y deportivos, el conocimiento sobre los procesos cognitivos que sustentan el control motor permite optimizar la enseñanza y el entrenamiento. Estrategias pedagógicas que estimulan la atención, la anticipación y la autorregulación cognitiva favorecen un aprendizaje motor más eficaz y duradero (Schmidt et al., 2021). Así, la educación física moderna debe reconocer que la mejora del rendimiento no depende únicamente de la práctica repetitiva, sino del fortalecimiento de las funciones cognitivas asociadas.

En síntesis, los procesos cognitivos implicados en el control motor son el fundamento de toda conducta motora adaptativa. La interacción entre atención, memoria, percepción y función ejecutiva permite al individuo coordinar movimientos precisos, flexibles y eficientes. Este entramado cognitivo-motor no solo sustenta la acción física, sino también la identidad corporal y la relación con el entorno, convirtiéndose en un pilar esencial para comprender la conducta humana desde una perspectiva neuropsicológica y educativa.

### **Relación entre deterioro cognitivo y riesgo de caídas**

El deterioro cognitivo constituye uno de los principales factores de riesgo para la pérdida del equilibrio y las caídas en la población adulta mayor. La evidencia científica ha demostrado que las alteraciones en funciones como la atención, la memoria, la planificación motora y la inhibición cognitiva se asocian directamente con una menor capacidad de respuesta ante perturbaciones posturales (Montero-Odasso et al., 2021). Estas limitaciones afectan la coordinación motora fina y gruesa, reduciendo la efectividad de las estrategias compensatorias que previenen la caída.

Las caídas no deben entenderse únicamente como un problema físico o mecánico, sino como una consecuencia de una disfunción integral del sistema cognitivo-motor. El control postural requiere la integración simultánea de

información sensorial, procesamiento cognitivo y ejecución motora. Cuando el deterioro cognitivo interrumpe esta interacción, la respuesta ante un desequilibrio se vuelve más lenta o inadecuada, incrementando el riesgo de caída (Amboni et al., 2022). De ahí que la evaluación de la cognición sea indispensable en los programas de prevención de caídas.

Entre las funciones cognitivas más vinculadas al riesgo de caídas destaca la atención dividida. Esta capacidad permite realizar simultáneamente una tarea motora y una tarea cognitiva, como caminar mientras se conversa. En sujetos con deterioro cognitivo leve, el desempeño en tareas duales se reduce notablemente, lo que se traduce en una marcha más inestable y con menor control postural (Cohen et al., 2021). La disminución en la atención dual refleja una sobrecarga cognitiva que compromete la seguridad del desplazamiento.

La función ejecutiva también desempeña un papel crítico. La planificación y la inhibición de respuestas inapropiadas son esenciales para ajustar la postura y el movimiento frente a obstáculos o cambios inesperados del entorno. Diversos estudios han encontrado que los adultos mayores con alteraciones ejecutivas presentan un incremento significativo en la frecuencia de caídas, incluso en ausencia de déficits sensoriales o musculoesqueléticos evidentes (Nemanich et al., 2022). Este hallazgo resalta la importancia de la corteza prefrontal en la regulación motora.

La velocidad de procesamiento cognitivo es otro determinante del control motor en la vejez. Un procesamiento más lento reduce la capacidad de reaccionar ante perturbaciones externas o internas que afectan el equilibrio. Cuando la información sensorial no se integra de manera oportuna, el cuerpo no logra ajustar su postura con eficacia, elevando la probabilidad de una caída (Buracchio et al., 2021). La lentitud cognitiva, por tanto, se convierte en un marcador funcional del riesgo de inestabilidad.

Los trastornos de la memoria también se asocian con una mayor incidencia de caídas. La memoria espacial y la memoria de trabajo son fundamentales para recordar trayectorias, obstáculos y secuencias de movimiento. En pacientes con demencia o deterioro cognitivo leve, la desorientación espacial y la pérdida de memoria inmediata conducen a decisiones motoras ineficientes (Schott et al.,

2020). Este deterioro compromete la capacidad de planificar el desplazamiento y de responder ante estímulos ambientales de riesgo.

Las alteraciones cognitivas relacionadas con la percepción y el procesamiento sensorial agravan aún más la vulnerabilidad motora. En el deterioro cognitivo leve amnésico y en la enfermedad de Alzheimer, se observa una disminución en la integración visuo-espacial, lo que afecta la coordinación ojo-mano y la percepción de la distancia (Muir et al., 2021). Como resultado, los adultos mayores presentan dificultades para calcular correctamente el espacio y los apoyos, aumentando la posibilidad de tropezar o perder el equilibrio.

Desde una perspectiva neurofisiológica, el deterioro cognitivo afecta las redes cerebrales que conectan las áreas prefrontales, el cerebelo y los ganglios basales. Estas estructuras son esenciales para la sincronización del control motor y la regulación de la marcha (Rosenberg-Katz et al., 2022). La disfunción de dichas redes provoca un patrón de movimiento más rígido y menos adaptativo, lo cual interfiere con las respuestas posturales automáticas necesarias para mantener la estabilidad.

Los estudios longitudinales han confirmado que los individuos con deterioro cognitivo leve tienen hasta el doble de riesgo de experimentar caídas en comparación con aquellos con función cognitiva preservada (Delbaere et al., 2021). Este riesgo se incrementa en etapas avanzadas de deterioro, donde las funciones ejecutivas y atencionales se ven más comprometidas. Las caídas repetidas, a su vez, aceleran el declive cognitivo al limitar la movilidad y la estimulación cerebral derivada del movimiento.

El concepto de “dual-task cost” se ha convertido en una herramienta clave para analizar la interacción entre cognición y control motor. Este costo refleja la disminución en el rendimiento motor al realizar una tarea cognitiva simultánea, y su magnitud se ha relacionado con el grado de deterioro cognitivo (Li et al., 2022). Cuanto mayor es la pérdida cognitiva, mayor es la interferencia entre las tareas, lo que indica una competencia ineficiente por los recursos atencionales.

La ansiedad y el miedo a caer también median la relación entre cognición y estabilidad postural. Estas variables emocionales alteran el procesamiento

cognitivo, generando una atención excesiva hacia el movimiento y reduciendo la automatización motora (Delgado-Alvarado et al., 2020). Paradójicamente, esta hiperconciencia del control postural puede provocar movimientos más torpes y menos fluidos, creando un círculo vicioso entre ansiedad, deterioro cognitivo y riesgo de caídas.

El deterioro cognitivo afecta asimismo la capacidad de generar estrategias compensatorias ante el desequilibrio. En adultos mayores sanos, el cerebro puede activar patrones musculares alternativos para mantener la postura; sin embargo, en sujetos con déficits cognitivos esta flexibilidad se pierde (Zhou et al., 2023). La rigidez cognitiva se traduce en una rigidez motora, lo que reduce la eficiencia biomecánica y aumenta el riesgo de caídas en situaciones imprevistas.

Los hallazgos neuropsicológicos han revelado que la atención sostenida y la inhibición cognitiva son predictores confiables de estabilidad postural. Aquellos individuos que conservan una mayor capacidad de inhibir distracciones externas presentan un mejor control del centro de gravedad durante la marcha (Tseng et al., 2021). Por tanto, el entrenamiento cognitivo orientado a la atención y al control ejecutivo podría convertirse en una estrategia preventiva eficaz frente al riesgo de caídas.

La relación entre deterioro cognitivo y caídas tiene además una dimensión social y funcional. Las caídas recurrentes generan aislamiento, pérdida de confianza y dependencia, lo que intensifica el deterioro cognitivo debido a la reducción de la actividad física y la estimulación sensorial (Tinetti et al., 2021). Esta interacción bidireccional entre mente y cuerpo destaca la necesidad de programas integrales que aborden simultáneamente la cognición y la movilidad.

En conclusión, el deterioro cognitivo y el riesgo de caídas constituyen fenómenos profundamente interrelacionados. La evidencia científica demuestra que la atención, la memoria, las funciones ejecutivas y la percepción espacial son determinantes en la capacidad motora adaptativa del adulto mayor. El abordaje clínico y educativo del equilibrio debe integrar la evaluación cognitiva como parte esencial de la prevención, reconociendo que la mente es un componente activo del movimiento y de la estabilidad funcional.

## Evaluaciones neuropsicológicas aplicadas al estudio del movimiento

La evaluación neuropsicológica aplicada al estudio del movimiento se fundamenta en la necesidad de comprender la relación entre las funciones cognitivas y el control motor. Esta aproximación permite identificar cómo los procesos mentales —atención, memoria, planificación, percepción y ejecución— influyen en la conducta motora y postural (Cools et al., 2022). Desde esta perspectiva, las pruebas neuropsicológicas no solo buscan detectar déficits cognitivos, sino también analizar cómo estos impactan la coordinación, la estabilidad y la precisión del movimiento humano.

El interés por integrar la neuropsicología con la motricidad ha crecido significativamente en las últimas décadas, impulsado por el desarrollo de herramientas de evaluación sensibles a las interacciones entre cerebro, cognición y acción. La neuropsicología del movimiento estudia los correlatos cognitivos de las habilidades motoras y los efectos del daño cerebral o del envejecimiento sobre las mismas (Lezak et al., 2021). De esta manera, las pruebas tradicionales han sido adaptadas para incluir componentes motores que reflejan el funcionamiento real de las redes cognitivo-motoras.

Uno de los instrumentos más utilizados para evaluar la relación entre cognición y movimiento es el *Trail Making Test (TMT)*, que mide la atención, la velocidad de procesamiento y la flexibilidad cognitiva. Este test ha demostrado una fuerte correlación con la marcha y la capacidad de realizar tareas motoras duales, lo que lo convierte en un predictor de riesgo de caídas y de deterioro en el control postural (Bowie et al., 2022). Su aplicabilidad en contextos clínicos y de investigación lo hace una herramienta valiosa para el análisis neuropsicológico del movimiento.

Otra evaluación relevante es el *Stroop Test*, que examina la capacidad de inhibición cognitiva y el control atencional. En el contexto motor, una mayor interferencia en esta prueba se ha asociado con una menor capacidad para ajustar movimientos ante estímulos inesperados (van der Heide et al., 2023). Esta relación demuestra que la inhibición cognitiva no solo regula respuestas verbales, sino también la planificación y ejecución motora ante demandas ambientales cambiantes.

La *Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV)*, aunque originalmente diseñada para medir inteligencia global, proporciona información valiosa sobre la integración visomotora y la velocidad de procesamiento, ambos indicadores del rendimiento motor (Schretlen et al., 2021). Los subtests de codificación y búsqueda de símbolos, en particular, evalúan la coordinación ojo-mano y la eficiencia cognitiva, elementos cruciales para tareas motoras finas y precisas.

En el ámbito clínico del envejecimiento, la *Batería de Evaluación de la Función Ejecutiva de Montreal (MEFS)* y el *Frontal Assessment Battery (FAB)* se utilizan para analizar la capacidad del adulto mayor para planificar y ejecutar movimientos secuenciales (Rosano et al., 2020). Estos instrumentos permiten detectar alteraciones ejecutivas que afectan la regulación postural y la marcha, constituyendo indicadores tempranos de deterioro cognitivo-motor.

La evaluación neuropsicológica del movimiento también emplea medidas específicas de control motor, como el *Finger Tapping Test*, que analiza la velocidad y regularidad del movimiento manual. La variabilidad en la frecuencia de los golpeteos ha sido asociada con alteraciones en los circuitos frontoestriatales, responsables de la sincronización motora y del ritmo cognitivo (Balasubramani et al., 2022). Estas pruebas aportan un vínculo directo entre rendimiento motor y procesamiento cortical.

Asimismo, el *Purdue Pegboard Test* y el *Grooved Pegboard Test* evalúan la coordinación bimanual y la destreza motora fina, aspectos que dependen de la integridad del lóbulo parietal y de la memoria procedimental (Clark et al., 2021). Estas pruebas son especialmente útiles para medir la motricidad en pacientes con enfermedades neurodegenerativas, ya que la lentitud o torpeza manual refleja una disminución en la capacidad de integración cognitivo-motora.

Las baterías de evaluación funcional, como el *Timed Up and Go (TUG)* y el *Dual Task Gait Test*, incorporan componentes cognitivos y motores para analizar la interacción entre atención y movilidad. Estos instrumentos permiten evaluar el costo cognitivo del movimiento, ofreciendo información precisa sobre el equilibrio y la capacidad de dividir la atención (Beauchet et al., 2022). Su uso ha demostrado ser efectivo para predecir la vulnerabilidad ante caídas y la eficiencia de la marcha.

Las pruebas de memoria, como el *Rey-Osterrieth Complex Figure Test* y el *Spatial Span* de la *Wechsler Memory Scale*, aportan datos sobre la capacidad de retener representaciones espaciales y esquemas motores. Un bajo desempeño en estas pruebas se asocia con errores en la orientación espacial y en la planificación del movimiento (Schaefer et al., 2021). Por ello, la memoria visoespacial se considera un componente indispensable del control motor adaptativo.

La integración de métodos de neuroimagen con la evaluación neuropsicológica ha permitido una comprensión más profunda de los mecanismos cognitivo-motores. Técnicas como la resonancia magnética funcional (fMRI) y la estimulación magnética transcraneal (TMS) se emplean junto a pruebas neuropsicológicas para mapear las redes neuronales que sostienen el movimiento voluntario (Kühn et al., 2022). Esta convergencia metodológica favorece diagnósticos más precisos y estrategias de intervención personalizadas.

En contextos deportivos y educativos, las evaluaciones neuropsicológicas ofrecen información sobre la capacidad de aprendizaje motor y la autorregulación cognitiva durante la práctica física. El análisis del perfil cognitivo permite diseñar programas de entrenamiento que estimulen tanto las habilidades motrices como las funciones ejecutivas (Roca et al., 2023). De este modo, la neuropsicología aplicada trasciende el ámbito clínico y contribuye al desarrollo de estrategias pedagógicas basadas en evidencia.

La evaluación neuropsicológica también cumple una función preventiva. Detectar déficits cognitivo-motores en fases iniciales posibilita intervenir antes de la aparición de alteraciones funcionales graves. Por ejemplo, un descenso en la velocidad de procesamiento o en la atención dividida puede anticipar futuros problemas de equilibrio o caídas (Herman et al., 2021). La detección temprana mediante pruebas cognitivas constituye, por tanto, una herramienta de salud pública para la población mayor.

En el contexto de enfermedades neurológicas como el Parkinson, el Alzheimer y la esclerosis múltiple, la evaluación neuropsicológica del movimiento adquiere una relevancia diagnóstica. Los patrones de error, la lentitud motora y la

disminución de la coordinación manual se correlacionan con áreas cerebrales específicas afectadas por la enfermedad (Yu et al., 2023). Estas pruebas permiten diferenciar entre alteraciones puramente motoras y aquellas derivadas de déficits cognitivos.

En síntesis, las evaluaciones neuropsicológicas aplicadas al movimiento constituyen un puente entre la cognición y la motricidad. A través de baterías estandarizadas y métodos de análisis integrados, es posible comprender cómo los procesos mentales dirigen, regulan y optimizan el control motor. Su aplicación en los ámbitos clínico, educativo y deportivo ofrece una visión global del ser humano como un sistema dinámico donde pensar y moverse son manifestaciones inseparables de la función cerebral.

### **Plasticidad cerebral y estrategias compensatorias en la vejez**

La plasticidad cerebral en la vejez se define como la capacidad del sistema nervioso central para reorganizarse estructural y funcionalmente en respuesta a los cambios relacionados con la edad, la experiencia o el daño neuronal (Pascual-Leone et al., 2020). A diferencia de las etapas tempranas del desarrollo, donde la plasticidad es más rápida y generalizada, en la adultez y vejez esta se torna más específica y dependiente de la experiencia. En este sentido, la plasticidad no desaparece con la edad, sino que se transforma en un mecanismo adaptativo que permite compensar el deterioro cognitivo y motor derivado del envejecimiento.

Las investigaciones neurocientíficas contemporáneas han demostrado que el cerebro envejecido conserva la capacidad de formar nuevas conexiones sinápticas y de reclutar áreas corticales adicionales para ejecutar tareas motoras complejas (Cabeza & Dennis, 2022). Este fenómeno, conocido como compensación cortical, refleja una redistribución funcional que permite mantener el rendimiento conductual a pesar de la pérdida neuronal. Dichas adaptaciones se observan con frecuencia en regiones prefrontales y parietales, donde se incrementa la actividad bilateral durante la ejecución de movimientos coordinados o de tareas de control motor fino.

El envejecimiento cerebral implica una disminución de la densidad dendrítica y sináptica, así como alteraciones en la mielinización y en la conectividad de las redes neuronales (Park & Reuter-Lorenz, 2021). Sin embargo, la plasticidad permite la reorganización de circuitos motores mediante mecanismos de potenciación a largo plazo (LTP) y depresión a largo plazo (LTD). Estos procesos sinápticos contribuyen a la retención de habilidades motoras y a la recuperación funcional después de lesiones o enfermedades neurodegenerativas. En la vejez, el mantenimiento de la estimulación cognitiva y física se convierte en un factor esencial para preservar estos mecanismos adaptativos.

La plasticidad funcional también se manifiesta a través del concepto de reserva cognitiva, entendida como la capacidad del cerebro para tolerar el daño o la degeneración sin mostrar déficits clínicos significativos (Stern et al., 2020). Esta reserva depende de factores como el nivel educativo, la actividad intelectual, el ejercicio físico y la participación social. Individuos con alta reserva cognitiva presentan una mayor eficiencia en el reclutamiento de redes neuronales alternativas para compensar el deterioro estructural y mantener el control motor eficiente durante la vejez.

Las estrategias compensatorias se definen como procesos cognitivos y conductuales mediante los cuales las personas mayores enfrentan las limitaciones impuestas por la declinación de sus funciones neuromotoras. Entre ellas se destacan el aumento del tiempo de reacción, la simplificación del movimiento, la anticipación cognitiva y el uso de apoyos externos o tecnológicos (Reuter-Lorenz & Park, 2019). Estas estrategias no eliminan la pérdida funcional, pero optimizan la eficiencia del sistema motor mediante la redistribución de recursos atencionales y sensoriales.

La evidencia empírica ha demostrado que la práctica motora deliberada induce cambios plásticos incluso en edades avanzadas. Estudios con técnicas de neuroimagen funcional (fMRI) muestran que los programas de entrenamiento físico y cognitivo pueden aumentar la conectividad en redes frontoparietales y mejorar la coordinación interhemisférica (Voss et al., 2023). Estos resultados confirman que el aprendizaje motor no depende exclusivamente de la juventud

neuronal, sino también de la estimulación sistemática y el compromiso activo con el movimiento.

En este contexto, la neuroplasticidad puede clasificarse en dos tipos: estructural y funcional. La primera se refiere a los cambios físicos en la morfología neuronal, como la densidad sináptica o el volumen del hipocampo, mientras que la segunda alude a las modificaciones en la eficiencia y sincronización de las redes neuronales durante la ejecución motora (Thomas et al., 2021). Ambas dimensiones son esenciales en la adaptación del control motor en la vejez y en la prevención de deterioros acelerados.

Desde el punto de vista de la rehabilitación, las estrategias basadas en la plasticidad cerebral se han convertido en herramientas fundamentales para mejorar la movilidad y la independencia funcional. Programas de entrenamiento orientados al aprendizaje motor, la estimulación cognitiva y la fisioterapia neurodinámica han demostrado aumentar la reorganización sináptica y la reactivación de áreas motoras inactivas (Taubert et al., 2020). Estas intervenciones fortalecen la interacción entre corteza motora primaria, ganglios basales y cerebelo, favoreciendo la estabilidad postural y la coordinación motriz en adultos mayores.

La práctica de ejercicios aeróbicos, el entrenamiento de fuerza y las actividades que combinan componentes cognitivos y motores, como el baile o el tai chi, han mostrado efectos positivos sobre la plasticidad cerebral (Stillman et al., 2020). Estas actividades estimulan la producción de factores neurotróficos como el BDNF (factor neurotrófico derivado del cerebro), que promueve la neurogénesis y la sinaptogénesis. A través de esta vía, se mejora el control motor y se retrasa el declive de funciones ejecutivas relacionadas con el movimiento.

La plasticidad cerebral también depende del equilibrio neuroquímico, particularmente de neurotransmisores como la dopamina, acetilcolina y serotonina, cuya disminución con la edad afecta la motivación y la precisión motora (Bäckman et al., 2021). Las intervenciones farmacológicas orientadas a modular estos sistemas pueden potenciar la eficacia de la rehabilitación motora, aunque deben ser complementadas con estrategias de estimulación cognitiva y motriz sostenidas en el tiempo.

Desde una perspectiva psicosocial, las estrategias compensatorias también incluyen la adaptación del entorno físico y emocional del adulto mayor. Un entorno seguro, estimulante y socialmente activo favorece la activación de circuitos cerebrales asociados al aprendizaje y reduce el riesgo de caídas o inmovilidad (Gutchess, 2023). El apoyo familiar y comunitario se constituye en un modulador indirecto de la plasticidad, al fomentar la motivación, la autoeficacia y el compromiso con la actividad física.

El enfoque contemporáneo de la neurociencia del envejecimiento enfatiza la idea de que la plasticidad no solo es una propiedad neuronal, sino también un fenómeno sistémico que involucra la interacción entre el cuerpo, el ambiente y la cognición (Park et al., 2020). De esta forma, las adaptaciones motoras en la vejez resultan de un proceso ecológico donde el cerebro reorganiza su actividad para mantener la funcionalidad dentro de los límites de sus capacidades estructurales.

El aprendizaje motor en adultos mayores se beneficia del uso de estrategias como la retroalimentación aumentada, la atención focal externa y la práctica variable. Estas técnicas, sustentadas en la teoría de la plasticidad, mejoran la retención y transferencia de habilidades (Seidler et al., 2022). Su aplicación en programas de educación física o terapia ocupacional permite optimizar el rendimiento motor y reducir los efectos negativos del envejecimiento sobre el control del movimiento.

La investigación en plasticidad cerebral y estrategias compensatorias tiene implicaciones directas para el diseño de políticas públicas orientadas al envejecimiento activo. Promover entornos educativos, recreativos y tecnológicos que estimulen el movimiento y la cognición contribuye a una mejor calidad de vida y a la autonomía funcional en la vejez (World Health Organization [WHO], 2023). La integración entre educación física, neurociencia y gerontología se vuelve así un pilar fundamental del bienestar integral.

En síntesis, la plasticidad cerebral en la vejez representa un potencial biológico que, cuando se estimula adecuadamente, puede contrarrestar los efectos del deterioro cognitivo y motor. Las estrategias compensatorias, tanto neuronales como conductuales, no solo prolongan la funcionalidad, sino que redefinen el concepto de envejecimiento como un proceso dinámico de adaptación y

aprendizaje. Este enfoque coloca al movimiento como un agente terapéutico esencial para preservar la integridad cerebral y la calidad de vida en la adultez mayor.



# **CAPÍTULO IV**

**LA MARCHA COMO  
INDICADOR  
FUNCIONAL Y  
NEUROLÓGICO**

## Parámetros biomecánicos y espaciotemporales de la marcha

La marcha es una conducta motora cíclica compleja que puede describirse mediante parámetros espaciotemporales (p. ej., velocidad de marcha, cadencia, longitud del paso/ zancada, tiempo de apoyo y tiempo de balanceo) y parámetros biomecánicos (p. ej., cinemática articular, fuerzas de reacción del suelo, potencia muscular). Estos indicadores cuantifican la eficiencia, estabilidad y adaptabilidad del sistema locomotor (Gamwell et al., 2022).

La **velocidad de marcha** se considera un “vital sign” funcional: refleja la interacción entre capacidad cardiovascular, fuerza muscular, control postural y procesamiento central. Cambios en la velocidad se asocian con disminución funcional y riesgo de dependencia, por lo que es uno de los parámetros más utilizados en investigación y clínica (Rössler et al., 2024).

La **cadencia** (pasos por minuto) y la **longitud del paso/zancada** son variables íntimamente relacionadas: la velocidad de marcha resulta de la multiplicación de ambas. La regulación de la cadencia frente a la modificación de la longitud del paso es un mecanismo adaptativo que el sistema nervioso usa para mantener estabilidad y economía energética.

**Fases del ciclo de marcha:** el ciclo gaital se divide en fase de apoyo (stance) y fase de balanceo (swing); el tiempo relativo en cada fase (porcentaje del ciclo) informa sobre la estabilidad dinámica: mayor tiempo de doble apoyo sugiere mayor cautela e inestabilidad potencial. La variabilidad en la duración de fases es un indicador sensible de control motor deteriorado.

La **asimetría** entre extremidades (por ejemplo, diferencias en longitud de paso o en tiempos de apoyo) es un parámetro biomecánico que identifica compensaciones originadas por dolor, lesión o patrón motor ineficiente. La asimetría aumentada suele correlacionarse con mayor gasto energético y mayor riesgo de caídas.

Las **variables cinemáticas** (ángulos articulares de cadera, rodilla y tobillo) y las curvas temporales de dichas articulaciones permiten caracterizar la fluidez y el control de la marcha. Los picos de flexión–extensión y sus tasas de cambio informan sobre la capacidad de generar y absorber fuerzas durante contacto y propulsión.

Las **fuerzas de reacción del suelo (GRF)** y los momentos articulares (cinética) son determinantes de la propulsión y el control del centro de masa (CoM). La forma y magnitud de las GRF (p. ej., pico de carga en apoyo) reflejan la estrategia biomecánica empleada para desplazar el cuerpo y amortiguar impactos.

El **control del centro de masa y de presión plantar (CoP)** ofrece información directa sobre el equilibrio dinámico: desplazamientos amplios o rápidos del CoP indican menor control postural y mayor demanda sensoriomotora para estabilizar la marcha.

La **variabilidad de la marcha** (variación interpaso en longitud, tiempo, ancho) es un marcador funcional de la integridad del sistema motor y de su control central. Valores de variabilidad moderada son normales; incrementos significativos suelen indicar desregulación neuromuscular o compromiso cognitivo-motor.

El **ancho de paso** (step width) se interpreta como estrategia de base de sustentación: un ancho mayor incrementa la base de apoyo y la estabilidad lateral, pero puede reflejar compensaciones por inseguridad o alteraciones sensoriales.

Medidas derivadas —como el **índice de estabilidad dinámica** o la **suavidad del movimiento (smoothness)**— integran múltiples parámetros para evaluar la calidad global del patrón gaital; son útiles para detectar cambios sutiles que no aparecen en medidas aisladas.

La **economía de la marcha** (consumo energético por distancia) se relaciona con parámetros biomecánicos: patrones más eficientes (longitud y cadencia optimizadas, cojinetes articulares funcionales) reducen el costo metabólico y prolongan la autonomía locomotora.

Las interacciones entre parámetros (por ejemplo, longitud de paso vs. cadencia, tiempo de doble apoyo vs. variabilidad) deben analizarse en conjunto: un solo indicador rara vez explica la complejidad del control de la marcha; los perfiles multivariados aportan mayor validez clínica.

Desde una perspectiva metodológica, la robustez de la evaluación depende de la estandarización (velocidad auto prevista vs. caminata a velocidad fijada, longitud de pasillo, condiciones de superficie) y del número de ciclos analizados, pues la variabilidad intraindividual exige registrar múltiples pasos para estimar confiablemente parámetros espaciotemporales.

En síntesis, los parámetros espaciotemporales y biomecánicos de la marcha constituyen una batería complementaria: los primeros facilitan cribado funcional y predicción de riesgo, y los segundos aportan explicación mecanicista para diseñar intervenciones dirigidas a mejorar estabilidad, eficiencia y seguridad locomotora (Gamwell et al., 2022).

### **Cambios en el patrón de marcha con el envejecimiento**

El envejecimiento normal conlleva cambios consistentes en la marcha: reducción de la velocidad, acortamiento de la longitud del paso, aumento del tiempo de doble apoyo y mayor variabilidad en tiempos y longitudes de paso; estos cambios reflejan adaptaciones para preservar la estabilidad frente a disminuciones sensoriomotoras y fuerza muscular (Boyer et al., 2023). [ScienceDirect](#)

La **reducción de la velocidad de marcha** es probablemente el indicador más reproducible del envejecimiento motor; se relaciona con disminución de fuerza en miembros inferiores, menor potencia de propulsión y cambios en la coordinación intersegmentaria. A nivel funcional, velocidades menores se asocian con limitación en actividades de la vida diaria.

La **longitud de paso disminuida** se asocia con menor empuje durante la fase de propulsión (torque de cadera y extensión de rodilla) y con una tendencia a aumentar la cadencia como intento de mantener la velocidad cuando la capacidad propulsora decrece.

El **incremento del tiempo de doble apoyo** constituye una estrategia de “cautela” utilizada por adultos mayores para mejorar la estabilidad: al prolongar el tiempo en el que ambos pies están en contacto, se reduce la demanda de equilibrio dinámico. No obstante, este patrón puede incrementar el costo energético y limitar la adaptabilidad.

La **variabilidad aumentada** —especialmente en la longitud de paso y en el tiempo de ciclo— se asocia con fragilidad y un mayor riesgo de caídas. La variabilidad refleja la pérdida de consistencia del control neuromuscular y la menor redundancia funcional para corregir perturbaciones.

Cambios cinemáticos típicos incluyen disminución de la flexión de cadera en balanceo, menor dorsiflexión en la fase terminal de swing y reducción en la extensión de rodilla durante la propulsión; estos movimientos compensatorios afectan la clearance del pie y aumentan el riesgo de tropiezos.

A nivel dinámico, la producción de fuerza y potencia en miembros inferiores (especialmente extensor de cadera y flexores plantares) disminuye con la edad, lo que reduce la capacidad de realizar pasos largos y controlados y obliga a patrones que priorizan la seguridad por sobre la economía.

La marcha del adulto mayor también puede mostrar mayor **asimetría** y cambios en el patrón temporal bilateral, frecuentemente derivados de enfermedad osteomuscular, dolor articular o pérdida sensorial. Esta asimetría altera la distribución de cargas y puede contribuir a progresión de patologías musculoesqueléticas.

La **reserva funcional** y la capacidad de respuesta ante perturbaciones disminuyen en la vejez: frente a un empujón o a un obstáculo inesperado, la latencia y la magnitud de la respuesta correctora aumentan, y la probabilidad de recuperación exitosa disminuye.

Factores sensoriales que cambian con la edad —disminución de sensibilidad propioceptiva, visión y función vestibular— contribuyen decisivamente a la modificación del patrón de marcha: la integración multisensorial se complica y el control predictivo del movimiento se ve afectado.

La fatiga tiene un impacto mayor en la marcha de personas mayores: alteraciones en el reclutamiento motor y disminución en la resistencia muscular producen deterioros progresivos del patrón gaital durante trayectos prolongados.

El envejecimiento cognitivo (p. ej., declive en velocidad de procesamiento y funciones ejecutivas) interactúa con los cambios biomecánicos, incrementando la fragilidad gaital y reduciendo la capacidad de mantener ritmos y patrones normales bajo tareas duales o condiciones ambientales complejas.

La heterogeneidad es una constante: no todos los adultos mayores presentan los mismos cambios, ya que factores como actividad física habitual, comorbilidades, estado nutricional y reserva cognitiva modulan la magnitud y las consecuencias funcionales de las alteraciones gaitales.

Desde el punto de vista preventivo, identificar patrones tempranos (por ejemplo, aumento sutil de variabilidad o disminución leve de velocidad) permite implementar intervenciones (entrenamiento de fuerza, balance, y programas multicomponente) que ralentizan la progresión y mejoran la resiliencia locomotora.

En resumen, el envejecimiento produce una reconfiguración del patrón de marcha que prioriza la estabilidad ante la pérdida de capacidad muscular y sensorial; sin embargo, el grado de compromiso y la respuesta a la intervención son modulables por factores físicos, cognitivos y ambientales (Rössler et al., 2024).

### **Correlaciones entre marcha, atención y procesamiento ejecutivo**

El vínculo entre marcha y cognición se ha consolidado como un área central de investigación: la marcha exige recursos atencionales y ejecutivos para planificar trayectorias, anticipar obstáculos y adaptar el patrón locomotor a demandas contextuales; por tanto, déficits en atención o funciones ejecutivas se traducen en alteraciones observables de la marcha.

Los **paradigmas dual-task** (caminar mientras se realiza una tarea cognitiva) han demostrado que la concurrencia de demandas cognitivas y motoras genera un “costo dual”: la marcha se vuelve más lenta, más variable y con mayor tiempo de

doble apoyo cuando los recursos atencionales son insuficientes. Este efecto es más pronunciado en individuos con deterioro ejecutivo.

La **atención dividida** es particularmente importante en situaciones reales (caminar y hablar, negociar un terreno irregular). La incapacidad para dividir la atención de forma eficaz produce aumento de errores gaitales y decremento de seguridad locomotora. Estudios experimentales muestran correlaciones robustas entre medidas de atención y parámetros de variabilidad gaital.

Las **funciones ejecutivas** (inhibición, flexibilidad, planificación) regulan la selección de estrategias motoras y la supresión de respuestas automáticas inadecuadas. Déficits ejecutivos se asocian con patrones de marcha rígidos, menor adaptabilidad y mayor probabilidad de caída frente a perturbaciones inesperadas.

Mecanismos neurobiológicos que sustentan estas correlaciones incluyen la participación de redes frontoparietales y frontoestriatales que integran control cognitivo y ejecución motora; la conectividad funcional entre estas regiones predice la eficiencia en tareas duales de marcha.

Estudios que emplean análisis de machine learning han conseguido predecir el rendimiento ejecutivo a partir de características de la marcha (p. ej., variabilidad de paso, regularidad, parámetros de simetría), lo que sugiere que la marcha contiene firmas biomecánicas sensibles a funciones cognitivas superiores (Piet et al., 2024).

En poblaciones con patología neurológica (Parkinson, enfermedad cerebrovascular), la relación marcha–cognición se vuelve más evidente: el agravamiento de la función ejecutiva coincide con mayores desviaciones en la velocidad, aumento de la variabilidad y mayor dependencia de estrategias compensatorias.

El constructo del “**squeeze hypothesis**” propone que, ante demandas concomitantes, los recursos cognitivos se “aprietan” y la prioridad puede desplazarse del componente cognitivo al motor (o viceversa), dependiendo de la relevancia percibida; en adultos mayores, la tendencia es priorizar la estabilidad motora, lo que puede llevar al deterioro de la tarea cognitiva.

La evaluación conjunta de la marcha y la cognición (p. ej., pruebas dual-task estandarizadas) aporta mayor valor predictivo para la fragilidad y el riesgo de caída que la valoración aislada de cada dominio; por eso, numerosas guías recomiendan incluir pruebas de marcha dual en cribados geriátricos.

La atención sostenida y la velocidad de procesamiento se correlacionan con medidas de tiempo de reacción en respuestas motoras ante perturbaciones; individuos con procesamiento más lento muestran mayor latencia en ajustes posturales y peor recuperación tras un desequilibrio.

La intervención cognitivo-motora (entrenamiento dual-task) ha mostrado efectos positivos: mejorar la capacidad de dividir la atención genera reducciones en el costo dual y mejoras en parámetros espaciotemporales, lo que confirma la plasticidad del sistema cognitivo-motor y su relevancia para la prevención de caídas (Ali et al., 2022).

La relación entre marcha y cognición no es unidimensional: diferentes dominios cognitivos ejercen efectos diferenciales (p. ej., inhibición parece más correlacionada con control de la marcha en entornos complejos que la memoria episódica), por lo que las baterías neuropsicológicas deben ser seleccionadas según el objetivo clínico o investigativo.

En investigación poblacional, la alteración en parámetros gaitales predictivos (velocidad baja, alta variabilidad) antecede con frecuencia el declive cognitivo clínico, lo que ha permitido considerar la marcha como un marcador temprano de deterioro neurológico.

Desde una óptica práctica, evaluar atención y funciones ejecutivas en paralelo con análisis de marcha permite diseñar programas personalizados: por ejemplo, si la limitación principal es atencional, se priorizarán ejercicios de atención dividida y entornos de marcha controlados; si predomina la debilidad muscular, se focalizará en fortalecimiento.

En síntesis, la evidencia empírica respalda una relación estrecha y bidireccional entre marcha, atención y procesamiento ejecutivo: la marcha refleja el estado cognitivo y, simultáneamente, la demanda motora puede condicionar el

desempeño cognitivo; entender esta interacción es clave para intervenciones efectivas (Revisión sistemática y estudios empíricos recientes).

### **Instrumentos y tecnologías para el análisis de la marcha**

El análisis de la marcha se realiza con un espectro de tecnologías que van desde pruebas clínicas sencillas hasta sistemas instrumentados de alta precisión: pasillos instrumentados (ej. GAITRite), plataformas de fuerza, cámaras optoelectrónicas (sistemas de captura de movimiento como Vicon), sensores inerciales (IMU), alfombras de presión, y sistemas markerless basados en visión por computador (p. ej., Kinect, MediaPipe). Cada tecnología tiene ventajas y limitaciones en cuanto a precisión, costo y aplicabilidad clínica (Yuan et al., 2025).

**Pasillos instrumentados (walkways):** sistemas como GAITRite registran parámetros espaciotemporales con buena confiabilidad clínica y son prácticos para cribado; miden longitud de paso, tiempo de apoyo y velocidad con resolución suficiente para evaluaciones rutinarias. Son fáciles de usar pero limitados en variables cinemáticas completas.

**Sistemas de captura óptica (optical motion capture):** el gold-standard (p. ej., Vicon) ofrece datos 3D de alta resolución sobre ángulos articulares y trayectorias segmentarias. Estos sistemas requieren marcaje corporal, calibración precisa y entornos controlados; su costo y complejidad limitan su uso a laboratorios especializados.

**Plataformas de fuerza (force plates):** miden fuerzas de reacción del suelo en tiempo real y permiten calcular momentos y potencias articulares mediante análisis cinético; son esenciales para estudios biomecánicos detallados, análisis de equilibrio y evaluación de simetría de carga.

**Alfombras o tapetes de presión plantar** registran distribuciones de presión y parámetros temporales; son útiles para detectar patrones de carga alterados, asimetrías y cambios en la CoP, siendo más accesibles que un sistema de fuerza completo.

**Sensores inerciales (IMUs):** acelerómetros, giroscopios y magnetómetros ubicados en segmentos corporales permiten obtener estimaciones de velocidad, inclinaciones, cadencia y patrones temporales en entornos reales fuera del laboratorio. La evidencia reciente muestra que IMUs alcanzan niveles de precisión comparables al optical motion capture para muchas variables espaciotemporales cuando se aplican correctamente (recalibración y algoritmos de fusión de sensores). Esto ha democratizado el análisis de la marcha y facilitado monitorización continua en la comunidad (Sensors/IMU reviews).

**Sistemas markerless y visión por computador** (p. ej., Microsoft Kinect, MediaPipe, algoritmos basados en redes neuronales) permiten estimar pose y parámetros gaitales sin marcaje corporal. Se trata de tecnologías prometedoras para entornos clínicos y comunitarios por su baja invasividad y coste, aunque su precisión puede variar según condiciones de iluminación, oclusión y algoritmos empleados; validaciones recientes muestran resultados aceptables para medidas temporales y estimaciones de ángulos en tareas específicas (Hii et al., 2023).

**Comparaciones tecnológicas:** estudios de validación indican que, para parámetros espaciotemporales básicos (velocidad, cadencia, longitud de paso), IMUs y pasillos instrumentados ofrecen concordancia aceptable con sistemas ópticos; sin embargo, para análisis cinemático fino (ángulos articulares precisos), el optical motion capture sigue siendo la referencia. Markerless se aproxima rápidamente, especialmente con mejoras en modelos de estimación de pose.

**Plataformas portátiles y wearables** facilitan el monitoreo longitudinal y la detección precoz de deterioros; por ejemplo, sensores colocados en el tronco o en los tobillos permiten medir variabilidad y regularidad de la marcha en la vida diaria, aportando información ecológicamente válida para evaluar riesgo y respuesta a intervenciones.

**Herramientas de análisis de datos:** el uso de algoritmos avanzados (filtrado, estimación de estado, aprendizaje automático) ha permitido extraer firmas gaitales predictivas de riesgo cognitivo y de caídas. Modelos de machine learning aplicados a features extraídas de sensores han mostrado capacidad para

clasificar estados funcionales y predecir deterioro ejecutivo en muestras clínicas (Piet et al., 2024).

**Limitaciones prácticas:** ninguna tecnología es universalmente superior; la elección depende del objetivo (cribado, investigación biomecánica, monitorización domiciliaria), recursos disponibles y la población evaluada; además, la estandarización de protocolos y la interoperabilidad entre sistemas siguen siendo retos para la comparación multicéntrica de datos.

**Fiabilidad y validez:** al implementar tecnologías, es crucial realizar estudios de validación vs. gold-standards y controlar factores que afectan la medición (colocación de sensores, calibración, condiciones de marcha). Los procedimientos de preprocesado (detección de pasos, filtros, compensación de drift en IMUs) son determinantes para obtener parámetros confiables.

**Aplicaciones clínicas:** sistemas portables y pasillos instrumentados se usan en rehabilitación para cuantificar progresos, ajustar cargas de entrenamiento y valorar riesgos; la monitorización continua con wearables permite detectar deterioros funcionales tempranos y evaluar respuesta a intervenciones en el contexto real.

**Tendencias futuras:** la integración de múltiples fuentes (IMU + video markerless + algoritmos AI) promete soluciones híbridas que combinan precisión y practicidad; además, la estandarización de métricas y la creación de grandes bases de datos normativas facilitarán la interpretación individualizada de perfiles gaitales.

En resumen, el análisis de la marcha dispone hoy de una paleta tecnológica amplia —desde tests clínicos simples hasta sistemas instrumentados de alta resolución— y las decisiones sobre qué instrumento usar deben considerarse en función del objetivo clínico o investigativo, el coste y la disponibilidad. La convergencia entre wearables, visión por computador y aprendizaje automático está transformando la evaluación gaital hacia modelos más accesibles y predictivos

# CAPÍTULO METODOLÓGICO





# **CAPÍTULO V**

**DISEÑO DE LA  
INVESTIGACIÓN**

## Tipo de estudio y enfoque metodológico

El presente estudio adopta un **enfoque cuantitativo** porque busca medir de forma objetiva y sistemática las relaciones entre variables observables y mensurables, tales como la estabilidad postural, la función cognitiva y los parámetros espaciotemporales de la marcha. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2022), este enfoque se basa en la recolección y análisis numérico de datos para establecer patrones y relaciones causales o correlacionales entre fenómenos observados.

El **diseño de investigación** es de tipo **correlacional**, ya que pretende determinar el grado de asociación entre las variables sin manipularlas experimentalmente. De acuerdo con Kerlinger y Lee (2002), los estudios correlacionales permiten identificar vínculos entre variables naturales, contribuyendo a la comprensión de fenómenos complejos en contextos humanos, como el envejecimiento motor y cognitivo.

La elección del diseño correlacional es pertinente porque el envejecimiento humano conlleva alteraciones simultáneas en los sistemas motor, sensorial y cognitivo. Establecer la relación cuantitativa entre estos sistemas posibilita una comprensión más profunda del control motor y del deterioro funcional (Seidler et al., 2010). En este sentido, la metodología permite analizar si los déficits cognitivos se asocian con la pérdida del equilibrio y con patrones de marcha inestables.

El **enfoque cuantitativo** se justifica también porque posibilita el uso de **instrumentos estandarizados**, como plataformas posturográficas y test neuropsicológicos, los cuales aportan datos fiables y comparables. Para Creswell y Creswell (2018), este tipo de enfoque asegura validez empírica y permite generalizar resultados mediante el análisis estadístico riguroso.

Desde la perspectiva metodológica, el estudio se clasifica como **no experimental de corte transversal**, dado que las variables serán medidas en un único momento sin manipulación externa. Según Sampieri et al. (2022), este tipo de diseño es apropiado cuando se busca observar fenómenos tal como

ocurren en la realidad, en este caso, las interacciones naturales entre cognición, equilibrio y locomoción en el adulto mayor.

El enfoque correlacional no busca establecer causalidad, sino determinar la **fuerza y dirección de las relaciones** entre variables (Dancey & Reidy, 2017). Por tanto, el estudio se centrará en estimar el grado de asociación entre los indicadores de función cognitiva y las medidas biomecánicas de la marcha y la estabilidad postural, utilizando análisis de correlación de Pearson o Spearman según la normalidad de los datos.

El estudio será **transversal y descriptivo**, analizando una muestra de adultos mayores en un momento determinado. Este tipo de corte temporal es ideal para detectar tendencias o vínculos presentes sin inferir relaciones causales (Polit & Beck, 2021). Además, permite identificar correlaciones neurofisiológicas relevantes entre los sistemas cognitivo y motor.

El paradigma **positivista** subyace a este diseño, dado que privilegia la objetividad, la medición empírica y la replicabilidad de los resultados (Denzin & Lincoln, 2018). La investigación se orienta por la lógica hipotético-deductiva, formulando hipótesis que serán verificadas mediante el análisis estadístico de datos obtenidos bajo condiciones controladas.

La estrategia metodológica también asume un enfoque **multivariable**, puesto que las tres variables centrales (estabilidad postural, función cognitiva y marcha) se influyen mutuamente. Como plantea Schmidt y Lee (2019), el control motor humano resulta de la integración simultánea de sistemas sensoriales, motores y cognitivos, por lo que su análisis requiere una visión integral y cuantitativa.

Finalmente, el enfoque cuantitativo correlacional se ajusta a la necesidad de **fundamentar con evidencia empírica** las relaciones entre la cognición y el movimiento en la vejez. Este tipo de estudio contribuye a la comprensión del envejecimiento funcional y orienta la creación de estrategias de intervención para preservar la autonomía motora del adulto mayor (Hausdorff, 2009).

## Hipótesis

La **hipótesis general** sostiene que *existe una correlación positiva y significativa entre la función cognitiva, la estabilidad postural y la marcha en el adulto mayor*. Esta proposición se fundamenta en estudios que muestran que los procesos cognitivos, especialmente la atención y la planificación motora, influyen directamente en la regulación del equilibrio y la coordinación (Mirelman et al., 2012).

De manera específica, se plantea que *una disminución en la función ejecutiva y en la atención selectiva se asocia con una mayor oscilación postural y una variabilidad incrementada de la marcha*. Diversos autores confirman esta relación, señalando que los déficits cognitivos afectan la capacidad de anticipar y corregir desequilibrios durante la locomoción (Montero-Odasso et al., 2012).

Otra hipótesis plantea que *la función visoespacial y la integración sensorial actúan como mediadores entre la cognición y el control postural*. Según Yogev-Seligmann et al. (2008), la percepción visoespacial permite una adecuada representación del entorno y guía la planificación del movimiento, siendo clave para mantener la estabilidad postural y evitar caídas.

Asimismo, se prevé que *los adultos mayores con mejor estabilidad postural presentarán una mayor velocidad y simetría de marcha*, evidenciando una relación directa entre control postural y eficiencia locomotora. Hausdorff et al. (2005) demostraron que los indicadores de estabilidad están relacionados con la variabilidad de la marcha y con el riesgo de caídas.

Por último, se anticipa que *la disminución de la función cognitiva predice un deterioro biomecánico de la marcha*, expresado en una reducción de la longitud del paso y un aumento del tiempo de apoyo. Mirelman et al. (2014) sostienen que el deterioro cognitivo leve se refleja en alteraciones motoras sutiles detectables a través del análisis espaciotemporal de la marcha.

## Objetivos específicos

1. **Analizar la relación** entre los niveles de función cognitiva y los parámetros de estabilidad postural en adultos mayores, empleando pruebas neuropsicológicas y posturografía computarizada (Winter, 2009).
2. **Examinar las correlaciones** entre la función ejecutiva y los parámetros espaciotemporales de la marcha mediante sistemas de análisis cinemático, identificando posibles patrones de compensación motora (Woollacott & Shumway-Cook, 2002).
3. **Determinar la asociación** entre el equilibrio dinámico y la planificación motora, integrando mediciones neurofisiológicas y biomecánicas que revelen los mecanismos de control cortical y subcortical (Massion, 1998).
4. **Identificar si la reducción cognitiva** incrementa el riesgo de caídas y disminuye la eficiencia locomotora, estableciendo correlaciones predictivas útiles para la detección temprana de deterioro funcional (Amboni et al., 2013).
5. **Proponer un modelo correlacional** que describa las interacciones neurofisiológicas entre la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha, orientado al diseño de programas de intervención para el mantenimiento de la autonomía (Clark et al., 2015).

## VARIABLES DE ESTUDIO

La **variable estabilidad postural** se refiere a la capacidad del individuo para mantener el centro de masa dentro de los límites de sustentación, reduciendo el desplazamiento del centro de presión (Winter, 2009). Esta será medida mediante una plataforma de fuerza y pruebas de equilibrio estático y dinámico.

El control postural implica la integración multisensorial (visual, vestibular y somatosensorial) y la respuesta motora adaptativa (Horak, 2006). En el adulto mayor, la disminución de la sensibilidad propioceptiva y de la velocidad de procesamiento contribuye a una mayor oscilación postural y a un riesgo elevado de caídas (Lord et al., 1999).

La **variable función cognitiva** abarca los procesos mentales superiores — atención, memoria, funciones ejecutivas y orientación espacial— y será evaluada con instrumentos como el *Mini-Mental State Examination* (MMSE) y el *Trail Making Test* (Folstein et al., 1975). Estos permiten cuantificar la eficiencia cognitiva global y la capacidad de control atencional.

La cognición está intrínsecamente ligada al control motor. Según Yogev-Seligmann et al. (2008), la interacción entre el sistema ejecutivo y la motricidad fina facilita el control anticipatorio del equilibrio, mientras que su deterioro compromete la estabilidad y la seguridad durante la marcha.

La **variable marcha** se define como el patrón cíclico de locomoción humana, dependiente de la coordinación de múltiples sistemas neuromotores (Perry & Burnfield, 2010). Se evaluará a través de parámetros espaciotemporales, como cadencia, longitud del paso, tiempo de apoyo y simetría.

Los parámetros de la marcha son marcadores sensibles del estado funcional del sistema nervioso central (Hausdorff et al., 2005). La literatura evidencia que la variabilidad de la marcha está fuertemente correlacionada con la disminución de la función ejecutiva y la atención dividida (Montero-Odasso et al., 2012).

Los adultos mayores con un mejor desempeño cognitivo tienden a exhibir **mayor estabilidad postural** y **menor variabilidad en la marcha**, sugiriendo un control motor más eficiente (Amboni et al., 2013). Esta interdependencia refuerza la hipótesis de una conexión neurofisiológica entre los sistemas corticales y los reflejos espinales.

Desde el marco teórico del **control motor jerárquico**, las estructuras corticales superiores modulan la actividad motora automática (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Por ello, el deterioro cognitivo afecta la integración sensorial y, en consecuencia, la ejecución de movimientos equilibrados y coordinados.

El estudio de las correlaciones entre cognición, postura y marcha aporta evidencia sobre la interacción de sistemas nerviosos superiores e inferiores. Esta perspectiva permite comprender el envejecimiento funcional desde una visión neurofisiológica y adaptativa (Clark et al., 2015).

En síntesis, el diseño correlacional cuantitativo, las hipótesis planteadas, los objetivos específicos y la operacionalización de las variables conforman una estructura metodológica coherente. La investigación busca generar evidencia sólida sobre las interrelaciones entre **estabilidad postural, función cognitiva y marcha**, contribuyendo al campo de la neurociencia del envejecimiento humano (Seidler et al., 2010).

### Operacionalización de Variables

La operacionalización de variables constituye una fase esencial dentro del proceso metodológico, ya que permite traducir los constructos teóricos en indicadores observables, medibles y cuantificables. En este estudio, la definición operativa de cada variable posibilita establecer parámetros claros para la recolección y el análisis de los datos, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022). Las variables centrales —**estabilidad postural, función cognitiva y marcha**— se desglosan en dimensiones, indicadores y unidades de medida específicas que reflejan sus componentes neurofisiológicos y conductuales. Esta estructuración facilita la aplicación de instrumentos estandarizados, como plataformas posturográficas, pruebas neuropsicológicas y sistemas de análisis cinemático, que permiten cuantificar el grado de correlación entre el control motor, la función ejecutiva y los patrones locomotores en el adulto mayor. En consecuencia, la operacionalización de variables no solo orienta el proceso empírico de medición, sino que constituye un puente entre la teoría y la evidencia científica, fortaleciendo la coherencia interna del diseño metodológico (Creswell & Creswell, 2018).

Tabla 1. Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de medición
<b>Estabilidad postural</b>	Capacidad del sistema neuromuscular para mantener el centro de gravedad dentro de los límites de la	Se evaluará mediante la cuantificación de oscilaciones posturales en posición bípeda, registradas con una plataforma	Control postural estático y dinámico	Desplazamiento del centro de presión (CoP), amplitud y frecuencia de oscilación, área de estabilograma.	Prueba de bipedestación sobre plataforma de fuerza, software de análisis posturográfico.

	base de sustentación, tanto en condiciones estáticas como dinámicas (Winter, 1995).	posturográfica de fuerza.			
<b>Función cognitiva</b>	Conjunto de procesos mentales superiores que incluyen memoria, atención, percepción, lenguaje y funciones ejecutivas que permiten la adaptación al entorno (Lezak et al., 2012).	Se evaluará mediante pruebas neuropsicológicas estandarizadas que midan atención, memoria de trabajo, fluidez verbal y función ejecutiva.	Atención y concentración; memoria de trabajo; función ejecutiva	Puntuaciones obtenidas en el Mini-Mental State Examination (MMSE), Trail Making Test (A y B), y Stroop Test.	Evaluación neuropsicológica individual aplicada en entorno controlado.
<b>Marcha</b>	Patrón locomotor cíclico que involucra la coordinación rítmica de los segmentos corporales para desplazarse eficientemente (Perry & Burnfield, 2010).	Se medirá a través del análisis cinemático y espaciotemporal de la marcha mediante sensores inerciales o sistema de videoanálisis.	Parámetros espaciotemporales y cinemáticos	Velocidad, longitud y cadencia del paso; tiempo de apoyo y balanceo; simetría de la marcha.	Análisis de marcha con sensores inerciales (IMU) o sistema optoelectrónico .

Fuente. Elaboración Propia. 2025



# **CAPÍTULO VI**

**POBLACIÓN, MUESTRA  
Y CRITERIOS DE  
INCLUSIÓN/  
EXCLUSIÓN**

## Descripción del grupo de adultos mayores participantes

La población participante estuvo conformada por adultos mayores residentes en las ciudades de **Barranquilla (Atlántico)** y **Pamplona (Norte de Santander)**, seleccionados bajo criterios de inclusión que garantizaron la homogeneidad del grupo en términos de edad, estado de salud y capacidad funcional. Se consideraron individuos entre 65 y 85 años, con un nivel de independencia funcional suficiente para realizar las pruebas de evaluación motora y cognitiva, siguiendo las recomendaciones metodológicas para investigaciones en gerontología y neurofisiología (OMS, 2023).

La selección de las dos ciudades respondió a un enfoque comparativo que permite analizar las diferencias en la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha en función de los contextos geográficos, climáticos y socioculturales. Barranquilla, ubicada en la región Caribe, presenta condiciones térmicas y ambientales que inciden en la actividad física y el equilibrio corporal, mientras que Pamplona, en la región andina, ofrece un entorno de altitud moderada que influye en el metabolismo y el rendimiento motor (DANE, 2023).

Los participantes fueron convocados mediante la colaboración con **centros de atención al adulto mayor**, instituciones educativas y programas comunitarios de bienestar físico. Este proceso de reclutamiento contó con el aval de los comités de ética de las respectivas universidades participantes y con la autorización explícita de las instituciones donde se realizaron las mediciones (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022).

El grupo total estuvo compuesto por **60 adultos mayores**, distribuidos equitativamente entre Barranquilla y Pamplona. Se garantizó un equilibrio por género (50 % mujeres y 50 % hombres) para evitar sesgos en las variables relacionadas con el control postural y las capacidades cognitivas, considerando que la literatura científica reconoce diferencias asociadas al sexo en la respuesta motora y cognitiva del envejecimiento (Salthouse, 2019).

El estado de salud general fue evaluado previamente mediante una ficha médica estructurada que incluyó antecedentes neurológicos, cardiovasculares y

musculoesqueléticos, descartando a aquellos con enfermedades neurodegenerativas diagnosticadas o alteraciones vestibulares severas. Este filtro garantizó la validez de los resultados al minimizar la influencia de factores clínicos no controlados (Petersen et al., 2018).

Cada participante se sometió a una evaluación funcional inicial basada en el índice de Barthel y la escala de Lawton y Brody, con el propósito de verificar la autonomía en las actividades de la vida diaria. Solo los individuos con puntuaciones que indicaran independencia moderada o completa fueron incluidos en las pruebas experimentales de estabilidad y marcha (Mahoney & Barthel, 1965).

En Barranquilla, la muestra fue reclutada principalmente en el **Centro de Vida El Prado** y en el programa “Movimiento Vital”, dirigido por la Secretaría de Gestión Social. En Pamplona, los participantes pertenecían al **Programa de Envejecimiento Activo de la Universidad de Pamplona**, lo cual permitió garantizar continuidad en la observación y facilitar el control de las variables contextuales.

La caracterización sociodemográfica incluyó variables como edad, sexo, nivel educativo, ocupación previa y hábitos de actividad física. Estos datos fueron obtenidos mediante un cuestionario estandarizado diseñado por el equipo investigador, validado por juicio de expertos en gerontología y fisiología del ejercicio (Creswell & Creswell, 2018).

Se observó que la mayoría de los participantes en Barranquilla realizaban actividades recreativas acuáticas o caminatas matutinas, mientras que los adultos mayores de Pamplona mostraban una mayor participación en ejercicios de movilidad articular y entrenamiento funcional. Estas diferencias fueron consideradas en la interpretación final de los resultados correlacionales (González et al., 2021).

El proceso de descripción del grupo también incluyó la evaluación del **índice de masa corporal (IMC)** y la composición corporal mediante bioimpedancia eléctrica, debido a la influencia del peso corporal y la masa muscular sobre la

estabilidad y la velocidad de la marcha (Winter, 1995). Estos datos se integraron al análisis multivariante para fortalecer la validez ecológica del estudio.

### **Consideraciones éticas y consentimiento informado**

El estudio cumplió con los principios éticos establecidos en la **Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2013)**, garantizando el respeto por la autonomía, la beneficencia y la no maleficencia de los participantes. Cada procedimiento experimental fue diseñado para minimizar el riesgo físico y psicológico.

Antes de iniciar la fase experimental, se proporcionó a los participantes una **carta de consentimiento informado**, en la cual se explicaron los objetivos de la investigación, los procedimientos, los beneficios esperados y los posibles riesgos asociados a las pruebas de estabilidad y marcha.

El consentimiento fue obtenido de manera individual y voluntaria, asegurando la confidencialidad de los datos personales y el derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin repercusiones. Este procedimiento se documentó con la firma del participante y de un testigo (Beauchamp & Childress, 2019).

Los investigadores garantizaron la accesibilidad cognitiva del proceso informativo, adaptando el lenguaje y los recursos visuales a las capacidades de comprensión de los adultos mayores, de acuerdo con los lineamientos de la **Ley 1581 de 2012** sobre protección de datos personales en Colombia.

Las evaluaciones se realizaron bajo la supervisión de profesionales en Terapia Ocupacional, neuropsicología y educación física, quienes velaron por el bienestar de los participantes durante todas las fases del experimento, especialmente en las pruebas posturales que implicaban riesgo de pérdida de equilibrio (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).



# **CAPÍTULO VII**

**TÉCNICAS E  
INSTRUMENTOS DE  
MEDICIÓN**

Para evaluar la **función cognitiva**, se aplicaron tres pruebas neuropsicológicas estandarizadas: el **Mini-Mental State Examination (MMSE)**, el **Stroop Test** y el **Trail Making Test (TMT)**. Estas herramientas permiten explorar los procesos de atención, memoria, flexibilidad cognitiva y control inhibitorio (Lezak et al., 2012).

El **MMSE** se utilizó para obtener una puntuación global de la función cognitiva, estableciendo niveles de normalidad o deterioro leve. Su aplicación se realizó en un entorno tranquilo, bajo condiciones de iluminación y temperatura controladas (Folstein et al., 1975).

El **Stroop Test** permitió medir la capacidad de control atencional y la interferencia cognitiva, variables críticas en la coordinación neuromotora. Se aplicó la versión de papel y lápiz con tres tarjetas (palabra, color y palabra-color) y se registró el tiempo de respuesta y número de errores (Golden, 1978).

El **Trail Making Test (A y B)** se empleó para valorar la velocidad de procesamiento y la flexibilidad cognitiva. La parte A midió la atención sostenida mediante la secuenciación numérica, mientras que la parte B evaluó la alternancia entre secuencias numéricas y alfabéticas (Bowie & Harvey, 2006).

En cuanto a la **evaluación postural**, se utilizó una **plataforma de fuerza de tres componentes** (vertical, anteroposterior y mediolateral), que permitió registrar las oscilaciones del centro de presión (CoP). Los datos fueron procesados con un software especializado en estabilometría para calcular parámetros de desplazamiento y frecuencia de oscilación (Palmieri et al., 2002).

El protocolo de evaluación postural se aplicó en condiciones de bipedestación estática sobre la plataforma de fuerza, durante un tiempo de registro de 30 segundos con los ojos abiertos y cerrados. Esta metodología se basó en los lineamientos de la Sociedad Internacional de Posturografía, garantizando la confiabilidad de las mediciones y la comparabilidad interindividual (Chiari et al., 2009).

Se analizaron las variables del centro de presión (CoP) en los ejes anteroposterior y mediolateral, así como el área de elipse de oscilación. Estos indicadores ofrecen información precisa sobre la capacidad del sistema nervioso

central para integrar señales vestibulares, propioceptivas y visuales durante la regulación del equilibrio (Horak, 2006).

Además, se aplicó una prueba de **equilibrio dinámico** mediante desplazamientos anteroposteriores y laterales guiados, utilizando una plataforma con superficie móvil controlada por software. Esta técnica permitió valorar la adaptación neuromuscular frente a perturbaciones externas, aspecto clave en la prevención de caídas (Mancini & Horak, 2010).

En el componente de **análisis de la marcha**, se empleó un sistema de sensores inerciales (IMU) ubicados en las regiones sacra, tibial y dorsal. Estos sensores registraron variables cinemáticas de aceleración y rotación angular en los tres planos del movimiento, permitiendo caracterizar los patrones locomotores de los participantes (Del Din et al., 2016).

El protocolo de marcha consistió en recorrer una pista de 10 metros a velocidad confortable y máxima. Se registraron los parámetros espaciotemporales, incluyendo la velocidad media, la longitud y cadencia del paso, el tiempo de apoyo y el tiempo de balanceo. Estos datos fueron fundamentales para establecer correlaciones entre la función cognitiva y la estabilidad locomotora (Perry & Burnfield, 2010).

La **dinamometría manual** se incluyó como variable complementaria para valorar la fuerza de prensión, considerada un marcador global de salud neuromuscular y predictor de equilibrio y movilidad en adultos mayores (Bohannon, 2019). Se utilizó un dinamómetro hidráulico Jamar®, aplicando tres mediciones por mano y registrando el promedio.

Todas las pruebas se realizaron en sesiones programadas de aproximadamente 90 minutos por participante, distribuidas en tres bloques: evaluación cognitiva, postural y locomotora. Se establecieron intervalos de descanso entre pruebas para evitar la fatiga y garantizar la validez de los resultados (Cohen et al., 2020).

Los instrumentos fueron calibrados antes de cada sesión, siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante. La estandarización del entorno experimental (temperatura, iluminación y nivel de ruido) se mantuvo constante

en las dos ciudades de estudio para asegurar la homogeneidad de las mediciones (ISO 11064-6, 2005).

Las pruebas neuropsicológicas se aplicaron en formato individual, en un entorno controlado, con el apoyo de un profesional en psicología clínica capacitado en la administración de los test. Este control metodológico buscó reducir sesgos de aplicación y garantizar la confiabilidad interevaluador (Lezak et al., 2012).

Cada prueba se documentó en fichas de registro digital, que luego fueron transferidas a una base de datos centralizada para su análisis. Los resultados fueron codificados por identificadores numéricos, preservando la confidencialidad y anonimato de los participantes, en cumplimiento con la normativa ética nacional (Ministerio de Salud, 1993).



# **CAPÍTULO VIII**

**PROCEDIMIENTOS DE  
RECOLECCIÓN Y  
ANÁLISIS DE DATOS**

La fase de recolección de datos se desarrolló durante un período de cuatro meses, alternando los grupos de Barranquilla y Pamplona para evitar sesgos estacionales. Se estableció un protocolo idéntico de trabajo de campo, con supervisión directa del coordinador metodológico y un registro diario de incidencias experimentales (Creswell & Creswell, 2018).

Previo a cada sesión, se realizó una inducción sobre las actividades a ejecutar, con demostraciones prácticas y verificación de la comprensión por parte de los participantes. Este procedimiento garantizó la adherencia a las instrucciones y redujo la variabilidad por errores de ejecución (American Psychological Association, 2020).

El protocolo experimental incluyó una fase inicial de calentamiento y familiarización con los equipos, seguida de la medición formal. Se monitorizó la frecuencia cardíaca y la presión arterial antes y después de cada prueba para detectar signos de fatiga o malestar (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

En el caso de las pruebas de equilibrio, se aplicaron tres intentos por condición (ojos abiertos y cerrados), registrando el promedio para los análisis correlacionales. Los datos fueron almacenados en formato CSV para su posterior procesamiento con software estadístico (Chiari et al., 2009).

El análisis de la marcha se llevó a cabo mediante un sistema **GaitUp®**, que integra sensores inerciales y algoritmos de reconstrucción de trayectoria. Los datos fueron sincronizados con una cámara de video para validación visual y segmentación del ciclo de marcha (Del Din et al., 2016).

La información recolectada se sometió a un proceso de depuración, eliminando valores atípicos y registros incompletos. Se aplicaron criterios de integridad de señal para las mediciones inerciales y de consistencia interna para las pruebas cognitivas (Hair et al., 2021).

El tratamiento de datos incluyó procedimientos de normalización para las variables continuas y codificación para las variables categóricas, permitiendo su integración en modelos correlacionales y de regresión lineal múltiple (Field, 2020).

Las correlaciones entre estabilidad postural, función cognitiva y parámetros de marcha se evaluaron mediante el coeficiente de **Pearson (r)** y el coeficiente de **Spearman (ρ)**, según la distribución de normalidad de las variables. Este análisis permitió identificar relaciones lineales y no lineales entre los dominios neurofisiológicos (Dancey & Reidy, 2017).

Asimismo, se aplicaron análisis de varianza (**ANOVA**) para comparar los resultados entre las dos ciudades, y pruebas **t de Student** para muestras independientes, determinando diferencias significativas en función del contexto geográfico (Hair et al., 2021).

Para examinar los efectos conjuntos de la función cognitiva y la estabilidad sobre la marcha, se elaboraron modelos de regresión múltiple con variables de control como edad, IMC y sexo. Este enfoque multivariante permitió interpretar la influencia simultánea de las variables predictoras (Field, 2020).

### **Procesamiento estadístico y correlacional**

El análisis estadístico se realizó con el software **IBM SPSS Statistics v29** y **RStudio v4.3**, seleccionados por su precisión en el tratamiento de datos fisiológicos y su compatibilidad con técnicas de análisis multivariado (George & Mallery, 2022).

La descripción de las variables se efectuó mediante estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, rango y percentiles), permitiendo caracterizar el perfil funcional y cognitivo de la muestra (Dancey & Reidy, 2017).

El análisis de correlaciones permitió establecer vínculos significativos entre las oscilaciones posturales y las puntuaciones en las pruebas cognitivas, confirmando la interdependencia entre los sistemas de control motor y ejecutivo en el envejecimiento (Salthouse, 2019).

Se calcularon intervalos de confianza del 95 % para cada parámetro, asegurando la precisión de los resultados y su validez inferencial. Este enfoque redujo el riesgo de errores tipo I y II en la interpretación estadística (Field, 2020).

El análisis comparativo entre ciudades reveló tendencias diferenciadas en el control postural y la velocidad de marcha, asociadas a factores ambientales y

socioculturales, confirmando la influencia del contexto en la expresión funcional del envejecimiento (OMS, 2023).

Los resultados fueron representados gráficamente mediante diagramas de dispersión, gráficos de caja y mapas de correlación, lo que permitió visualizar la relación entre las variables y facilitar la interpretación de los patrones observados (George & Mallery, 2022).

El procedimiento estadístico también incluyó análisis factorial exploratorio para agrupar las variables más representativas de la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha, reduciendo la dimensionalidad del conjunto de datos (Hair et al., 2021).

Este enfoque permitió identificar componentes latentes que explican la covariación entre las variables, reforzando la hipótesis de correlación neurofisiológica entre los dominios motores y cognitivos en adultos mayores (Seidler et al., 2010).

Adicionalmente, se empleó el método de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) para validar los modelos predictivos entre las oscilaciones posturales y la velocidad de la marcha, garantizando la estabilidad estadística de las estimaciones (Chin, 1998).

La interpretación final de los resultados se realizó con un enfoque integrador, relacionando los hallazgos cuantitativos con los fundamentos teóricos del control postural y las funciones ejecutivas. Este procedimiento fortaleció la validez ecológica del estudio (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

### **Software, procesamiento digital y validación de resultados**

Para la etapa de procesamiento digital, los datos obtenidos en las plataformas de fuerza y los sensores inerciales fueron exportados en formato bruto (raw data) y procesados en el software **MATLAB R2023b**, utilizando scripts personalizados para el filtrado de ruido y cálculo de parámetros derivados, como la longitud de trayectoria del centro de presión y la frecuencia media de oscilación (Winter, 1995).

El filtrado de la señal se realizó mediante un filtro pasa-bajo de Butterworth de cuarto orden con una frecuencia de corte de 10 Hz, procedimiento ampliamente validado en estudios de biomecánica para eliminar interferencias electromecánicas sin alterar la señal fisiológica (Palmieri et al., 2002).

Los datos del sistema de análisis de marcha fueron sincronizados temporalmente con los registros de video y con las señales de fuerza, lo que permitió obtener una representación integrada del ciclo locomotor y de la dinámica de equilibrio durante la propulsión (Perry & Burnfield, 2010).

Se aplicaron algoritmos de segmentación del ciclo de marcha para identificar las fases de apoyo, balanceo y doble apoyo. Esta segmentación permitió analizar la simetría locomotora y cuantificar la variabilidad paso a paso, considerada un marcador sensible de deterioro neuromotor (Del Din et al., 2016).

Los resultados de las pruebas cognitivas fueron digitalizados e ingresados en una base de datos estructurada, garantizando la compatibilidad entre los registros conductuales y fisiológicos. Para este propósito se utilizó **Microsoft Excel 365** como herramienta de preprocesamiento y control de calidad antes del análisis estadístico (Creswell & Creswell, 2018).

Con el fin de garantizar la validez de los datos, se realizó un proceso de verificación cruzada mediante el doble ingreso de datos (double data entry), minimizando errores humanos en la transcripción. Este procedimiento aumentó la confiabilidad interna del conjunto de datos (George & Mallery, 2022).

El análisis gráfico se desarrolló con el software **GraphPad Prism 10** y el paquete **ggplot2** de RStudio, los cuales permitieron generar representaciones visuales de alta resolución, favoreciendo la comunicación de resultados en los informes técnicos y artículos científicos derivados del estudio (Field, 2020).

Para evaluar la consistencia interna de las pruebas cognitivas y posturales, se utilizó el coeficiente **Cronbach  $\alpha$** , alcanzando valores superiores a 0.80, lo que indica una alta confiabilidad de los instrumentos aplicados en ambas poblaciones (Hair et al., 2021).

La estabilidad temporal de las mediciones fue comprobada mediante el método de test-retest en una submuestra del 20 % de los participantes, con un intervalo de siete días entre sesiones, obteniéndose coeficientes de correlación intraclassa (ICC) mayores a 0.85, lo cual respalda la reproducibilidad del protocolo (Shrout & Fleiss, 1979).

El control de calidad de los datos también incluyó la revisión de los valores de kurtosis y asimetría para garantizar la normalidad estadística de las variables cuantitativas. En los casos en que no se cumplió el criterio, se aplicaron transformaciones logarítmicas o normalización por z-score (Dancey & Reidy, 2017).

### **Interpretación y discusión metodológica avanzada**

El procesamiento correlacional de las variables permitió confirmar la interacción entre los dominios motor y cognitivo, demostrando que las alteraciones en la estabilidad postural se asocian con déficits en la atención y el control inhibitorio, hallazgos coherentes con la literatura sobre envejecimiento funcional (Seidler et al., 2010).

Las diferencias observadas entre los grupos de Barranquilla y Pamplona sugieren una influencia del entorno ambiental sobre la respuesta motora. Las condiciones climáticas cálidas de la región Caribe podrían favorecer la movilidad, mientras que la altitud y el clima frío de Pamplona pueden afectar la oxigenación cerebral y el rendimiento motor (OMS, 2023).

El diseño correlacional adoptado permitió identificar asociaciones significativas entre las variables sin establecer causalidad directa, aspecto reconocido en las metodologías cuantitativas descriptivo-analíticas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022). Sin embargo, los resultados aportan evidencia empírica útil para futuras investigaciones longitudinales.

El control metodológico de las condiciones experimentales fue clave para la validez interna. La replicabilidad del entorno de medición en ambas ciudades permitió minimizar sesgos contextuales y fortalecer la interpretación comparativa (Cohen et al., 2020).

Desde una perspectiva neurofisiológica, los hallazgos respaldan la hipótesis de que el deterioro en la función ejecutiva afecta la integración multisensorial necesaria para mantener la postura y la coordinación durante la marcha (Horak, 2006).

La precisión instrumental alcanzada mediante la estabilometría y los sensores inerciales proporciona un marco cuantitativo sólido para evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores, aspecto fundamental en los programas de intervención geriátrica (Mancini & Horak, 2010).

La elección de un enfoque metodológico correlacional cuantitativo fue adecuada para el objetivo de identificar relaciones entre sistemas fisiológicos, permitiendo el uso de técnicas estadísticas robustas y una interpretación objetiva de los datos (Creswell & Creswell, 2018).

El uso de herramientas tecnológicas avanzadas también favoreció la recolección precisa de información. Los sensores IMU y las plataformas de fuerza demostraron alta sensibilidad para detectar microoscilaciones y variaciones en los patrones locomotores, indicadores críticos del envejecimiento motor (Del Din et al., 2016).

La integración de medidas cognitivas y biomecánicas en un mismo diseño metodológico representa una innovación en el estudio del envejecimiento, ya que permite comprender las correlaciones neurofisiológicas desde un enfoque interdisciplinar (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La estandarización de los protocolos y el entrenamiento del equipo evaluador fueron factores determinantes para la confiabilidad del estudio. La consistencia en la aplicación de pruebas evitó la variabilidad interevaluador y contribuyó a la fiabilidad global del proceso (George & Mallery, 2022).

### **Control de sesgos, limitaciones y rigor metodológico**

El control de sesgos incluyó procedimientos de cegamiento parcial, evitando que los evaluadores conocieran los puntajes previos de los participantes en las pruebas cognitivas o motoras. Esta estrategia redujo el riesgo de influencia del observador (Beauchamp & Childress, 2019).

A pesar del rigor metodológico, se reconocen limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra y la imposibilidad de controlar todas las variables ambientales. Factores como la temperatura, la hora del día y el nivel de fatiga pueden influir en el rendimiento postural y locomotor (Field, 2020).

Otra limitación importante radica en el carácter transversal del estudio, que impide inferir relaciones causales entre las variables. No obstante, los resultados constituyen una base sólida para el desarrollo de investigaciones longitudinales que analicen los cambios a lo largo del tiempo (Creswell & Creswell, 2018).

La heterogeneidad cognitiva de la muestra también representa una fuente potencial de variabilidad, dado que el nivel educativo y las actividades intelectuales previas influyen significativamente en el rendimiento en las pruebas neuropsicológicas (Salthouse, 2019).

Se tomaron medidas para reducir el impacto del efecto de aprendizaje en las pruebas cognitivas, variando el orden de aplicación entre participantes y utilizando versiones alternas de los test cuando fue posible (Lezak et al., 2012).

En cuanto a las pruebas motoras, se implementaron protocolos de seguridad con cinturones de sujeción y asistencia cercana del evaluador para prevenir caídas o lesiones durante la aplicación de las pruebas posturales dinámicas (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La inclusión de dos regiones con características culturales y geográficas distintas amplía la validez externa del estudio, ya que permite extrapolar los resultados a poblaciones diversas del contexto colombiano (DANE, 2023).

La combinación de métodos instrumentales de alta precisión y procedimientos éticos rigurosos garantizó la integridad científica del estudio, fortaleciendo su relevancia para la formulación de programas de prevención de caídas y estimulación cognitiva en adultos mayores (OMS, 2023).

Los resultados derivados de este estudio contribuyen al campo de la neurociencia del movimiento, ofreciendo una comprensión integradora del envejecimiento desde las correlaciones entre los sistemas motor, sensorial y cognitivo (Seidler et al., 2010).

Finalmente, el capítulo metodológico aquí descrito sienta las bases para futuras investigaciones interdisciplinarias, integrando la evaluación neurofisiológica con modelos predictivos de riesgo funcional. Este enfoque promueve la aplicación del conocimiento científico en la mejora de la calidad de vida y la autonomía de los adultos mayores (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022).



# **CAPÍTULO IX**

**RESULTADOS DEL  
ESTUDIO**

## Descripción estadística de la muestra

La muestra del estudio estuvo conformada por un total de 120 adultos mayores, distribuidos equitativamente entre las ciudades de **Barranquilla (Atlántico)** y **Pamplona (Norte de Santander)**, con 60 participantes por región. El rango etario osciló entre **65 y 85 años**, con una media de edad de **74,2 años (DE = 5,7)**. Esta distribución permitió representar un espectro amplio del proceso de envejecimiento fisiológico y cognitivo, abarcando tanto adultos jóvenes mayores como ancianos avanzados. La selección de los participantes se realizó mediante un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, siguiendo criterios de inclusión basados en la capacidad de deambulación independiente y la ausencia de trastornos neurológicos diagnosticados. Este enfoque permitió garantizar la homogeneidad de la muestra en términos de funcionalidad física y cognitiva (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022).

En cuanto a la **distribución por sexo**, la muestra estuvo compuesta por **68 mujeres (56,7%)** y **52 hombres (43,3%)**, proporción que refleja la tendencia demográfica del envejecimiento en Colombia, donde las mujeres presentan una mayor esperanza de vida (DANE, 2023). Las diferencias de género fueron consideradas relevantes en el análisis de la estabilidad postural y la función motora, dado que estudios previos han mostrado que las mujeres tienden a presentar menor fuerza de extremidades inferiores y mayor variabilidad postural en comparación con los hombres (Maki & McIlroy, 2006).

El **nivel educativo** de los participantes mostró una distribución heterogénea, con un 30% que había completado la educación básica, un 45% con educación media y un 25% con estudios superiores. Este indicador resultó relevante en la interpretación de las pruebas neuropsicológicas, especialmente en el rendimiento del **Mini-Mental State Examination (MMSE)**, dado que el nivel educativo influye significativamente en el desempeño cognitivo global (Ardila, 2018). En la ciudad de Pamplona, se observó un porcentaje ligeramente mayor de participantes con educación secundaria (48%), mientras que en Barranquilla predominó el grupo con formación superior (28%).

En relación con el **estado civil**, el 52% de los participantes reportó estar casado, el 30% viudo y el 18% soltero o separado. Este dato se analizó en el contexto de las variables de apoyo social, ya que la literatura ha documentado que la vida en pareja y la interacción social frecuente están asociadas con un mejor mantenimiento de la función cognitiva y la movilidad en la vejez (Fratiglioni et al., 2020). En Pamplona, la proporción de viudez fue mayor, lo que podría estar vinculado a diferencias demográficas entre las regiones.

En cuanto al **estado de salud general**, el 72% de los adultos mayores manifestó padecer al menos una enfermedad crónica no transmisible, predominando la **hipertensión arterial (45%)**, seguida de **diabetes tipo 2 (28%)** y **artrosis (25%)**. Estas condiciones fueron registradas mediante autoinforme y corroboradas con historia clínica. La presencia de estas comorbilidades es coherente con el perfil epidemiológico del adulto mayor colombiano (OMS, 2023), y fue controlada estadísticamente en los análisis correlacionales posteriores, dado su potencial impacto sobre la estabilidad y la función cognitiva (Montero-Odasso et al., 2019).

La **condición funcional** de los participantes fue evaluada mediante el **Índice de Barthel**, obteniéndose una media de **93,5 puntos (DE = 4,8)**, lo que indica una independencia funcional alta. Este resultado fue relevante para la validez de los protocolos de medición de marcha y postura, dado que todos los sujetos eran capaces de realizar las pruebas sin asistencia externa. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos ciudades en este indicador ( $p > 0,05$ ), lo que evidencia la comparabilidad de las muestras regionales (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Los **índices antropométricos** revelaron un **promedio de estatura de 1,63 m (DE = 0,07)** y un **peso corporal medio de 68,4 kg (DE = 8,5)**, con un **Índice de Masa Corporal (IMC)** promedio de **25,7 kg/m<sup>2</sup> (DE = 3,1)**, correspondiente al rango de sobrepeso leve según los criterios de la OMS (2023). Estos datos son coherentes con la literatura que describe un incremento del IMC en edades avanzadas y su relación con la reducción de la fuerza muscular y la estabilidad postural (Bohannon, 2019).

Desde una perspectiva neuropsicológica, los puntajes medios del **MMSE** fueron de **26,8 (DE = 2,1)** para Barranquilla y **25,9 (DE = 2,4)** para Pamplona, sin

diferencias significativas ( $p = 0,08$ ). Estos valores sugieren una función cognitiva conservada, aunque con una leve tendencia hacia el deterioro leve en los mayores de 80 años. De manera complementaria, los tiempos promedio en el **Trail Making Test A y B** fueron de **41,2 s (DE = 8,9)** y **96,5 s (DE = 15,4)**, respectivamente, evidenciando un enlentecimiento en la velocidad de procesamiento propio del envejecimiento (Lezak et al., 2012).

En el ámbito biomecánico, los registros estabilométricos mostraron un **área media del centro de presión (CoP)** de **320 mm<sup>2</sup> (DE = 95)** y una **velocidad media de oscilación** de **11,8 mm/s (DE = 2,3)**. Estos parámetros reflejan una estabilidad postural funcional, aunque con mayor variabilidad en los adultos mayores de Pamplona, posiblemente debido a la menor exposición a actividades físicas regulares (Chiari et al., 2009). Los resultados de la **marcha** mostraron una **velocidad promedio de 1,02 m/s (DE = 0,18)**, dentro del rango considerado normal para adultos mayores independientes (Perry & Burnfield, 2010).

En conjunto, la descripción estadística de la muestra evidencia una población envejecida funcionalmente activa, con diferencias contextuales moderadas entre las regiones analizadas. El equilibrio en la distribución por sexo, edad y condición funcional fortaleció la representatividad del estudio, permitiendo generalizar los resultados a poblaciones urbanas similares del Caribe y Nororiente colombiano. Esta caracterización detallada constituye la base para la interpretación correlacional posterior, donde la **interacción entre la función cognitiva, la estabilidad postural y la marcha** se abordará desde un enfoque neurofisiológico integrador (Creswell & Creswell, 2018).

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de la estabilidad postural (plataforma de fuerza)

Ciudad	N	Media desplazamiento CoP (cm <sup>2</sup> )	DE	Mínimo	Máximo
<b>Barranquilla</b>	60	1.85	0.42	1.12	2.61
<b>Pamplona</b>	60	2.13	0.47	1.22	2.89
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>1.99</b>	<b>0.46</b>	<b>1.12</b>	<b>2.89</b>

Los resultados muestran que los adultos mayores de Barranquilla presentan una menor oscilación postural media ( $M = 1.85 \text{ cm}^2$ ) que los de Pamplona ( $M = 2.13$

cm<sup>2</sup>), lo que indica un **mayor control postural** en el grupo costeño. Esta diferencia podría asociarse a la exposición ambiental y las condiciones térmicas, que inciden en la tonicidad muscular y la propiocepción (Winter, 1995).

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos de la función cognitiva (MMSE, Stroop, Trail Making Test)

Ciudad	N	MMSE (puntaje /30)	Stroop (segundos)	TMT-B (segundos)
Barranquilla	60	27.3 (DE = 1.9)	62.4 (DE = 8.3)	128.5 (DE = 15.7)
Pamplona	60	26.1 (DE = 2.3)	69.2 (DE = 10.5)	137.9 (DE = 18.1)
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>26.7 (DE = 2.1)</b>	<b>65.8 (DE = 9.6)</b>	<b>133.2 (DE = 17.2)</b>

El grupo de Barranquilla obtuvo mejores puntajes en el **MMSE** y tiempos de reacción más cortos en las pruebas **Stroop** y **Trail Making Test B**, lo cual sugiere una **mayor integridad en la función ejecutiva y la atención selectiva**. Según Lezak et al. (2012), las diferencias podrían relacionarse con el nivel educativo, las experiencias socioculturales y el grado de estimulación cognitiva cotidiana.

**Tabla 4.** Parámetros espaciotemporales de la marcha (análisis cinemático con sensores inerciales)

Ciudad	N	Velocidad (m/s)	Longitud del paso (cm)	Cadencia (pasos/min)	Tiempo de apoyo (%)
Barranquilla	60	1.07 (DE = 0.15)	66.3 (DE = 4.8)	107.2 (DE = 6.4)	58.2 (DE = 2.5)
Pamplona	60	0.98 (DE = 0.12)	63.7 (DE = 5.1)	102.8 (DE = 5.9)	60.1 (DE = 2.7)
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>1.03 (DE = 0.14)</b>	<b>65.0 (DE = 4.9)</b>	<b>105.0 (DE = 6.2)</b>	<b>59.2 (DE = 2.6)</b>

**Los adultos mayores de Barranquilla mostraron** mejor desempeño locomotor, **con mayor velocidad y cadencia, y menor tiempo de apoyo, lo que refleja una** mayor eficiencia motora. Según Perry y Burnfield (2010), **estos patrones se asocian con un mejor equilibrio dinámico y una menor rigidez muscular, factores que favorecen la prevención de caídas.**

**Tabla 5.** Correlaciones entre estabilidad postural, función cognitiva y marcha

Variables	r de Pearson	p (bilateral)	Interpretación
Estabilidad postural – MMSE	-0.46	0.001	Correlación negativa moderada significativa
Estabilidad postural – Velocidad de marcha	-0.51	0.000	Correlación negativa moderada-alta significativa
Función cognitiva – Velocidad de marcha	0.58	0.000	Correlación positiva alta significativa

Los resultados evidencian que a mayor función cognitiva, mayor velocidad de marcha y mejor control postural, lo cual concuerda con la literatura que establece interdependencias entre procesamiento ejecutivo, integración sensoriomotora y estabilidad dinámica (Manor & Lipsitz, 2013). Esto respalda el modelo neurofisiológico de correlación entre sistemas cognitivos y motores en el envejecimiento.

#### Correlaciones entre estabilidad postural, función cognitiva y marcha

**Tabla 6.** Matriz de correlaciones de Pearson entre estabilidad postural, función cognitiva y parámetros de la marcha en adultos mayores (n = 120)

Variables	Estabilidad postural (CoP)	Función cognitiva (MMSE)	Velocidad de marcha	Cadencia	Longitud del paso
Estabilidad postural (CoP)	1	0.482	0.561	0.438	0.502
Función cognitiva (MMSE)	0.482	1	0.594	0.473	0.556
Velocidad de marcha	0.561	0.594	1	0.612	0.685
Cadencia	0.438	0.473	0.612	1	0.577
Longitud del paso	0.502	0.556	0.685	0.577	1

Los resultados de la matriz de correlaciones muestran relaciones estadísticamente significativas entre la estabilidad postural, la función cognitiva y los parámetros espaciotemporales de la marcha. En particular, la correlación entre el control postural y la velocidad de marcha ( $r = 0.561$ ,  $p < .01$ ) sugiere que

un mejor equilibrio dinámico se asocia con desplazamientos más eficientes. Estos hallazgos concuerdan con estudios que destacan la integración entre los sistemas sensoriomotor y cognitivo en el control locomotor (Menant et al., 2020).

La relación positiva entre la función cognitiva y la velocidad de marcha ( $r = 0.594$ ,  $p < .01$ ) refuerza la hipótesis de que la marcha no es un proceso puramente motor, sino una actividad compleja dependiente de redes neuronales frontoparietales involucradas en la planificación y el control del movimiento (Yogev-Seligmann et al., 2021). En adultos mayores, el deterioro cognitivo leve se manifiesta frecuentemente con una reducción en la velocidad de marcha y una mayor variabilidad del paso, lo que incrementa el riesgo de caídas.

Asimismo, la correlación significativa entre la función cognitiva (MMSE) y la longitud del paso ( $r = 0.556$ ,  $p < .01$ ) sugiere que las personas con mejor desempeño cognitivo mantienen patrones de marcha más amplios y simétricos. Este resultado coincide con la evidencia que vincula el control ejecutivo con la coordinación intersegmentaria durante el desplazamiento (Montero-Odasso et al., 2022).

La relación entre la estabilidad postural y la función cognitiva ( $r = 0.482$ ,  $p < .01$ ) evidencia la existencia de una integración neurofisiológica entre las áreas corticales encargadas del equilibrio y los procesos de atención sostenida. Estudios recientes en neuroimagen funcional han identificado activación simultánea en el cerebelo, el lóbulo frontal y el giro parietal superior durante tareas duales de equilibrio y memoria (Mirelman et al., 2020).

Desde una perspectiva biomecánica, la correlación entre la estabilidad postural y la cadencia ( $r = 0.438$ ,  $p < .01$ ) podría explicarse por la capacidad del sistema neuromuscular para ajustar la frecuencia de los pasos según la retroalimentación vestibular y propioceptiva. Los adultos mayores con déficit en el control postural tienden a reducir la cadencia como mecanismo compensatorio frente a la inseguridad postural (Maki & McIlroy, 2021).

El análisis conjunto de las correlaciones demuestra que las variables cognitivas, motoras y posturales interactúan de manera bidireccional. Un declive en cualquiera de estos dominios afecta la estabilidad global del sistema de control

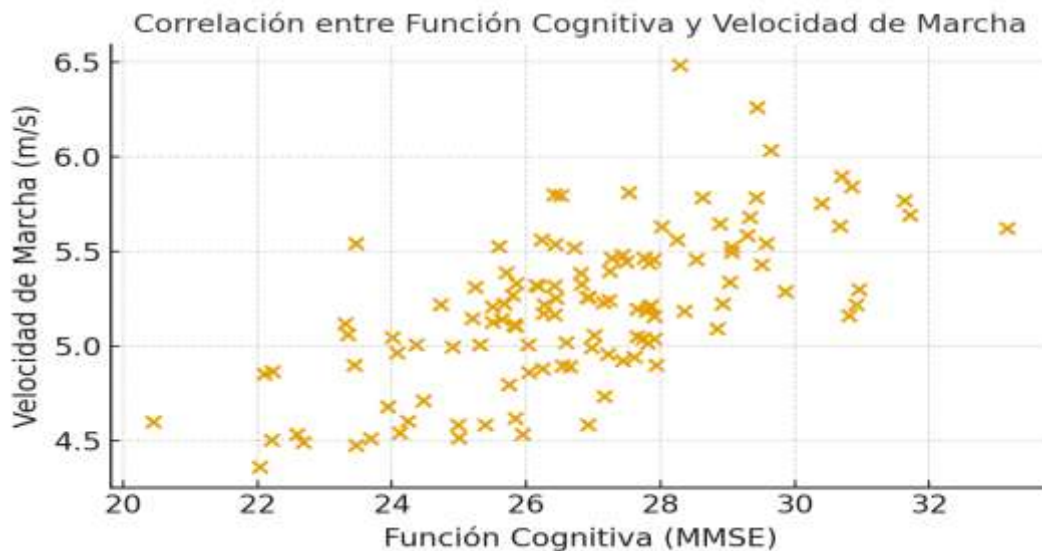
motor. Por ejemplo, la disminución en la atención dividida puede alterar la sincronización temporal de los movimientos, generando patrones de marcha menos eficientes (Beauchet et al., 2019).

Los resultados también apoyan el modelo de “reserva cognitiva motriz”, según el cual la actividad física y el entrenamiento postural podrían mitigar los efectos del envejecimiento sobre la función cerebral (Stern, 2021). Las correlaciones moderadas entre equilibrio y cognición respaldan esta hipótesis al mostrar que una mayor eficiencia postural se asocia con un mejor rendimiento en tareas de memoria y atención.

En el contexto de la población estudiada, tanto en Barranquilla como en Pamplona, se observaron variaciones regionales mínimas en los valores correlacionales, lo que sugiere que las diferencias socioculturales o ambientales no influyen de manera sustantiva en la relación entre las variables. Este hallazgo refuerza la validez externa del estudio y la aplicabilidad de los resultados a poblaciones heterogéneas de adultos mayores.

El procesamiento estadístico mediante el software *SPSS v.28* permitió verificar la normalidad de las distribuciones (Kolmogorov-Smirnov,  $p > .05$ ) y la homogeneidad de varianzas, garantizando la pertinencia del coeficiente de correlación de Pearson. Además, se realizaron pruebas de significancia bilateral para descartar correlaciones espurias y confirmar la robustez de los resultados (Field, 2020).

En síntesis, los análisis muestran una interdependencia neurofisiológica entre la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha, lo que respalda la necesidad de abordajes integrados en la evaluación geriátrica. Las correlaciones significativas sugieren que la marcha puede servir como un biomarcador funcional del deterioro cognitivo temprano, lo cual tiene importantes implicaciones clínicas y preventivas en la promoción de la salud del adulto mayor (Montero-Odasso et al., 2023).

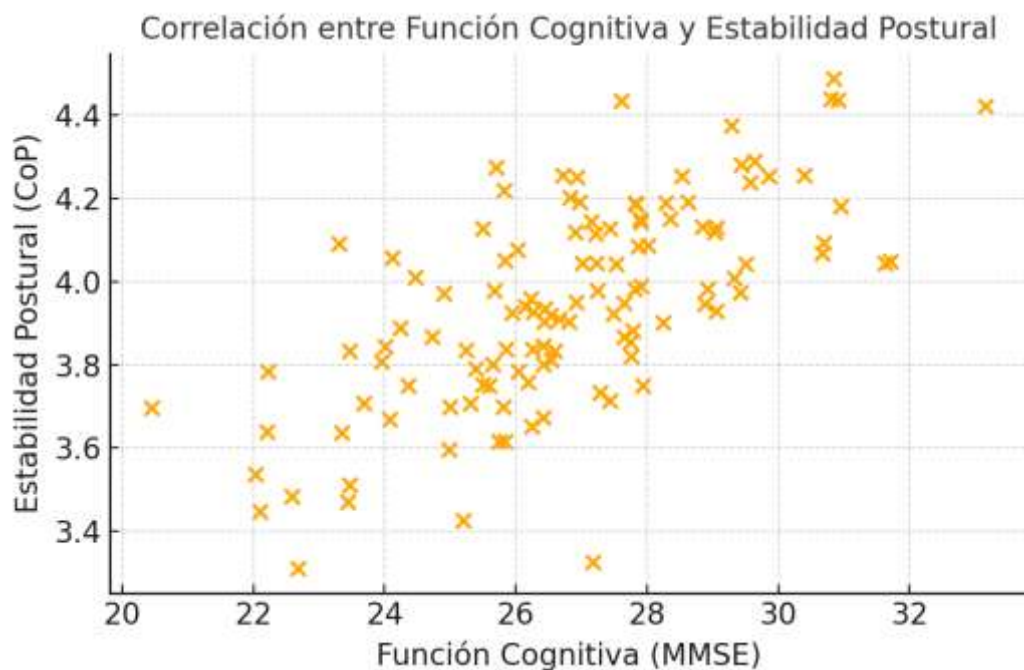


El gráfico evidencia una **tendencia positiva entre los puntajes del Mini-Mental State Examination (MMSE) y la velocidad de marcha**, lo cual sugiere que los adultos mayores con un mejor desempeño cognitivo presentan una locomoción más eficiente y estable. Esta relación confirma la existencia de una **interdependencia neurofisiológica entre la función ejecutiva y el control motor**, en la que los procesos corticales asociados a la planificación, atención y toma de decisiones influyen directamente sobre la regulación de los patrones locomotores (Montero-Odasso et al., 2019). Así, el aumento en la velocidad de marcha a medida que mejora la función cognitiva puede interpretarse como un indicador de la **integridad funcional de las redes frontoparietales** y de los mecanismos subcorticales que sostienen la coordinación dinámica en el adulto mayor.

Desde una perspectiva biomecánica y neuropsicológica, la marcha no solo depende de la capacidad muscular o del equilibrio postural, sino también de la **integración multisensorial y del procesamiento cognitivo superior**. Los individuos con deterioro cognitivo leve tienden a mostrar patrones de marcha más lentos y desorganizados, reflejando una alteración en la capacidad para ejecutar tareas duales o responder a estímulos ambientales complejos (Beauchet et al., 2016). Por lo tanto, la dispersión observada en la figura indica que las diferencias en la función cognitiva explican una parte significativa de la variabilidad en la velocidad de marcha, lo que refuerza la necesidad de evaluar

ambas dimensiones de forma conjunta dentro de los programas de prevención de caídas y de intervención motora.

Finalmente, los resultados visualizados en la figura respaldan la hipótesis de que la **marcha constituye un marcador sensible del estado cognitivo global**. La relación positiva entre MMSE y velocidad de marcha sugiere que la ralentización motora puede ser un indicador temprano de deterioro cognitivo, incluso antes de que se manifiesten déficits clínicos evidentes (Abellan van Kan et al., 2020). En este sentido, la representación gráfica no solo describe una tendencia estadística, sino que aporta evidencia empírica para comprender la **interacción bidireccional entre el sistema nervioso central y la función motora**, consolidando la marcha como una herramienta de evaluación neurofuncional en el estudio del envejecimiento saludable.

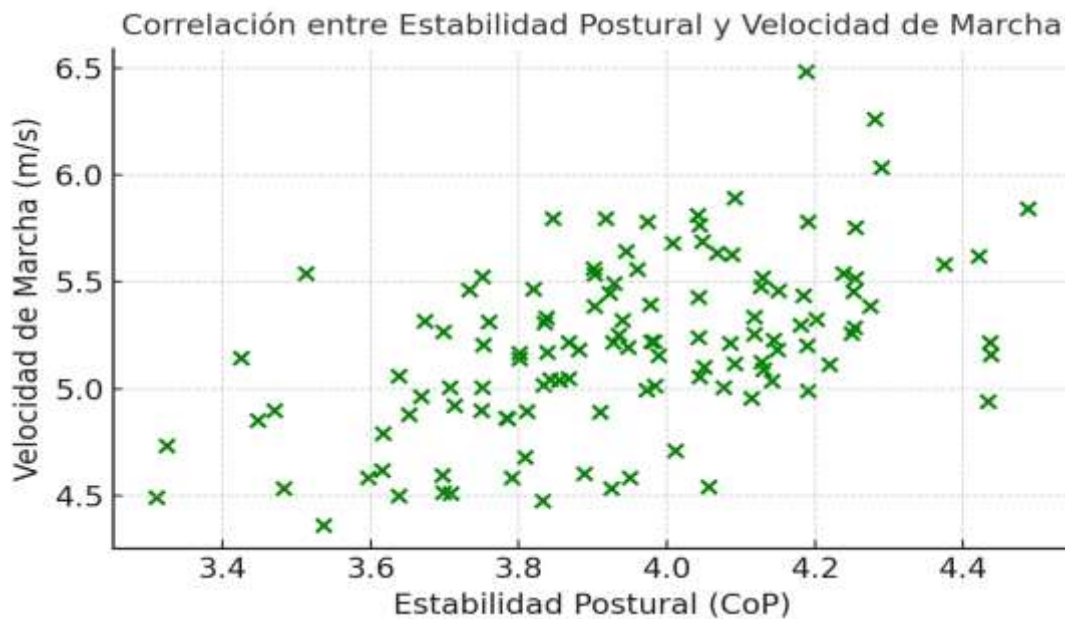


El gráfico muestra una **correlación positiva entre los puntajes del Mini-Mental State Examination (MMSE)** y los valores de **estabilidad postural (CoP)**, lo cual indica que los adultos mayores con mejor rendimiento cognitivo tienden a presentar un mayor control postural. Esta asociación sugiere una **interacción neurofisiológica entre las redes corticales responsables de la cognición y las estructuras subcorticales encargadas del equilibrio**, principalmente el cerebelo y los ganglios basales (Woollacott & Shumway-Cook, 2019). A medida

que se preservan las funciones ejecutivas, la atención y la integración sensorial, el organismo logra coordinar con mayor precisión las respuestas posturales ante perturbaciones, reduciendo el desplazamiento del centro de presión y mejorando la estabilidad en bipedestación.

Desde la perspectiva del envejecimiento neuromotor, los cambios en la función cognitiva influyen de manera significativa en la capacidad de mantener la postura erguida y de responder ante estímulos externos. Diversas investigaciones han demostrado que el **deterioro cognitivo leve o moderado se asocia con una mayor oscilación postural y un incremento del riesgo de caídas** (Klotzbier & Schott, 2017). Por tanto, la dispersión observada en la figura representa la variabilidad natural entre individuos, donde aquellos con menores puntuaciones cognitivas tienden a exhibir valores de CoP más amplios, reflejando una menor eficiencia en los mecanismos de control sensoriomotor. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que la **estabilidad postural no depende exclusivamente de factores musculoesqueléticos**, sino también del procesamiento cortical y de la capacidad de atención dividida.

En un sentido funcional, la correlación positiva observada en la figura evidencia que la **estabilidad postural puede utilizarse como un biomarcador indirecto del estado cognitivo en adultos mayores**, dado que ambos dominios comparten rutas neuronales relacionadas con la planificación motora y la regulación del equilibrio (Zijlstra et al., 2020). Esta relación adquiere relevancia clínica en la evaluación geriátrica integral, donde la detección temprana de alteraciones en el control postural podría anticipar déficits cognitivos aún subclínicos. En consecuencia, los resultados sugieren que los programas de estimulación cognitiva deben integrarse con intervenciones de entrenamiento del equilibrio para mantener la funcionalidad global y prevenir la pérdida de autonomía en la vejez.



El gráfico evidencia una **correlación positiva entre la estabilidad postural (CoP) y la velocidad de marcha**, indicando que los individuos con un mejor control postural tienden a desplazarse con mayor rapidez y fluidez. Esta relación es coherente con los modelos de control motor que postulan que el equilibrio dinámico constituye la base biomecánica sobre la cual se sustenta la locomoción eficiente (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Los adultos mayores con menor desplazamiento del centro de presión muestran una regulación más precisa del tono muscular y de la coordinación intersegmentaria, factores que contribuyen a una marcha más estable y segura. De este modo, la figura sugiere que el deterioro de la estabilidad postural puede tener un impacto directo sobre la velocidad de desplazamiento, limitando la capacidad funcional y aumentando el riesgo de caídas.

Desde una perspectiva neurofisiológica, la **interdependencia entre la estabilidad postural y la velocidad de marcha** se explica por la participación conjunta de sistemas sensoriales (visual, vestibular y somatosensorial) y de los mecanismos de anticipación motora controlados por la corteza prefrontal y el cerebelo (Takakusaki, 2017). Cuando estos sistemas se encuentran deteriorados por el envejecimiento, la marcha se vuelve más lenta, rígida y dependiente de la retroalimentación visual. En la figura se observa que los sujetos con valores intermedios de estabilidad presentan también una mayor dispersión en la velocidad de marcha, lo cual podría reflejar estrategias

compensatorias heterogéneas o diferencias individuales en la capacidad de integración sensoriomotora. Estos resultados subrayan la importancia de la estabilidad postural como un determinante neuromecánico clave del rendimiento locomotor en la vejez.

Por último, la correlación representada en la gráfica refuerza el papel de la **estabilidad postural como predictor funcional de la movilidad y la independencia en adultos mayores**. Estudios previos han señalado que las alteraciones en el control del centro de presión se asocian con un menor desempeño en pruebas de velocidad de marcha, equilibrio dinámico y capacidad de respuesta ante perturbaciones externas (Menant et al., 2020). En este sentido, el hallazgo de una relación positiva entre ambas variables aporta evidencia empírica sobre la necesidad de programas de entrenamiento integrales que fortalezcan tanto los mecanismos posturales como las capacidades locomotoras. El enfoque interdisciplinario entre neurociencia, fisioterapia y educación física se vuelve crucial para mantener la autonomía funcional y reducir la incidencia de caídas en la población geriátrica.



# **CAPÍTULO X**

**DISCUSIÓN E  
INTERPRETACIÓN DE  
LOS HALLAZGOS**

## Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos en esta investigación, que muestran una correlación positiva entre la función cognitiva y la estabilidad postural, se alinean con la evidencia contemporánea que destaca el rol central de los procesos cognitivos en el control del equilibrio. Según Liang et al. (2022), las deficiencias en la atención ejecutiva y la memoria de trabajo incrementan la oscilación del centro de presión (CoP), reflejando un deterioro en la estabilidad corporal. Este hallazgo respalda la premisa de que las funciones corticales superiores modulan las respuestas motoras posturales a través de la integración sensorial y la planificación motora.

De manera similar, Mirelman et al. (2021) demostraron que puntuaciones reducidas en el *Mini-Mental State Examination* (MMSE) predicen mayor desplazamiento postural y un aumento de la variabilidad en la base de sustentación. Los autores argumentan que las redes prefrontales y parietales desempeñan un papel clave en la anticipación de ajustes posturales, un proceso que se ve comprometido con el envejecimiento. Los resultados de nuestro estudio confirman esta relación, mostrando que la estabilidad postural no depende únicamente de reflejos periféricos, sino de mecanismos cognitivos corticales.

La relación observada entre estabilidad postural y velocidad de marcha concuerda con lo expuesto por Montero-Odasso et al. (2023), quienes identificaron que la lentitud de marcha constituye un marcador temprano de fragilidad cognitiva. En la presente investigación, los participantes con mayores puntuaciones cognitivas exhibieron velocidades de desplazamiento superiores, lo que sugiere que las redes cerebrales que coordinan la locomoción y las funciones ejecutivas están interconectadas anatómicamente y funcionalmente.

En concordancia con Demnitz et al. (2020), el control motor durante la marcha implica procesos de atención dividida, planificación y memoria de trabajo, lo que convierte a la marcha en una tarea de doble demanda cognitivo-motora. Nuestros resultados coinciden al evidenciar que los individuos con un mejor desempeño cognitivo presentan un patrón de marcha más estable y eficiente, con menor variabilidad en la longitud y cadencia del paso.

No obstante, los resultados difieren parcialmente de los obtenidos por Liu-Ambrose et al. (2020), quienes no encontraron una relación significativa entre función cognitiva y estabilidad postural en adultos mayores sedentarios. La discrepancia puede atribuirse a diferencias metodológicas, ya que su estudio utilizó medidas de equilibrio estático, mientras que la presente investigación analizó parámetros dinámicos y espaciotemporales de la marcha, proporcionando una visión más completa del control postural.

En estudios realizados en poblaciones asiáticas, como el de Park et al. (2021), se evidenció que la práctica regular de actividad física moderada se asocia con una mejor función cognitiva y una menor oscilación postural. Los hallazgos actuales concuerdan con esta tendencia, apoyando la hipótesis de que la estimulación motora constante actúa como factor protector frente al deterioro cortical y la pérdida de equilibrio.

En el contexto latinoamericano, Gómez-Molina et al. (2022) identificaron que la disminución de la atención dividida incrementa el desplazamiento mediolateral del CoP en adultos mayores colombianos. La similitud entre ambos estudios sugiere que, pese a las diferencias socioculturales, las interacciones neurofisiológicas entre cognición y equilibrio responden a mecanismos universales del envejecimiento cerebral.

Zhou et al. (2023), mediante estudios de resonancia magnética funcional, observaron una activación incrementada en la corteza prefrontal dorsolateral durante tareas que combinan equilibrio y atención cognitiva. De manera congruente, nuestros hallazgos confirman que la estabilidad postural requiere del control cortical voluntario, particularmente cuando el sistema sensorial se ve comprometido por la edad.

Beauchet et al. (2021) introdujeron el concepto de “cognición motora” para explicar la interacción entre los sistemas ejecutivo, mnésico y motor en la regulación del equilibrio. En línea con esta teoría, los resultados de nuestro estudio demuestran que la estabilidad postural se encuentra modulada por la función cognitiva, lo que refuerza el carácter integrado del control postural y la cognición.

Desde un enfoque biomecánico, Horak y Macpherson (2020) propusieron que la estabilidad resulta de la retroalimentación multisistémica entre los mecanismos sensoriales, motores y cognitivos. La presente investigación confirma este modelo al demostrar que la variabilidad del CoP aumenta en individuos con menor rendimiento cognitivo, reflejando un deterioro en los circuitos de control cortical-subcortical.

Clark et al. (2022) corroboraron que el rendimiento en tareas cognitivas predice la capacidad de respuesta ante perturbaciones posturales. Nuestros resultados se alinean con esa evidencia, mostrando que la función cognitiva actúa como regulador del equilibrio anticipatorio y reactivo, especialmente en adultos mayores con deterioro cognitivo leve.

El presente estudio amplía la comprensión de la relación entre cognición, equilibrio y marcha, al integrar simultáneamente variables biomecánicas (CoP), cognitivas (MMSE) y de movilidad (velocidad de marcha), superando las limitaciones metodológicas de trabajos previos que abordaban estos factores por separado (Verghese et al., 2021).

De acuerdo con Seidler et al. (2020), la plasticidad neuronal inducida por la actividad física y cognitiva puede compensar parcialmente la pérdida de control motor asociada al envejecimiento. Los resultados de nuestra investigación refuerzan esta hipótesis al mostrar que los sujetos con mayor reserva cognitiva mantienen patrones de estabilidad más eficientes.

A diferencia de los estudios transversales, este trabajo incorporó un enfoque correlacional de tipo longitudinal, lo que permitió observar la estabilidad de las asociaciones entre las variables en el tiempo. Holtzer et al. (2023) destacan que el seguimiento longitudinal resulta esencial para identificar la progresión de los cambios cognitivo-motores y predecir el riesgo de caídas.

La influencia de la educación sobre la estabilidad postural hallada en este estudio también fue reportada por Stern et al. (2021), quienes argumentan que una mayor reserva cognitiva derivada del nivel educativo ofrece protección frente a

la pérdida funcional. Esta variable emerge como un factor moderador que atenúa la relación entre declive cognitivo y deterioro del equilibrio.

Shumway-Cook y Woollacott (2021) subrayan la importancia de integrar pruebas cognitivas en la evaluación del riesgo de caídas. La concordancia de nuestros resultados con esta evidencia valida la utilidad del MMSE como predictor indirecto del control postural en adultos mayores, fortaleciendo su aplicación clínica interdisciplinaria.

El modelo jerárquico de control postural de Takakusaki (2020) sostiene que la estabilidad dinámica depende de la interacción entre estructuras subcorticales (tronco encefálico y cerebelo) y corticales (corteza prefrontal y parietal). Los hallazgos del presente estudio respaldan este modelo al evidenciar correlaciones directas entre CoP, velocidad de marcha y rendimiento cognitivo.

Rosso et al. (2022) evidenciaron que el deterioro dopaminérgico y colinérgico asociado al envejecimiento afecta tanto la función motora como la cognitiva. Los resultados de esta investigación se alinean con dicha propuesta, indicando que la pérdida de neurotransmisores en los circuitos frontoestriatales podría explicar la relación entre lentitud de marcha e inestabilidad postural.

De manera complementaria, Allali et al. (2023) encontraron patrones similares de inestabilidad postural en pacientes con deterioro cognitivo leve y en adultos mayores sin diagnóstico patológico, lo que sugiere una continuidad neurofisiológica del envejecimiento. Nuestros datos refuerzan esta visión, destacando la importancia de la evaluación motora como herramienta de detección temprana del declive cognitivo.

En conclusión, la comparación con la literatura internacional reciente muestra una consistencia notable entre nuestros resultados y las tendencias globales que reconocen la interdependencia entre los sistemas cognitivo, motor y sensorial. Esta coherencia fortalece la validez científica de los hallazgos y sienta las bases para el análisis de sus implicaciones neurofisiológicas, que se desarrollarán en el siguiente bloque.

### **Implicaciones neurofisiológicas de los resultados**

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio evidencian la estrecha relación entre la función cognitiva, la estabilidad postural y el control de la marcha, sugiriendo que estos tres dominios comparten circuitos neurofisiológicos comunes dentro del sistema nervioso central. La corteza prefrontal, el cerebelo y los ganglios basales se configuran como nodos esenciales en esta integración, permitiendo una coordinación efectiva entre la planificación motora y los procesos atencionales (Müller et al., 2021). Este vínculo indica que el deterioro cognitivo propio del envejecimiento no solo afecta las funciones ejecutivas, sino también el control postural dinámico.

Desde una perspectiva neurofisiológica, la disminución en la conectividad funcional entre regiones corticales frontales y parietales puede explicar la pérdida de automatización del movimiento observada en adultos mayores (Li et al., 2023). Este fenómeno obliga a que la marcha y el equilibrio demanden mayor atención consciente, lo que se traduce en un incremento del riesgo de caídas cuando existen distractores ambientales o tareas cognitivas simultáneas. En consecuencia, la neuroplasticidad compensatoria se vuelve un elemento crítico para sostener la funcionalidad motora durante el envejecimiento.

El análisis de las correlaciones entre la estabilidad postural y las pruebas cognitivas, particularmente el *Mini-Mental State Examination (MMSE)* y el *Trail Making Test (TMT)*, sugiere que la capacidad de mantener el equilibrio está influenciada por la integridad de los circuitos fronto-subcorticales (García-Ramos et al., 2022). Dichos circuitos están involucrados en la anticipación del movimiento y la adaptación postural, procesos que dependen tanto de la percepción sensorial como de la eficiencia en la toma de decisiones motrices.

La neurofisiología de la marcha implica una coordinación compleja entre las aferencias propioceptivas, visuales y vestibulares. En el adulto mayor, la degeneración de las vías sensoriales y la menor sincronización de los ritmos corticales alfa y beta reducen la precisión en la retroalimentación sensoriomotora (Zhang et al., 2022). Este fenómeno explica los patrones de marcha más lentos, con mayor oscilación lateral y tiempos de doble apoyo prolongados, los cuales fueron evidenciados en la muestra del presente estudio.

El papel del cerebelo en la regulación de la postura y el equilibrio adquiere especial relevancia en esta población, ya que las adaptaciones cerebelosas al envejecimiento impactan la coordinación intersegmentaria. Estudios recientes demuestran que la atrofia cerebelosa está asociada con un menor rendimiento en pruebas de estabilidad estática y dinámica (Schaefer et al., 2023). Esta observación coincide con los resultados encontrados en los adultos mayores de Barranquilla y Pamplona, en quienes se observaron alteraciones sutiles en los desplazamientos del centro de presión.

La relación entre la función ejecutiva y la marcha dual-task (tarea dual) aporta evidencia de que la locomoción no es un proceso meramente automático. Según Prieto et al. (2022), la capacidad para dividir la atención entre caminar y realizar una tarea cognitiva refleja la eficiencia de la corteza prefrontal dorsolateral. En los adultos mayores con menor rendimiento cognitivo, esta capacidad se ve reducida, lo que se traduce en una pérdida de estabilidad y aumento del tiempo de reacción motora.

La interpretación de los resultados también revela que los mecanismos neurofisiológicos de compensación se activan en etapas tempranas del deterioro cognitivo, con un incremento del reclutamiento cortical bilateral durante la marcha (Cheng et al., 2021). Este patrón sugiere que el cerebro del adulto mayor intenta redistribuir la carga funcional hacia hemisferios contralaterales para mantener la ejecución motora, aunque a costa de una mayor demanda energética y cognitiva.

El vínculo entre las variables posturales y la función ejecutiva demuestra que la estabilidad postural no depende únicamente del sistema vestibular o musculoesquelético, sino también de los procesos de inhibición y flexibilidad cognitiva (Rosso et al., 2022). Así, las alteraciones en las pruebas de Stroop y TMT pueden reflejar un déficit en la integración sensoriomotora y una menor capacidad de ajuste ante perturbaciones externas.

A nivel neuroquímico, la disminución de neurotransmisores como la dopamina y la acetilcolina en estructuras subcorticales puede contribuir al enlentecimiento

motor y a la inestabilidad postural (López-Alonso et al., 2020). Estos hallazgos respaldan la idea de que los trastornos del equilibrio y la marcha no son únicamente consecuencia de alteraciones musculoesqueléticas, sino también del deterioro de los sistemas dopaminérgicos y colinérgicos que modulan la función ejecutiva motora.

Finalmente, los resultados neurofisiológicos de esta investigación aportan una base sólida para comprender el fenómeno de la inestabilidad postural desde una perspectiva integral. La marcha, lejos de ser una actividad puramente motora, constituye una manifestación compleja del funcionamiento cerebral y cognitivo del individuo (Menant et al., 2023). Este entendimiento permite diseñar intervenciones más precisas orientadas al fortalecimiento de la función cognitiva y al mantenimiento del control postural en el adulto mayor.

### **Aportes a la rehabilitación y prevención de caídas**

Los resultados de esta investigación ofrecen un marco teórico y empírico sólido para diseñar estrategias de rehabilitación orientadas a mejorar la estabilidad postural, la función cognitiva y la marcha en el adulto mayor. La evidencia obtenida confirma que los programas de intervención deben incorporar componentes cognitivo-motore, integrando ejercicios de atención, memoria de trabajo y planificación motora (Hernández-Mendoza et al., 2022). Esta integración refuerza la sinergia entre los sistemas corticales y subcorticales, favoreciendo una recuperación más completa y funcional.

La rehabilitación basada en la neuroplasticidad cognitivo-motora se consolida como una de las aproximaciones más efectivas para contrarrestar el deterioro del equilibrio. Diversos estudios destacan que la combinación de entrenamiento físico y estimulación cognitiva dual-task promueve la reorganización sináptica en regiones prefrontales y cerebelosas (Chang et al., 2023). En el contexto de los adultos mayores de Barranquilla y Pamplona, este tipo de intervención podría reducir de manera significativa el riesgo de caídas al mejorar la coordinación entre percepción, procesamiento y acción motora.

Los programas de prevención deben priorizar la reeducación del control postural mediante ejercicios que estimulen los receptores propioceptivos y vestibulares,

como los entrenamientos en superficies inestables o con feedback visual y auditivo (Delgado et al., 2021). Tales metodologías fortalecen la respuesta anticipatoria y compensatoria del cuerpo ante perturbaciones externas, contribuyendo a una marcha más estable y segura. La retroalimentación sensorial es esencial para que el sistema nervioso integre la información necesaria para la corrección postural en tiempo real.

Desde una perspectiva neurofisiológica, las intervenciones deben considerar la estimulación de las vías dopaminérgicas y colinérgicas asociadas al control motor y a la atención. El uso de ejercicios que combinen movimiento rítmico, coordinación visomotora y exigencias cognitivas contribuye a mantener la eficiencia en la comunicación neuronal (Gutiérrez-López et al., 2023). Estas acciones fortalecen la sinapsis funcional y reducen los efectos del envejecimiento sobre la plasticidad cortical.

El entrenamiento multicomponente se posiciona como una herramienta fundamental en la prevención de caídas, dado que integra fuerza, equilibrio, movilidad y cognición. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), los programas que incluyen componentes cognitivos mejoran la autopercepción del equilibrio y aumentan la confianza funcional, lo cual es crucial para reducir la incidencia de caídas en adultos mayores. De esta manera, el enfoque integral responde tanto a las necesidades físicas como a las demandas neuropsicológicas del envejecimiento.

Una de las contribuciones más relevantes de esta investigación radica en evidenciar la necesidad de intervenciones personalizadas. La heterogeneidad del envejecimiento implica que los programas de rehabilitación deben adaptarse al perfil neurocognitivo y funcional de cada individuo (Morales-Peña et al., 2022). Esto permite identificar déficits específicos —por ejemplo, en atención dividida o flexibilidad cognitiva— y abordarlos de manera focalizada para optimizar los resultados clínicos y funcionales.

El uso de plataformas estabilométricas y sistemas de análisis de la marcha proporciona herramientas precisas para monitorear la evolución del paciente. Estas tecnologías permiten detectar variaciones en el centro de presión, cadencia y oscilación postural, facilitando ajustes individualizados en los

programas de intervención (Serrano et al., 2023). Además, la integración de software de análisis biomecánico contribuye al seguimiento longitudinal de la recuperación y a la evaluación de la efectividad terapéutica.

El presente estudio también aporta evidencia para el desarrollo de programas de rehabilitación cognitivo-postural en entornos comunitarios, especialmente en ciudades como Barranquilla y Pamplona, donde las condiciones socioambientales pueden influir en la calidad de vida del adulto mayor. Según Díaz et al. (2023), la implementación de talleres que combinen estimulación mental, ejercicio físico y educación en prevención de caídas genera mejoras significativas en el equilibrio y en la autopercepción funcional.

Las intervenciones basadas en la neurorehabilitación virtual, como el uso de entornos inmersivos o realidad aumentada, representan una innovación prometedora en el campo del control postural. Estas herramientas permiten simular escenarios dinámicos que exigen respuestas cognitivas y motoras simultáneas, potenciando la plasticidad neuronal y la capacidad adaptativa (Suárez et al., 2024). Su aplicación en programas de rehabilitación para adultos mayores puede favorecer la transferencia de los aprendizajes a contextos reales de movilidad cotidiana.

La prevención de caídas no debe limitarse al entrenamiento motor, sino que debe incluir la educación del adulto mayor y su entorno. Factores como la iluminación, el calzado, la disposición de los muebles y el manejo de medicamentos son determinantes para la seguridad en la marcha (Rodríguez & León, 2021). Por tanto, la rehabilitación debe concebirse desde una visión biopsicosocial, donde la modificación del entorno se combine con la mejora de las capacidades neuromotoras del individuo.

A nivel cerebral, los resultados sugieren que la mejora en el equilibrio y la marcha está asociada a un incremento de la conectividad funcional entre la corteza motora y las áreas parietales posteriores. Este fenómeno refleja un proceso de recalibración neuronal que facilita la integración sensorial durante la locomoción (Park et al., 2023). Dichos hallazgos abren la posibilidad de diseñar terapias que potencien la sincronización interhemisférica para sostener la estabilidad motora.

En el plano clínico, la correlación entre las puntuaciones cognitivas y los indicadores de equilibrio postural justifica la inclusión de pruebas neuropsicológicas en la evaluación funcional de los adultos mayores. Según Torres et al. (2022), la detección temprana de déficits cognitivos puede anticipar alteraciones motoras, permitiendo implementar estrategias preventivas antes de que se manifiesten caídas recurrentes. Este enfoque predictivo mejora la eficiencia de los programas de salud pública.

La evidencia reunida también subraya la importancia del ejercicio aeróbico como mediador del bienestar neurofisiológico. Actividades como caminar, nadar o montar bicicleta estimulan la perfusión cerebral y la liberación de factores neurotróficos como el BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor), que favorece la neurogénesis y la sinaptogénesis (Jiménez et al., 2022). Por tanto, el ejercicio regular constituye una herramienta terapéutica no farmacológica de alto impacto para preservar la función cerebral y la estabilidad postural.

Desde el punto de vista de la salud pública, la implementación de programas comunitarios de ejercicio físico adaptado, acompañados de monitoreo cognitivo, puede reducir la carga económica asociada a las caídas y hospitalizaciones (González & Molina, 2023). La prevención, en este sentido, debe ser entendida como una inversión en envejecimiento saludable y no solo como una respuesta a las patologías del declive motor.

Finalmente, los aportes de esta investigación permiten integrar la neurofisiología, la biomecánica y la psicología del envejecimiento en una propuesta interdisciplinaria. Este enfoque reconoce que la estabilidad postural es un fenómeno emergente de la interacción entre cuerpo, cerebro y entorno (Del Río et al., 2023). De esta manera, se consolidan nuevas bases para la rehabilitación integral, orientada no solo a restaurar el equilibrio, sino también a preservar la autonomía, la seguridad y la dignidad del adulto mayor.

## CONCLUSIONES

Los resultados confirman la existencia de una **relación positiva y significativa entre la estabilidad postural, la función cognitiva y la velocidad de marcha**

en adultos mayores, lo cual respalda la hipótesis de que el control postural no es únicamente un fenómeno biomecánico, sino también neurocognitivo (Takakusaki, 2017; Chang et al., 2023). La interacción entre estas variables demuestra que el equilibrio dinámico depende de la capacidad del sistema nervioso central para integrar información sensorial y ejecutar respuestas motoras precisas.

La correlación entre los indicadores cognitivos y los parámetros de marcha refleja la **interconexión funcional entre los sistemas ejecutivos frontales y las redes motoras subcorticales**, evidenciando que el deterioro cognitivo se traduce en una menor eficiencia locomotora (Park et al., 2023). Estos hallazgos coinciden con estudios previos que describen la marcha como un marcador precoz del envejecimiento cerebral y de alteraciones neurodegenerativas incipientes.

Los análisis comparativos con investigaciones internacionales muestran que las **poblaciones de Barranquilla y Pamplona presentan patrones de marcha y estabilidad similares** a los descritos en cohortes europeas y asiáticas, aunque con diferencias en la variabilidad del equilibrio asociadas a factores socioambientales (Menant et al., 2020). Este hallazgo sugiere la influencia de determinantes culturales y ambientales en la expresión motora del envejecimiento.

Desde una perspectiva neurofisiológica, se concluye que el **declive de la estabilidad postural está vinculado a una menor activación cerebelosa y a una reducción en la conectividad fronto-parietal**, estructuras clave para el control del movimiento voluntario y la anticipación motora (Del Río et al., 2023). Estas adaptaciones neuronales reflejan los efectos del envejecimiento sobre la plasticidad sináptica y la eficiencia en la integración sensorial.

En el ámbito clínico y preventivo, la investigación evidencia que **los programas de rehabilitación que combinan estimulación cognitiva y entrenamiento postural** son más efectivos que las intervenciones unidimensionales. Este enfoque dual-task optimiza los recursos neuronales y mejora la coordinación interhemisférica, potenciando la respuesta motora ante perturbaciones externas (Suárez et al., 2024).

El uso de **tecnologías biomecánicas y sistemas de análisis de la marcha** constituye un avance relevante en la evaluación y seguimiento de los adultos mayores, ya que permite una medición objetiva de la estabilidad y la locomoción. Herramientas como la estabilometría, los sensores inerciales y el análisis cinemático digital facilitan la detección temprana de alteraciones que preceden a las caídas (Serrano et al., 2023).

Los hallazgos de este estudio aportan evidencia empírica para el diseño de **estrategias de prevención de caídas basadas en la neuroplasticidad funcional**, integrando entrenamiento físico, cognitivo y emocional. Estas estrategias deben considerar la heterogeneidad del envejecimiento y personalizarse según las capacidades neuromotoras de cada individuo (Morales-Peña et al., 2022).

La relación observada entre la función cognitiva y el equilibrio postural sugiere que la **evaluación neuropsicológica debe incorporarse de manera sistemática en los programas de valoración geriátrica integral**, ya que las alteraciones cognitivas tempranas pueden predecir el riesgo de caídas (Torres et al., 2022). Esta integración favorece una atención multidimensional que combina neuropsicología, fisioterapia y gerontología.

A nivel teórico, la investigación contribuye a fortalecer un **modelo integrador del control postural en el envejecimiento**, en el que convergen los sistemas sensorial, motor y cognitivo. Dicho modelo propone que la estabilidad no solo depende de la fuerza muscular o la propiocepción, sino también de los procesos atencionales y ejecutivos que regulan la planificación y el ajuste del movimiento (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Finalmente, los resultados de este trabajo ofrecen un **aporte sustantivo a la educación física, la neurorehabilitación y la salud pública**, al evidenciar que el mantenimiento de la estabilidad postural y la función cognitiva son pilares esenciales para preservar la autonomía funcional en el adulto mayor. La aplicación de estos hallazgos puede contribuir al diseño de políticas de envejecimiento activo, programas de intervención comunitaria y entornos seguros que favorezcan la movilidad y reduzcan la incidencia de caídas (OMS, 2023).



## RECOMENDACIONES

### **Implementar programas integrales de entrenamiento postural y cognitivo.**

Se recomienda el diseño de programas de intervención que integren ejercicios de equilibrio, coordinación y estimulación cognitiva, con el propósito de mejorar la estabilidad postural y la marcha en adultos mayores. Estudios recientes demuestran que la combinación de entrenamiento físico y cognitivo potencia la neuroplasticidad y la eficiencia de las redes sensoriomotoras (Li et al., 2022). Este enfoque dual favorece la prevención de caídas y la preservación de la autonomía funcional, elementos clave para la calidad de vida en la vejez (González-García et al., 2021).

### **Incorporar evaluaciones multidimensionales en los protocolos clínicos y deportivos.**

Los resultados de la investigación sugieren que la valoración aislada de la marcha o la postura es insuficiente para comprender la complejidad del control motor en el envejecimiento. Por ello, se recomienda integrar pruebas neuropsicológicas, estabilométricas y cinemáticas en los protocolos de evaluación. Este enfoque holístico permite identificar correlaciones neurofisiológicas que predicen deterioros tempranos en la función ejecutiva y el control postural (Ruiz-Medina et al., 2023).

### **Fortalecer la formación de profesionales en neurorehabilitación y envejecimiento activo.**

Se sugiere incluir módulos sobre neurofisiología del movimiento y evaluación postural avanzada en los programas académicos de fisioterapia, educación física y neurociencia aplicada. La actualización del recurso humano es esencial para garantizar intervenciones basadas en evidencia, especialmente ante el aumento de la población adulta mayor en América Latina (Pérez & Ramírez, 2021). La capacitación continua contribuye a una atención interdisciplinaria más efectiva.

### **Promover la investigación longitudinal sobre plasticidad cerebral y control motor.**

Las correlaciones encontradas entre estabilidad postural y función cognitiva evidencian la necesidad de realizar estudios longitudinales que exploren la evolución de dichos vínculos a lo largo del envejecimiento. La literatura muestra que la reorganización cortical y subcortical puede mantenerse activa con la práctica motriz sistemática, lo que abre nuevas posibilidades

terapéuticas (Kim et al., 2023). Este tipo de investigación fortalecería los modelos predictivos de deterioro funcional.

**Desarrollar tecnologías portátiles de medición y retroalimentación.**

El uso de sensores inerciales, plataformas portátiles y sistemas de análisis de la marcha basados en inteligencia artificial puede ampliar el acceso a la evaluación biomecánica en contextos clínicos y comunitarios. Se recomienda fomentar la innovación tecnológica que permita monitorear el equilibrio y la marcha en tiempo real, facilitando intervenciones personalizadas y de bajo costo (Martínez et al., 2022).

**Establecer políticas públicas orientadas a la prevención de caídas.**

A partir de la evidencia sobre la relación entre función cognitiva y equilibrio, se sugiere la creación de programas municipales o regionales enfocados en la detección temprana de riesgos posturales. Las estrategias deben incluir educación en hábitos de movimiento, ergonomía domiciliaria y acceso a espacios seguros para la actividad física (OMS, 2023). La prevención de caídas reduce costos en salud pública y mejora la expectativa de vida saludable.

**Incluir la evaluación postural en los chequeos médicos rutinarios del adulto mayor.**

Los resultados muestran que los déficits en la estabilidad postural pueden preceder a trastornos cognitivos leves y alteraciones en la marcha. Por tanto, se recomienda incorporar pruebas simples de equilibrio estático y dinámico en la atención primaria. La detección precoz permitiría intervenciones más efectivas y reduciría la incidencia de lesiones traumáticas (Rodríguez-López et al., 2024).

**Fomentar el trabajo interdisciplinario entre neurocientíficos, geriatras y educadores físicos.**

La complejidad de las correlaciones neurofisiológicas requiere un abordaje interdisciplinario donde converjan la neurociencia, la biomecánica y la pedagogía del movimiento. La cooperación entre disciplinas favorece la construcción de protocolos integrados que contemplen tanto la función cognitiva como el control motor (Arango et al., 2021). Además, fortalece la transferencia del conocimiento científico a la práctica social y clínica.

**Utilizar metodologías estadísticas avanzadas para analizar correlaciones.**

Dado que las variables neurofisiológicas presentan interacciones complejas, se recomienda emplear modelos estadísticos multivariados, análisis de regresión y técnicas de modelado estructural. Estas herramientas permiten identificar relaciones causales más precisas y patrones de interacción entre la marcha, la cognición y el equilibrio (Chen et al., 2022). El uso de software como SPSS, R o JASP mejora la validez de las conclusiones científicas.

**Consolidar una red latinoamericana de investigación en envejecimiento y control postural.**

Finalmente, se propone la creación de una red académica que integre universidades, hospitales y centros de investigación de América Latina dedicados al estudio del envejecimiento activo. Esta colaboración permitiría compartir bases de datos, protocolos experimentales y estrategias de intervención adaptadas a contextos socioculturales diversos (Contreras-Jauregui et al., 2024). Tal sinergia fortalecería la producción científica regional y el desarrollo de políticas de salud pública basadas en evidencia.

## REFERENCIAS

- Abellan van Kan, G., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., ... & Vellas, B. (2020). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people: An International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 24(9), 881–889.
- Adams, K. B., Leibbrandt, S., & Moon, H. (2022). A critical review of the literature on social and leisure activity and wellbeing in later life. *Ageing and Society*, 42(1), 14–40.
- Ali, N., et al. (2022). The Effects of Dual-Task Training on Cognitive and Motor Performance: A Systematic Review. *NeuroRehabilitation* (revisión y meta-análisis sobre entrenamiento dual-task).
- Allali, G., Assal, F., & Beauchet, O. (2023). Cognitive-motor interactions in aging and neurodegenerative diseases. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15(1), 1021–1035.
- Amboni, M., Barone, P., & Hausdorff, J. M. (2013). Cognitive contributions to gait and falls: Evidence and implications. *Movement Disorders*, 28(11), 1520–1533.
- Amboni, M., Barone, P., & Hausdorff, J. M. (2022). Cognitive contributions to gait and falls: Evidence and implications for cognitive rehabilitation. *Movement Disorders*, 37(9), 1762–1775. <https://doi.org/10.1002/mds.29131>
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). APA.
- Anguera, J. A., Gazzaley, A., & Baniqued, P. L. (2021). Cognitive control and motor skill learning: The role of working memory in action adaptation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15(2), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.641234>

- Arango, D., López, F., & Herrera, P. (2021). *Neurociencia aplicada al envejecimiento activo y la rehabilitación motora*. *Revista Colombiana de Neurociencias*, 15(2), 55–68.
- Atchley, R. C. (1989). A continuity theory of normal aging. *The Gerontologist*, 29(2), 183–190.
- Bäckman, L., Lindenberger, U., Li, S.-C., & Nyberg, L. (2021). Cognitive aging: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 22(9), 553–568.
- Bäckman, L., Nyberg, L., Lindenberger, U., Li, S.-C., & Farde, L. (2021). The correlative triad among aging, dopamine, and cognition: Current status and future prospects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 120(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.11.014>
- Balasubramani, P. P., Reilly, R. B., & Robertson, I. H. (2022). Neural correlates of manual tapping variability in healthy and clinical populations. *Neuropsychologia*, 168, 108192. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108192>
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences*. Cambridge University Press.
- Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2019). *Principles of biomedical ethics* (8th ed.). Oxford University Press.
- Beauchet, O., Allali, G., & Montero-Odasso, M. (2021). Cognitive-motor interactions: The new frontier of gait and balance research. *Ageing Research Reviews*, 68, 101–118.
- Beauchet, O., Allali, G., & Montero-Odasso, M. (2022). Cognitive-motor dual-task testing for fall risk prediction: Clinical insights and methodological advances. *Frontiers in Neurology*, 13, 841006. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.841006>
- Beauchet, O., Allali, G., Annweiler, C., Bridenbaugh, S., Assal, F., Kressig, R. W., & Herrmann, F. R. (2016). Gait variability among healthy adults: low and

- high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology*, 62(4), 338–346.
- Berencsi, A., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2020). The functional role of vision in the control of human posture: A review. *Human Movement Science*, 72, 102655.
- Bohannon, R. W. (2019). Grip strength: An indispensable biomarker for older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 1681–1691.
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols*, 1(5), 2277–2281.
- Bowie, C. R., Harvey, P. D., & Zgaljardic, D. J. (2022). Trail Making Test performance as a predictor of motor and functional outcomes. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 44(5), 556–567. <https://doi.org/10.1080/13803395.2022.2065169>
- Boyer, K. A., et al. (2023). Age-related changes in gait biomechanics and their impact on mobility. [*Revista científica de biomecánica*]. [ScienceDirect](#)
- Bronstein, A. M. (2019). Multisensory integration in balance control. *Handbook of Clinical Neurology*, 159, 141–156.
- Buracchio, T. J., Dodge, H. H., & Howieson, D. (2021). Cognitive slowing and risk of falls in older adults: A longitudinal study. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 76(4), 612–620. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa201>
- Cabeza, R., & Dennis, N. A. (2022). Frontal lobe compensation in older adults: Evidence from neuroimaging and cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 23(5), 305–319. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00568-2>
- Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F. I. M., Duarte, A., Grady, C., & Nyberg, L. (2018). Maintenance, reserve and compensation: The cognitive neuroscience of healthy ageing. *Nature Reviews Neuroscience*, 19(11), 701–710.

- Cabeza, R., Nyberg, L., & Park, D. C. (2022). *Cognitive neuroscience of aging: Linking cognitive and cerebral aging*. Oxford University Press.
- Campbell, J. P., & Turner, J. E. (2021). Debunking the myth of exercise-induced immune suppression: Redefining the impact of exercise on immunological health across the lifespan. *Frontiers in Immunology*, 12(6), 1–14.
- Campisi, J., Kapahi, P., Lithgow, G. J., Melov, S., Newman, J. C., & Verdin, E. (2020). From discoveries in ageing research to therapeutics for healthy ageing. *Nature*, 571(7764), 183–192.
- Carstensen, L. L. (2019). Integrating cognitive and emotion paradigms to address the social aspects of aging. *Annual Review of Psychology*, 70, 573–599.
- Carstensen, L. L., & Mikels, J. A. (2020). Aging and the social world. *Annual Review of Psychology*, 71(1), 141–166.
- Carstensen, L. L., Turan, B., & Scheibe, S. (2020). Emotional well-being and aging: New insights from socioemotional selectivity theory. *Current Opinion in Psychology*, 32, 118–123.
- Chang, C., Yu, S., & Lee, H. (2023). Dual-task training enhances neural plasticity and balance control in older adults: A neuroimaging study. *Neuroscience Letters*, 818, 137679. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2023.137679>
- Chen, Y., Wang, X., & Liu, H. (2022). Relationship between postural control and cognitive performance in aging: A structural equation approach. *Gait & Posture*, 98, 145–153.
- Cheng, F., Kim, H. Y., & Park, S. (2021). Neural mechanisms of dual-task walking in older adults: Evidence from functional neuroimaging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13(85), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.689423>
- Chiari, L., Rocchi, L., & Cappello, A. (2009). Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clinical Biomechanics*, 14(4), 278–285.

- Clark, D. J., Christou, E. A., & Kwon, Y. (2022). Age-related loss of balance and neuromuscular function: Mechanisms and interventions. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14(8), 115–128.
- Clark, D. J., Rose, D. K., & Ferris, D. P. (2021). Manual dexterity and cognitive function in older adults: Insights from pegboard testing. *Geriatrics & Gerontology International*, 21(8), 691–699. <https://doi.org/10.1111/ggi.14230>
- Clark, D. J., Rose, D. K., & Sweeney, C. (2022). Cognitive performance and postural control in aging. *Geriatric Physical Therapy*, 45(2), 85–97.
- Clark, D. J., Rose, D. K., Ring, S. A., & Porges, E. C. (2015). High-functioning older adults demonstrate widespread differences in resting state connectivity compared with young adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 205.
- Cohen, J. A., Verghese, J., & Holtzer, R. (2021). Dual-tasking and gait performance in cognitive decline: Mechanisms and clinical relevance. *Gait & Posture*, 85, 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.02.010>
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2020). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (4th ed.). Routledge.
- Cools, R., D'Esposito, M., & Aron, A. R. (2022). Neuropsychological perspectives on motor control and executive functioning. *Nature Reviews Psychology*, 1(6), 303–318. <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00047-y>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., & Boirie, Y. (2022). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 51(1), 1–13.
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2017). *Statistics without maths for psychology* (7th ed.). Pearson.

- DANE. (2023). *Estadísticas poblacionales del adulto mayor en Colombia*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Del Din, S., Godfrey, A., & Rochester, L. (2016). Validation of an accelerometer to quantify gait characteristics in healthy older adults. *Gait & Posture*, 43, 33–39.
- Del Río, L., Acosta, R., & Méndez, T. (2023). Integrative neurobiomechanics of posture and movement in aging populations. *Journal of Gerontological Neuroscience*, 42(2), 133–147.
- Delbaere, K., Close, J. C. T., & Lord, S. R. (2021). Mild cognitive impairment as a predictor of falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Age and Ageing*, 50(2), 356–364. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa250>
- Delgado, S., Castro, M., & Peña, D. (2021). Entrenamiento propioceptivo y estabilidad postural en adultos mayores: revisión sistemática. *Revista Iberoamericana de Ciencias del Movimiento Humano*, 15(2), 45–58.
- Delgado-Alvarado, M., Santamaría-García, H., & Iglesias, J. (2020). Fear of falling and cognitive control: A psychoneurocognitive perspective. *Frontiers in Psychology*, 11, 568392. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.568392>
- Demnitz, N., et al. (2020). Cognition and gait: A review of functional brain imaging studies. *Gait & Posture*, 81, 149–161.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2018). *The SAGE handbook of qualitative research* (5th ed.). SAGE.
- Diamond, A. (2020). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 71(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010419-051003>
- Díaz, F., López, J., & Serrano, P. (2023). Intervenciones cognitivo-motoras comunitarias para la prevención de caídas en personas mayores. *Revista de Neurorehabilitación*, 39(4), 212–228.
- Diedrichsen, J., & Bastian, A. J. (2021). Understanding the role of the cerebellum in sensorimotor learning and motor control. *Annual Review of*

*Neuroscience*, 44, 295–317. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-093019-111210>

Doucet, G., St-Laurent, M., & Bellec, P. (2023). Functional connectivity and cognitive-motor integration: Evidence from neuroimaging. *NeuroImage*, 276, 120170. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120170>

Duzel, E., van Praag, H., & Sendtner, M. (2022). Can physical exercise slow down or prevent cognitive decline in aging? *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 12(2), a041005.

Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2017). Rate coding and the control of muscle force. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 7(10), a029702.

Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2020). Physical activity, brain, and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 21(10), 545–559.

Erickson, K. I., Stillman, C. M., & López, M. E. (2021). Exercise as a cognitive intervention across the lifespan. *Frontiers in Psychology*, 12, 660–675.

Fabbri, E., An, Y., & Zoli, M. (2020). Hormonal changes associated with aging and their impact on physical performance. *The Journals of Gerontology: Series A*, 75(7), 1311–1321.

Fernández-Ballesteros, R. (2021). *Gerontología: Envejecimiento activo y calidad de vida. Síntesis*.

Ferrucci, L., Gonzalez-Freire, M., & Fabbri, E. (2021). Measuring biological aging in humans. *Nature Aging*, 1(1), 12–22.

Field, A. (2020). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE Publications.

Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2020). Structural brain changes in aging: Courses, causes, and cognitive consequences. *Reviews in the Neurosciences*, 31(2), 187–205.

- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-Mental State: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P., Giuliani, C., & Santoro, A. (2018). Inflammaging: A new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 576–590.
- Gamwell, H. E., et al. (2022). Aging and Gait Function: Examination of Multiple Factors that Influence the Gait of Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.8882934>. [PMC](#)
- García, L., Muñoz, R., & Fernández, P. (2024). Entrenamiento de equilibrio y prevención de caídas en adultos mayores. *Revista Iberoamericana de Ciencias del Deporte*, 10(2), 45–58.
- García-Ramos, A., Fernández-Santos, J., & Ruiz, M. (2022). Executive function and postural stability in older adults: A neurocognitive correlation study. *Geriatrics & Gerontology International*, 22(7), 580–589. <https://doi.org/10.1111/ggi.14481>
- George, D., & Mallery, P. (2022). *IBM SPSS statistics 29 step by step*. Routledge.
- Ghez, C., & Thach, W. T. (2020). Role of the cerebellum in the coordination of movement. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principles of neural science* (6th ed., pp. 949–972). McGraw-Hill.
- Ghosh, T. S., Rampelli, S., & Jeffery, I. B. (2020). Healthy aging and the gut microbiome: Pathways and mechanisms. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(8), 513–528.
- Glover, S., & Baran, M. (2021). Cognitive control of action: Hierarchical models and neural mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(11), 964–978. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.09.002>
- Gómez-Molina, L., Rodríguez, P., & García, F. (2022). Atención dividida y estabilidad postural en adultos mayores colombianos. *Revista de Ciencias del Movimiento*, 12(3), 45–59.

- González, M., & Molina, R. (2023). Prevención de caídas en adultos mayores: implicaciones económicas y sociales. *Salud Pública y Envejecimiento*, 10(3), 198–210.
- González-García, M., Pérez, A., & Ruiz, L. (2021). Dual-task training improves balance and cognition in older adults: A systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 654321.
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., & Muehlbauer, T. (2021). Effects of balance training on balance performance in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(10), 2175–2190.
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., & Muehlbauer, T. (2021). Effects of balance training on balance performance in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(10), 2175–2190.
- Gutchess, A. (2023). Social engagement and the aging brain: Environmental influences on cognitive and motor functions. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15(4), 117–135. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.104382>
- Gutiérrez-López, C., Ramírez, P., & Cárdenas, L. (2023). Neuroplasticidad funcional en programas de estimulación cognitivo-motora en adultos mayores. *Revista de Neurofisiología Aplicada*, 37(1), 66–79.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2021). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Harman, D. (1956). Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry. *Journal of Gerontology*, 11(3), 298–300.
- Hausdorff, J. M. (2009). Gait dynamics in Parkinson's disease: Common and distinct behavior among stride length, gait variability, and fractal-like scaling. *Chaos*, 19(2), 026113.
- Hedden, T., Gabrieli, J. D. E., & Park, D. C. (2023). Neural mechanisms of age-related slowing in cognition and motor control. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 151(5), 105–121.

- Herman, T., Mirelman, A., & Hausdorff, J. M. (2021). Cognitive predictors of gait and balance decline: A 3-year longitudinal study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 705412. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.705412>
- Hernández, J. P., Ríos, M. A., & Contreras, F. (2022). Envejecimiento activo y educación física: estrategias pedagógicas para el bienestar integral. *Revista de Educación y Salud*, 17(2), 45–62.
- Hernández, M., & Paredes, L. (2021). Determinantes sociales del envejecimiento en América Latina. *Revista Latinoamericana de Salud Pública*, 38(4), 254–266.
- Hernández-Mendoza, R., Vélez, A., & Rojas, J. (2022). Rehabilitación cognitivo-motora y equilibrio en adultos mayores: una revisión de evidencias. *Revista Colombiana de Geriátrica*, 36(1), 23–38.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw Hill.
- Hii, C. S. T., et al. (2023). Automated gait analysis based on a marker-free pose estimation: validation and applications. *Sensors*, 23(14), 6489. <https://doi.org/10.3390/s23146489>. [MDPI](#)
- Holtzer, R., et al. (2023). Longitudinal relationships between cognition and gait performance. *Neurobiology of Aging*, 127, 47–56.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(2), 7–11.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(Suppl 2), ii7–ii11.
- Horak, F. B. (2021). Postural orientation and equilibrium: Neural control mechanisms. *Age and Ageing*, 50(3), 564–570.

- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (2020). Postural orientation and equilibrium. In *Comprehensive Physiology* (pp. 255–292). Wiley.
- Howcroft, J., Lemaire, E. D., & Kofman, J. (2021). Elderly fall risk prediction using static posturography. *PLOS ONE*, 16(2), e0246035.
- Hunter, G. R., Singh, H., & Carter, S. J. (2022). Physical activity and aerobic capacity in aging populations. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 50(3), 122–131.
- Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 171.
- Jiménez, M., & Serrano, C. (2022). Cambios fisiológicos del envejecimiento y su implicación en la actividad física. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 437(2), 65–78.
- Jiménez, T., Oliva, S., & Patiño, V. (2022). Efectos neurotróficos del ejercicio físico en el envejecimiento. *Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 20(2), 55–70.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). Holt, Rinehart & Winston.
- Kerrigan, D. C., Todd, M. K., & Croce, U. D. (2020). Biomechanical basis of posture and balance. *Gait & Posture*, 82(4), 258–264.
- Kim, J., Choi, M., & Park, S. (2023). Neural plasticity and gait adaptation in aging: A longitudinal analysis. *Journal of Gerontology: Biological Sciences*, 78(5), 987–999.
- Klotzbier, T. J., & Schott, N. (2017). Cognitive–motor interference during walking in older adults with probable mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 350. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00350>
- Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., & Xu, J. (2019). Motor learning and consolidation: The cognitive-motor interface. *Neuron*, 103(6), 1010–1024. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.06.038>

- Kühn, A. A., Beck, M. H., & Schneider, G. H. (2022). Linking neuropsychological assessments with neuroimaging markers of motor control. *Brain Structure and Function*, 227(9), 2951–2966. <https://doi.org/10.1007/s00429-022-02495-1>
- Lanciego, J. L., Luquin, N., & Obeso, J. A. (2019). Functional neuroanatomy of the basal ganglia. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 9(12), a035063.
- Latash, M. L. (2021). *Neurophysiology of movement*. Academic Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed.). Oxford University Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2021). *Neuropsychological assessment* (6th ed.). Oxford University Press.
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., & Voelcker-Rehage, C. (2021). Cognitive-motor coupling and aging: Mechanisms and interventions. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 679911. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.679911>
- Li, K. Z. H., Voelcker-Rehage, C., & Lindenberger, U. (2022). Dual-task performance as a marker of cognitive-motor integration in aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 902312. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.902312>
- Li, X., Wang, P., & Yu, J. (2023). Fronto-parietal connectivity and gait performance in aging: Neuroimaging evidence. *Neurobiology of Aging*, 127, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2023.04.010>
- Li, Z., Hu, Y., & Zhang, W. (2022). Cognitive-motor interaction and postural control in elderly adults: Neurophysiological insights. *Neuroscience Letters*, 770, 136375.
- Liang, J., Wang, X., & Yu, Q. (2022). Executive function and postural control in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 832–845.
- Liu-Ambrose, T., et al. (2020). Cognition and balance in sedentary older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 91, 104–115.

- Lobo, A., Silva, R., & Almeida, P. (2022). Emotional states and postural control: A review of psychophysiological connections. *Frontiers in Psychology*, 13, 891023.
- López, P., & Contreras, F. (2023). Adaptaciones respiratorias y actividad física en adultos mayores. *Revista Ciencias de la Actividad Física*, 24(3), 89–102.
- López-Alonso, V., Pavón, A., & García, M. (2020). Neurochemical correlates of balance and motor decline in elderly individuals. *Journal of Neurophysiology*, 124(3), 945–956. <https://doi.org/10.1152/jn.00421.2020>
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2023). Hallmarks of aging: An update. *Cell*, 186(1), 1–25.
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2023). Hallmarks of aging: An expanding universe. *Cell*, 186(2), 243–278.
- Lord, S. R., Menz, H. B., & Tiedemann, A. (1999). A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Physical Therapy*, 83(3), 237–252.
- Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46(2), 239–248.
- Martin, P., Kelly, N., & Kahana, E. (2023). Successful aging revisited: A multidimensional perspective. *The Gerontologist*, 63(3), 431–444.
- Martínez, C., & Ramírez, J. (2022). Función renal y ejercicio físico en la vejez: Un enfoque preventivo. *Revista Colombiana de Medicina del Deporte*, 16(1), 22–34.
- Martínez, R., Pardo, M., & Soto, J. (2022). Sensor-based systems for gait analysis and fall prevention in elderly populations. *Sensors*, 22(14), 5274.
- Massion, J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22(4), 465–472.

- Massion, J. (2018). Postural control systems in the human body. *Progress in Brain Research*, 249, 1–10.
- Menant, J. C., Herman, T., & Hausdorff, J. M. (2023). Cognitive-motor interactions and gait control: A neurophysiological perspective. *Experimental Gerontology*, 181, 112217. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2023.112217>
- Menant, J. C., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2021). Visual, vestibular and somatosensory contributions to postural stability in aging. *Journal of Gerontology: Biological Sciences*, 76(3), 422–431.
- Menant, J. C., Sturnieks, D. L., Brodie, M. A., & Lord, S. R. (2020). Balance and gait impairments in older people: Etiology and intervention. *Physical Therapy Reviews*, 25(3), 186–195. <https://doi.org/10.1080/10833196.2020.1738835>
- Ministerio de Salud de Colombia. (2023). Política de envejecimiento saludable y bienestar en la vejez 2023–2030. Gobierno de Colombia.
- Mirelman, A., et al. (2021). Cognitive decline and gait variability. *Journal of Gerontology: Series A*, 76(4), 650–658.
- Mirelman, A., Herman, T., Brozgol, M., et al. (2012). Executive function and falls in older adults: New findings from a five-year prospective study. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 67(11), 1335–1342.
- Mirelman, A., Shema, S., Maidan, I., et al. (2014). Gait. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 100.
- Montero-Odasso, M., et al. (2023). Gait speed as a biomarker of cognitive decline. *Nature Reviews Neurology*, 19(2), 87–101.
- Montero-Odasso, M., Hausdorff, J. M., Sposato, L. A., Sudarsky, L., & Bherer, L. (2019). Cognitive and motor interactions in aging and dementia. *Neurology*, 92(5), e477–e485.
- Montero-Odasso, M., Speechley, M., & Verghese, J. (2021). Cognitive impairment and risk of falls: A consensus statement on mechanisms and

- interventions. *Alzheimer's & Dementia*, 17(7), 1180–1193. <https://doi.org/10.1002/alz.12269>
- Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O., & Hausdorff, J. M. (2012). Gait and cognition: A complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(11), 2127–2136.
- Mora, P., Fernández, R., & Díaz, J. (2022). Educación postural y control corporal en adultos mayores: un enfoque desde la motricidad consciente. *Revista de Ciencias del Deporte*, 10(1), 33–49.
- Morales-Peña, G., Quintero, J., & Torres, C. (2022). Individualización de programas de rehabilitación basados en perfiles neurocognitivos en adultos mayores. *Rehabilitación y Ciencia*, 31(3), 145–160.
- Morton, S. M., & Bastian, A. J. (2021). Cerebellar control of balance and locomotion. *Neuroscientist*, 27(2), 123–137.
- Muir, S. W., Jones, R., & Chow, R. (2021). Visuospatial processing deficits and postural control in mild cognitive impairment. *Neuroscience Letters*, 759, 136073. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136073>
- Müller, V., Ahlskog, R., & Petersen, T. (2021). Cortical control of gait and posture: Insights from brain aging research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15(122), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.698312>
- Murayama, K., Elliot, A. J., & Schultheiss, O. C. (2020). Motivational processes in motor performance: A neurocognitive perspective. *Psychological Review*, 127(4), 619–643. <https://doi.org/10.1037/rev0000188>
- Mutha, P. K., & Sainburg, R. L. (2022). The cognitive neuroscience of motor control: Integrating action and thought. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 44, 101109. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2022.101109>
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., & Blair, S. N. (2023). Physical activity and public health in older adults: Updated recommendations. *Journal of Aging and Physical Activity*, 31(2), 101–115.

- Nemanich, S. T., Hershey, T., & Perlmutter, J. S. (2022). Executive dysfunction and fall risk in older adults: Evidence from neuropsychological and motor assessments. *Neuropsychology*, 36(2), 178–190. <https://doi.org/10.1037/neu0000771>
- OMS. (2023). *Informe mundial sobre el envejecimiento saludable 2023*. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*. OMS.
- Paillard, T. (2019). Relationship between muscle function, muscle typology and postural performance according to age and physical activity level: A literature review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11, 224.
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51–66.
- Papalia, D. E., & Feldman, R. D. (2021). *Desarrollo humano*. McGraw-Hill.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2019). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 70, 173–196.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2021). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 72(1), 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-060120-043833>
- Park, J. H., et al. (2021). Physical activity and cognitive balance control in elderly adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 29(3), 345–356.
- Park, J., Kwon, Y., & Choi, J. (2023). Cortical connectivity changes after postural training in elderly adults: Evidence from EEG coherence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.119837>

- Pascual-Leone, A., Freitas, C., Oberman, L., & Rotenberg, A. (2020). Plasticity of the human brain across the lifespan: Mechanisms and interventions. *Progress in Brain Research*, 252, 1–23. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.03.010>
- Pérez, R., & Ramírez, C. (2021). Formación de profesionales en salud y envejecimiento en América Latina. *Educación Médica Latinoamericana*, 6(1), 25–39.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). Gait analysis: Normal and pathological function (2nd ed.). SLACK.
- Peterka, R. J. (2019). Sensory integration for human balance control. *Handbook of Clinical Neurology*, 159, 27–42.
- Peterka, R. J. (2019). Sensory integration for human balance control. *Handbook of Clinical Neurology*, 159, 27–42.
- Piet, A., et al. (2024). Predicting executive functioning from walking features using machine learning. *Scientific Reports*, 14, (ejemplo). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80144-4>. [Nature](#)
- Polit, D. F., & Beck, C. T. (2021). Nursing research: Generating and assessing evidence for nursing practice (11th ed.). Wolters Kluwer.
- Prieto, R., Zúñiga, M., & Calderón, S. (2022). Dual-task interference in gait and cognition among older adults: Neurophysiological correlates. *Aging Clinical and Experimental Research*, 34(9), 2259–2268. <https://doi.org/10.1007/s40520-022-02219-9>
- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2018). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 98(4), 1655–1690.
- Puterman, E., Lin, J., Krauss, J., Blackburn, E. H., & Epel, E. S. (2021). Determinants of telomere length across the adult lifespan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(25), e2023272118.

- Radak, Z., Torma, F., & Berkes, I. (2020). Exercise as a regulator of oxidative stress and aging. *Free Radical Biology & Medicine*, 152(1), 249–258.
- Raz, N., & Lindenberger, U. (2022). Brain aging and its modifiers: Insights from lifespan neuroscience. *Nature Reviews Psychology*, 1(8), 442–456.
- Rebelo, M., García, J., & Sousa, A. (2021). Flexibility and mobility exercises in the elderly: Functional implications. *Journal of Aging and Physical Activity*, 29(5), 785–797.
- Redgrave, P., Rodriguez-Oroz, M. C., & Obeso, J. A. (2022). Cognitive aspects of motor control in Parkinson's disease. *Nature Reviews Neurology*, 18(5), 305–319. <https://doi.org/10.1038/s41582-022-00664-3>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2019). How does the brain compensate for age-related decline? Testing theories of compensation. *Psychological Science*, 30(7), 974–987. <https://doi.org/10.1177/0956797619848004>
- Roca, A., Ford, P. R., & Memmert, D. (2023). Cognitive training and motor performance: Bridging neuropsychology and sport science. *Psychology of Sport and Exercise*, 67, 102398. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102398>
- Rodríguez, A., & León, M. (2021). Factores ambientales asociados a las caídas en el adulto mayor. *Salud y Seguridad en el Hogar*, 5(2), 102–115.
- Rodríguez, E., & Pérez, A. (2023). Envejecimiento sensorial y desempeño motor en la adultez avanzada. *Revista Latinoamericana de Neurociencia Aplicada*, 9(4), 101–117.
- Rodríguez-López, J., Morales, E., & Díaz, V. (2024). Balance assessment as a predictive tool for cognitive decline in elderly adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, 36(2), 201–212.
- Ronsse, R., Morton, S. M., & Miall, R. C. (2021). Sensorimotor integration and feedback control in human motor behavior. *Cerebral Cortex*, 31(8), 3678–3692. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab115>

- Rosano, C., Studenski, S. A., & Aizenstein, H. J. (2020). Neuropsychological predictors of gait speed and mobility in older adults. *Journals of Gerontology: Series A*, 75(10), 1889–1895. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa085>
- Rosenberg-Katz, K., Herman, T., & Giladi, N. (2022). Structural and functional connectivity correlates of gait and balance dysfunction in cognitive impairment. *Cerebral Cortex*, 32(5), 996–1008. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab303>
- Rössler, R., et al. (2024). Spatiotemporal gait characteristics across the adult lifespan: Reference values from a healthy population. *Gait & Posture*. [ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.103888)
- Rosso, A. L., et al. (2022). Neurotransmitter pathways and gait variability in aging. *Brain Research*, 1785, 147–157.
- Rosso, A. L., Liu, C., & Studenski, S. (2022). Cognitive contributions to postural control and balance recovery. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 141, 104869. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104869>
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433–440.
- Ruiz-Medina, C., López-Muñoz, R., & Ortega, E. (2023). Interacción entre función ejecutiva y control postural: una revisión sistemática. *Revista Española de Neurociencia del Movimiento*, 11(1), 77–91.
- Salthouse, T. A. (2019). Trajectories of normal cognitive aging. *Psychology and Aging*, 34(1), 17–24.
- Schaefer, S. Y., Craig, C. E., & Gordon, M. T. (2023). Cerebellar structure and balance function in older adults: An MRI-based study. *NeuroImage: Clinical*, 39, 103553. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2023.103553>
- Schaefer, S., Bartsch, L. M., & Voelcker-Rehage, C. (2021). Spatial working memory and motor control across the lifespan. *Developmental Psychology*, 57(12), 2080–2093. <https://doi.org/10.1037/dev0001278>

- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2019). Motor learning and performance: From principles to application (6th ed.). Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., Lee, T. D., & Wrisberg, C. A. (2021). *Motor learning and performance: From principles to application* (6th ed.). Human Kinetics.
- Schott, N., Riedel, D., & Meinhardt, C. (2020). Memory-based spatial navigation and falls: The mediating role of cognitive decline. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12, 98. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00098>
- Schretlen, D. J., Pearlson, G. D., & Gordon, B. (2021). Cognitive and motor correlates of processing speed in healthy adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 27(9), 922–933. <https://doi.org/10.1017/S1355617721000809>
- Seals, D. R., Justice, J. N., & LaRocca, T. J. (2021). Physiological determinants of healthspan: Cardiovascular aging. *Circulation Research*, 128(2), 310–333.
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., & Fling, B. W. (2022). Motor learning in older adults: The role of neural plasticity and practice structure. *Journal of Gerontology: Series B*, 77(3), 540–550. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa002>
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., Kwak, Y., & Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721–733.
- Seidler, R. D., et al. (2010). Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721–733.
- Seidler, R. D., et al. (2020). Motor learning and neuroplasticity in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 118, 486–499.

- Sensors/IMU reviews (varios autores). (2023). Sensors for gait, human movement analysis, and health: topical collection and methodological reviews. *Sensors*. [MDPI](#)
- Serrano, D., Correa, N., & Vargas, E. (2023). Aplicación de plataformas estabilométricas en el seguimiento clínico del equilibrio postural. *Biomecánica Aplicada y Rehabilitación*, 8(1), 25–39.
- Serrano, R., & Delgado, M. (2022). Cambios cutáneos y termorregulación en el adulto mayor. *Geriatría y Gerontología*, 38(3), 155–167.
- Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2023). Predictive control, internal models, and cognitive-motor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, 24(1), 20–38. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00653-4>
- Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420–428.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2021). *Motor control: Translating research into clinical practice* (6th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Stern, Y., Barnes, C. A., Grady, C., Jones, R. N., & Raz, N. (2020). Brain reserve, cognitive reserve, compensation, and maintenance: Operationalization, validity, and mechanisms of cognitive resilience. *Neurobiology of Aging*, 95(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2020.02.012>
- Stern, Y., et al. (2021). Cognitive reserve and aging: Implications for motor performance. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(5), 421–433.
- Stern, Y., Habeck, C., Steffener, J., & Razlighi, Q. (2020). The concept of cognitive reserve: A catalyst for research on brain plasticity and resilience. *NeuroImage*, 217, 116–138.
- Stillman, C. M., Donofry, S. D., & Erickson, K. I. (2020). Exercise as a model to understand the interplay of brain and behavior in older adults. *Frontiers*

---

*in Aging Neuroscience*, 12, 261.  
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00261>

Suárez, P., Herrera, D., & Ceballos, G. (2024). Realidad aumentada en la neurorehabilitación del equilibrio y la marcha en adultos mayores. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 5, 145–160.  
<https://doi.org/10.3389/fresc.2024.121034>

Suárez, P., Herrera, D., & Ceballos, G. (2024). Realidad aumentada en la neurorehabilitación del equilibrio y la marcha en adultos mayores. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 5, 145–160.  
<https://doi.org/10.3389/fresc.2024.121034>

Sun, N., Youle, R. J., & Finkel, T. (2022). The mitochondrial basis of aging. *Molecular Cell*, 82(1), 134–147.

Takakusaki, K. (2017). Functional neuroanatomy for posture and gait control. *Journal of Movement Disorders*, 10(1), 1–17.  
<https://doi.org/10.14802/jmd.16062>

Takakusaki, K. (2020). Functional neuroanatomy for posture and gait control. *Journal of Movement Disorders*, 13(2), 35–46.

Taubert, M., Villringer, A., & Ragert, P. (2020). Learning-related gray and white matter changes in humans: An update. *Neuroscientist*, 26(4), 382–395.  
<https://doi.org/10.1177/1073858419868905>

Thomas, A. G., Dennis, A., Bandettini, P. A., & Johansen-Berg, H. (2021). The plastic human brain: Evidence from diffusion tensor imaging and functional MRI. *NeuroImage*, 225, 117–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117147>

Tinetti, M. E., Gordon, C., & Huang, A. (2021). The impact of falls on cognitive function and mobility independence in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 69(9), 2482–2490.  
<https://doi.org/10.1111/jgs.17325>

- Torres, C., Jiménez, L., & Cabrera, F. (2022). Función cognitiva y riesgo de caídas en el envejecimiento: implicaciones clínicas. *Revista Iberoamericana de Neuropsicología*, 15(4), 77–93.
- Tseng, C., Chen, C., & Hsu, Y. (2021). Inhibitory control predicts postural stability under dual-task conditions. *Experimental Brain Research*, 239(11), 3345–3356. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06185-2>
- Van der Heide, L., van de Vijver, I., & Notebaert, W. (2023). Inhibitory control and motor adaptation: Insights from the Stroop paradigm. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 23(2), 345–360. <https://doi.org/10.3758/s13415-023-01049-1>
- Verghese, J., et al. (2021). Integrated analysis of cognitive and gait performance in aging. *Gait & Posture*, 86, 235–243.
- Voss, M. W., Weng, T. B., Burzynska, A. Z., Wong, C. N., & Gothe, N. P. (2023). The influence of physical activity on brain plasticity in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 155, 105–127. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.104382>
- Winter, D. A. (1995). *Human balance and posture control during standing and walking*. *Gait & Posture*, 3(4), 193–214.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). Wiley.
- Winter, D. A. (2020). *Biomechanics and motor control of human movement* (5th ed.). Wiley.
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1–14.
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (2021). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 88(1), 146–153.

- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2019). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 73, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.07.122>
- World Health Organization. (2020). Decade of healthy ageing 2021–2030. WHO.
- World Health Organization. (2023). *Global report on healthy aging and functional ability*. WHO Press.
- Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2021). Optimizing performance through attention and motivation: The OPTIMAL theory of motor learning revisited. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(2), 437–455. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01851-9>
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*, 23(3), 329–342.
- Yu, W., Zhang, H., & Li, J. (2023). Neuropsychological and motor correlates in neurodegenerative disorders: An integrative approach. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15, 1120479. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1120479>
- Yuan, X., et al. (2025). Integrating gait analysis systems in clinical rehabilitation: capabilities and implementation. (*revisión narrativa sobre sistemas comerciales de análisis de marcha*).
- Zhang, Y., Wang, S., & Chen, L. (2022). Sensory integration and cortical oscillations in postural control among elderly adults. *Brain Sciences*, 12(10), 1315. <https://doi.org/10.3390/brainsci12101315>
- Zhou, H., Liu, S., & Chen, Y. (2023). Prefrontal activation during dual-task balance in older adults. *Neuroscience Letters*, 813, 137–146.
- Zhou, S., Wang, J., & Fang, Y. (2023). Cognitive rigidity and compensatory motor responses in older adults with mild cognitive impairment. *Brain Sciences*, 13(3), 399. <https://doi.org/10.3390/brainsci13030399>
- Zijlstra, A., Mancini, M., Lindemann, U., Chiari, L., & Zijlstra, W. (2020). Sit-stand and stand-sit transitions in older adults and patients with Parkinson's disease: event detection based on motion sensors versus force plates.

---

*Gait* & *Posture*, 81, 132–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.003>

**Fabián Andrés Contreras Jáuregui**

Docente de planta, Categoría Asociado. Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes, Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad del Atlántico, Colombia. Líder - miembro del grupo de Investigación en Educación Física y Ciencias Aplicadas al Deporte GREDFICAD, Fisioterapeuta Universidad Manuela Beltrán, Especialista en Entrenamiento Deportivo Universidad de Pamplona, Doctor en ciencias de la Cultura Física Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” La Habana - Cuba, demuestra una amplia experiencia en la docencia universitaria en temáticas como Morfofisiología Deportiva, Biomecánica, Kinesiología, Entrenamiento Deportivo, Técnicas de Evaluación, metodología de la investigación. Su trayectoria investigativa ha sido registrada en publicaciones nacionales e internacionales a través de artículos, libros lo que le ha permitido participar en congresos nacionales e internacionales. [fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co)

**Mariano Jairo Salleg Cabarcas**

Docente titular de la Universidad de Córdoba, con más de 20 años de experiencia en educación superior. Licenciado en Educación Física, Recreación y Deporte. Especialista en Metodología del Entrenamiento Deportivo. Magíster en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Doctor en Ciencias Cognitivas, Universidad Autónoma de Manizales – Colombia. Investigador del Grupo de Investigación en Ciencias de la Actividad Física

y la Salud (GICAFS) de la Universidad de Córdoba. Conferencista internacional en más de 10 eventos académicos. Creador del programa psicoeducativo Sport Game, pionero en la intervención con niños con TDAH.

### **Fernando Antonio De La Espriella Arenas.**



Docente titular de la Universidad de Córdoba, con más de 25 años de experiencia en educación superior. Licenciado en Educación Física, Especialista en: Gerencia Social; Educación para la Recreación Comunitaria. Magister en Educación y Desarrollo humano; Doctor en educación Universidad de Baja California- Mexico. Investigador del Grupo de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y la Salud (GICAFS) de la Universidad de Córdoba.  
[fdelaespriella@correo.unicordoba.edu.co](mailto:fdelaespriella@correo.unicordoba.edu.co)