

LA HUELLA PLANTAR

EN LA EDUCACIÓN FÍSICA



**FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS
APLICACIONES BIOMECÁNICAS
Y PREVENCIÓN POSTURAL**

ISBN: 978-9942-7373-8-0



El libro **LA HUELLA PLANTAR EN LA EDUCACIÓN FÍSICA: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS, APLICACIONES BIOMECÁNICAS Y PREVENCIÓN POSTURAL** 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_978-9942-7373-8-0

Primera edición, marzo 2025

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

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

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

AUTORES

AUTORES



Fabian Andrés Contreras Jauregui

(Universidad del Atlántico)



Martha Virginia Tapia Navarro

(Universidad del Atlántico)



Pablo Homero Velasteguí López

(Ciencia Digital Editorial – Revista Explorador Digital)

 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: 978-9942-7373-8-0



ISBN: 978-9942-7373-8-0 Versión Electrónica



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

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



Efraín Velasteguí López¹

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva

Dr. Tatiana Carrasco R.

Director General

Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

¹ **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.

DEDICATORIA

A mi amada esposa **Yamile**, compañera incansable de cada paso en este recorrido de vida y ciencia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante que han sido el verdadero cimiento de este logro.

A mis hijos **Matías Alejandro, Luciana y Emiliano**, cuya alegría, ternura y espontaneidad me inspiran cada día a caminar con firmeza y propósito. Ustedes son mi huella más profunda y duradera en este mundo.

Este libro es también para ustedes, porque todo lo que construyo hoy es para dejarles un legado de conocimiento, amor y compromiso con el bienestar humano.

Fabian Andrés Contreras Jauregui

Agradezco profundamente a mi esposo Francisco Bermejo, por su amor incondicional, por su paciencia en los días intensos y por ser siempre mi mayor apoyo en cada uno de mis sueños.

A nuestros hijos, Fiorella y Esteban, por ser mi inspiración diaria, por darme razones para seguir creciendo y construir un legado con sentido.

A mi madre y a mi padre, quienes con su ejemplo de esfuerzo, valores y dedicación sembraron en mi la fortaleza necesaria para avanzar con firmeza. Su guía ha sido mi luz constante.

A mis tres hermanos, por estar siempre presentes, por su apoyo silencioso pero firme, y por compartir conmigo el valor de la unidad y la confianza.

A la Universidad del Atlántico, mi alma máter, por ser el escenario donde no solo adquirí conocimientos, sino donde también florecieron mis ideales, mis retos y mi crecimiento personal y profesional.

PRÓLOGO

La educación física, como disciplina formativa y promotora de la salud, enfrenta el desafío constante de integrar saberes científicos en su práctica pedagógica cotidiana. En este contexto, la anatomía funcional y la biomecánica han dejado de ser conocimientos exclusivos del ámbito médico o deportivo de élite, para convertirse en pilares esenciales en la formación integral del ser humano desde los primeros niveles educativos. Esta obra nace como respuesta a la necesidad de dotar a los profesionales de la educación física, la fisioterapia, la podología y las ciencias aplicadas al movimiento de un recurso didáctico, riguroso y actualizado sobre un tema frecuentemente subestimado: la huella plantar.

El pie humano, complejo en su estructura y función, es la base de la postura, el equilibrio y la locomoción. La forma en que este entra en contacto con el suelo expresada mediante la huella plantar proporciona valiosa información sobre el estado del aparato locomotor, la alineación corporal, el nivel de desarrollo motor e incluso la predisposición a lesiones. Sin embargo, en muchos contextos escolares y formativos, la evaluación de esta variable sigue siendo escasa o nula, lo que limita la capacidad de los educadores para detectar y corregir a tiempo alteraciones que, a largo plazo, pueden derivar en patologías o bajo rendimiento motor.

Este libro surge como un puente entre la teoría científica y la práctica pedagógica. A través de sus páginas, el lector podrá comprender cómo la huella plantar se convierte en una herramienta diagnóstica accesible, útil y eficaz para valorar el estado postural del pie, identificar desequilibrios musculoesqueléticos, orientar intervenciones motrices y diseñar programas de prevención. Pero más allá de sus fundamentos anatómicos y biomecánicos, esta obra ofrece una mirada humana e inclusiva: la del docente que se preocupa por cada estudiante, la del entrenador que busca proteger el cuerpo de sus atletas, y la del profesional que entiende que el cuidado del pie es también el cuidado del movimiento, de la autonomía y de la calidad de vida.

Así, este prólogo es una invitación a redescubrir la educación física como un espacio de observación atenta, de diagnóstico funcional y de acción educativa fundamentada. Reconocer la importancia de la huella plantar es reconocer que cada pisada deja una marca no solo en el suelo, sino también en la trayectoria educativa, motriz y vital de quienes están en pleno proceso de formación.

Ph. D. Cristian Alberto Bautista Rico

Licenciado en Educación Física, Recreación y Deportes

Magister en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Doctor en Educación

Docente de Planta Universidad de Pamplona

RESUMEN

El presente texto constituye un abordaje integral sobre la huella plantar como herramienta diagnóstica, pedagógica y preventiva en el campo de la educación física. Desde una perspectiva multidisciplinaria que articula la anatomía, la fisiología, la biomecánica y la pedagogía, se analizan las estructuras óseas, articulares, musculares y tendinosas que conforman el pie humano y que intervienen activamente en la locomoción, el equilibrio y la postura. Particularmente, se profundiza en el estudio de los arcos plantares (longitudinal medial, longitudinal lateral y transversal), los cuales actúan como estructuras funcionales que absorben impactos y permiten una distribución equilibrada de las fuerzas durante la marcha y el desarrollo motor.

La huella plantar se presenta como un indicador biomecánico de gran valor en la evaluación del aparato locomotor, tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Su análisis permite detectar alteraciones estructurales como el pie plano o el pie cavo, así como disfunciones funcionales relacionadas con compensaciones posturales, desequilibrios musculares o deficiencias en la mecánica del paso. En este sentido, el texto revisa críticamente los diferentes tipos de huellas plantares, las técnicas de evaluación (como la podoscopia, baropodometría y escáneres 3D), y los índices más utilizados para su clasificación morfológica, como el índice de Hernández-Corvo, el índice de Clarke y el índice de Chippaux-Smirak.

Además, se analiza la relación entre la morfología plantar y el rendimiento motor, destacando cómo ciertas configuraciones de la huella pueden influir en la eficiencia del movimiento, la economía de la marcha, el equilibrio postural y la prevención de lesiones. También se abordan las implicaciones clínicas y educativas del análisis de la huella, planteando su utilidad en el diseño de plantillas ortopédicas, calzado ergonómico, estrategias de rehabilitación y programas de intervención motriz en poblaciones escolares, deportivas y clínicas.

Desde el ámbito pedagógico, el libro propone incorporar el análisis de la huella plantar como una herramienta formativa dentro del currículo de educación física, promoviendo una evaluación funcional que contribuya al desarrollo motor integral de los estudiantes. En este sentido, se enfatiza la importancia de identificar precozmente alteraciones plantares en la infancia, ya que esta etapa es determinante para el fortalecimiento del arco plantar, la prevención de desviaciones posturales y la adquisición de patrones de movimiento eficientes y saludables.

En conclusión, la obra defiende una visión holística del pie humano y de la huella plantar, entendida no solo como una huella física, sino como un reflejo funcional del estado estructural, postural y motor del individuo. Este enfoque permite consolidar una educación física científica, preventiva e inclusiva, que reconoce la singularidad morfológica de cada estudiante y actúa desde la evidencia para optimizar la salud postural, el rendimiento motor y la calidad de vida.

Palabras Claves: Huella plantar; biomecánica del pie; arcos plantares; evaluación postural; educación física; pie plano; pie cavo; marcha; prevención de lesiones; desarrollo motor.

Índice

INTRODUCCION	15
CAPITULO I	17
FUNDAMENTOS ANATÓMICOS Y FISIOLÓGICOS DEL PIE	17
CAPÍTULO 2	43
LA HUELLA PLANTAR COMO INDICADOR BIOMECÁNICO	43
2.3 Métodos de evaluación de la huella plantar	58
VARIABLE INDEPENDIENTE (VI)	94
2. VARIABLE DEPENDIENTE 1 (VD1)	95
3. VARIABLE DEPENDIENTE 2 (VD2)	96
4. VARIABLE MODERADORA	96
CAPITULO III	98
DISEÑO METODOLOGICO	98
Podoscopio	100
Escáner plantar o sistema digital de análisis de huella	101
Línea de plomada	101
Ficha de observación postural	101
Análisis de video para estudio de la marcha	102
Cuestionario IPAQ (International Physical Activity Questionnaire)	102
Criterios de inclusión	103
CAPITULO IV	104
ANALISIS DE RESULTADOS	104
CAPITULO V	113
INTERVENCION Y PREVENCION EN EDUCACIÓN FÍSICA	113
5.1 Estrategias pedagógicas para corregir patrones de pisada	114

5.2 Ejercicios correctivos y fortalecimiento del pie	114
5.3 Actividades lúdicas para el desarrollo plantar	115
5.4 Recomendaciones para educadores físicos	116
DISCUSIÓN	118
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS.....	122

INTRODUCCION

El cuerpo humano, en su complejidad estructural y funcional, se apoya sobre una base anatómica fundamental: el pie. Esta estructura, compuesta por 26 huesos, 33 articulaciones y más de un centenar de músculos, tendones y ligamentos, cumple un papel crucial en la bipedestación, la locomoción y la estabilidad postural. En particular, la huella plantar como manifestación visible del contacto del pie con el suelo representa una fuente de información valiosa para el análisis del equilibrio corporal, la eficiencia motriz y la salud musculoesquelética general. A través de su observación y evaluación sistemática, es posible identificar alteraciones biomecánicas que, de no ser atendidas a tiempo, pueden convertirse en limitaciones funcionales, lesiones deportivas o disfunciones posturales crónicas.

En el ámbito de la educación física, el análisis de la huella plantar no solo ofrece una oportunidad diagnóstica, sino que constituye un recurso pedagógico de gran valor. La infancia y la adolescencia son etapas críticas para el desarrollo motor, donde factores como el tipo de calzado, la actividad física, el peso corporal o la genética pueden influir significativamente en la formación de los arcos plantares y en la alineación estructural del cuerpo. Evaluar la pisada de los estudiantes desde edades tempranas permite diseñar estrategias preventivas, adaptar las actividades motrices, recomendar intervenciones ortopédicas o fisioterapéuticas, y contribuir al desarrollo armónico del sistema locomotor.

Este libro se propone, entonces, como una herramienta teórico-práctica para docentes, entrenadores, fisioterapeutas, podólogos y estudiantes de ciencias del movimiento humano, interesadas e interesados en comprender el pie desde una mirada integral. A lo largo de sus capítulos, se abordan los fundamentos anatómicos y fisiológicos del pie, la clasificación de los tipos de huella plantar, los métodos científicos para su evaluación, así como las implicaciones clínicas, educativas y deportivas que surgen de su análisis. La obra también explora la relación entre la morfología plantar y el rendimiento motor, brindando orientaciones para la aplicación de programas de fortalecimiento, ejercicios correctivos y adaptación del calzado, en función de cada tipo de pisada.

En un contexto educativo que cada vez valora más la inclusión, la personalización del aprendizaje y la prevención de riesgos en la actividad física, la valoración de la huella plantar se convierte en un recurso didáctico necesario. No solo porque permite mejorar el desempeño físico, sino porque contribuye al bienestar general, a la autopercepción corporal y a la consolidación de hábitos saludables desde una etapa temprana de la vida.

Finalmente, esta obra defiende una visión holística de la educación física, basada en la integración del conocimiento científico con la acción pedagógica reflexiva. En ella, el pie no es un simple punto de apoyo, sino un órgano dinámico, sensible y funcional, cuya huella deja señales que el educador físico, el terapeuta o el entrenador deben saber leer, interpretar y atender. Porque en cada paso del niño, del joven o del deportista, se construye también una trayectoria motriz, educativa y humana.



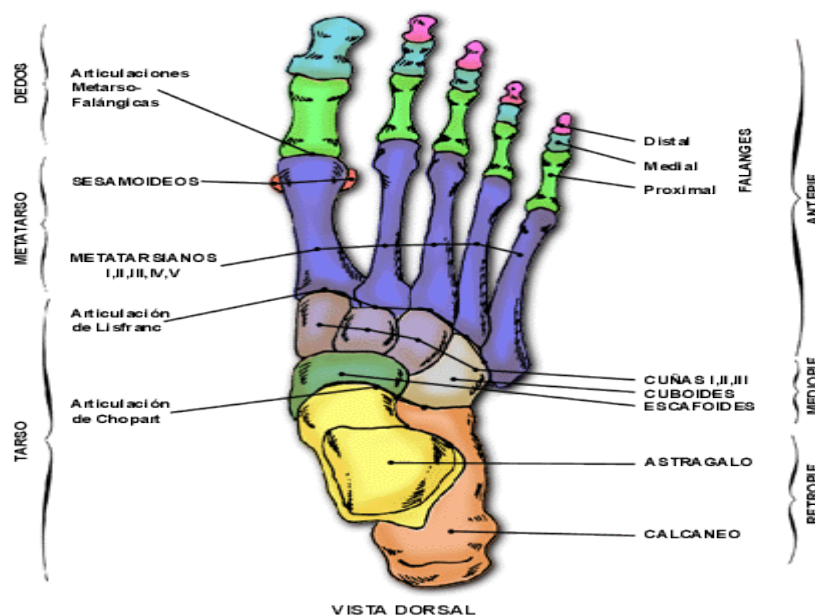
CAPITULO I

FUNDAMENTOS
ANATÓMICOS Y
FISIOLÓGICOS DEL PIE

El estudio anatómico y fisiológico del pie constituye una base esencial para comprender su función biomecánica, su papel en la locomoción humana y su influencia en la salud postural general. Este capítulo aborda de manera integral las estructuras óseas, musculares, articulares y nerviosas que conforman el pie, así como los mecanismos fisiológicos que permiten su adaptación a diferentes superficies y demandas funcionales. Además, se exploran los principios de carga, amortiguación y propulsión, fundamentales para interpretar tanto el rendimiento físico como las alteraciones patológicas del aparato locomotor. Comprender estos fundamentos es clave para el análisis de la huella plantar, la evaluación de la postura y el diseño de estrategias preventivas en el ámbito educativo, clínico y deportivo.

1.1. Estructura Ósea del Pie

El pie humano constituye una estructura altamente especializada cuya función principal es proporcionar soporte, equilibrio y propulsión durante la marcha. Está formado por 26 huesos, que se distribuyen en tres grupos anatómicos: el retropié, el mediopie y el antepié. Cada una de estas secciones cumple un rol biomecánico fundamental, asegurando la estabilidad en posición erguida y la adaptación a superficies irregulares (Kapandji, 2020).



Fuente. <https://www.podoortosis.com/informaci%C3%B3n/estructura-osea-vista-dorsal/>

El retropié está compuesto por dos huesos: el calcáneo y el astrágalo (o talus). El calcáneo es el hueso más grande del pie y forma el talón. Este actúa como punto de apoyo principal durante la fase inicial de contacto en la marcha. Por su parte, el astrágalo articula con la tibia y el peroné, formando la articulación talocrural, que permite la dorsiflexión y la flexión plantar del tobillo (Moore et al., 2020).

El mediopié está compuesto por cinco huesos: el navicular, el cuboides y los tres cuneiformes (medial, intermedio y lateral). Estos huesos se articulan con el retropié y el antepié, y están organizados de manera que forman el arco longitudinal y el arco transversal del pie. La integridad de estas estructuras óseas es esencial para mantener la capacidad de amortiguación del pie (Saladin, 2018).

El antepié está conformado por los cinco metatarsianos y las 14 falanges digitales. Los metatarsianos son huesos largos que se extienden desde el mediopié hasta las falanges proximales. Cada dedo tiene tres falanges, excepto el primer dedo (hallux), que sólo tiene dos. Esta configuración permite una combinación de rigidez y flexibilidad que facilita la propulsión durante la marcha (Standring, 2021).

En términos de clasificación funcional, los huesos del pie se consideran huesos largos (metatarsianos y falanges), huesos cortos (tarsianos) y huesos sesamoideos. Los sesamoideos, ubicados bajo la cabeza del primer metatarsiano, ayudan a reducir la fricción durante el movimiento del dedo gordo y contribuyen a la transmisión de fuerzas de carga (Drake et al., 2019).

La arquitectura ósea del pie está diseñada para distribuir las fuerzas del peso corporal de manera eficiente. Durante la bipedestación y la marcha, los huesos del pie soportan cargas que pueden superar varias veces el peso corporal. Esta capacidad de absorción de impacto se debe, en parte, a la disposición arqueada de sus estructuras óseas, en especial el arco longitudinal medial (Neumann, 2017).

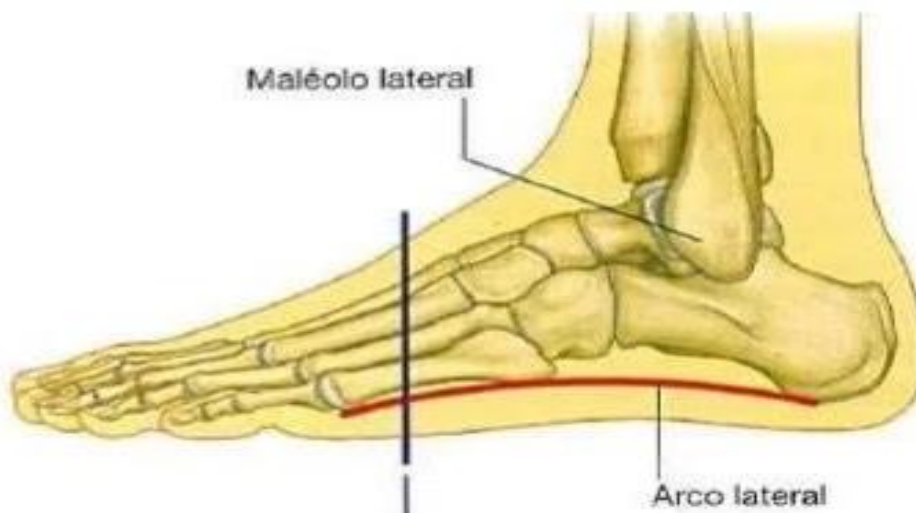
El arco longitudinal medial se extiende desde el calcáneo hasta la cabeza del primer metatarsiano. Este arco es el más prominente y actúa como un resorte que almacena y libera energía durante la marcha. Está formado por el calcáneo,

astrágalo, navicular, cuneiforme medial y primer metatarsiano. La integridad estructural de estos huesos es crucial para la biomecánica normal del pie (Gray & Standring, 2020).



Fuente. <https://synergiavall.es/pie-plano-y-pie-cavo/>

El arco longitudinal lateral, más plano y menos móvil que el medial, está compuesto por el calcáneo, el cuboides y el quinto metatarsiano. Aunque no tiene la elasticidad del arco medial, proporciona estabilidad durante la carga de peso. Ambos arcos trabajan en conjunto para mantener el equilibrio dinámico del pie (Moore et al., 2020).



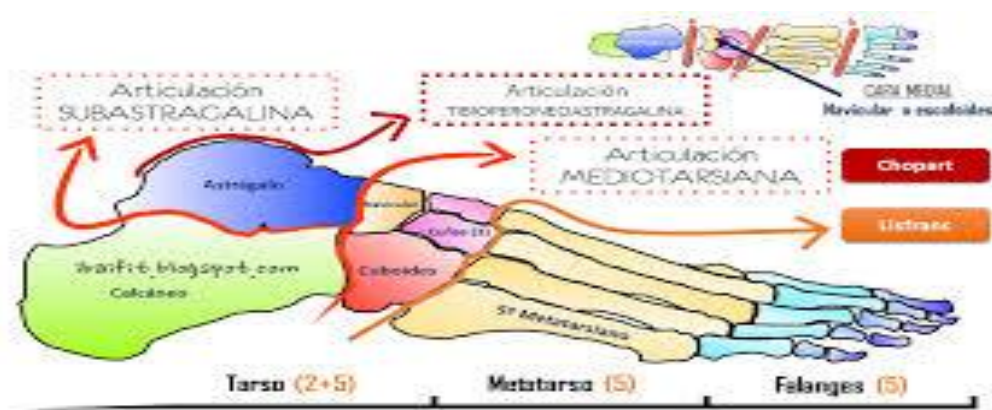
Fuente. <https://www.farmaconsejos.com/patologias/deformidades-del-pie/>

El arco transverso se forma a nivel de las bases de los metatarsianos y los huesos cuneiformes. Es esencial para la distribución de la carga entre la parte medial y lateral del pie. La estructura ósea del arco transverso permite una ligera adaptación a las superficies del terreno, asegurando un contacto uniforme (Saladin, 2018).



Fuente. <https://www.farmaconsejos.com/patologias/deformidades-del-pie/>

Las articulaciones entre los huesos del pie permiten una variedad de movimientos que facilitan la locomoción. La articulación subtalar, entre el calcáneo y el astrágalo, permite movimientos de inversión y eversión. Estas acciones son fundamentales para la adaptación del pie a superficies irregulares y para evitar lesiones por torsión (Kapandji, 2020).



Fuente. <https://valoracionfuncional.blogspot.com/p/pie.html>

La articulación mediotarsiana, también conocida como articulación de Chopart, incluye la articulación talonavicular y la calcaneocuboidea. Esta unión permite movimientos de rotación y adaptación del pie ante cambios en la superficie. Su

estructura ósea y cápsula articular contribuyen a la flexibilidad del mediopié y la adaptación del arco medial (Neumann, 2017).

Las articulaciones tarsometatarsianas, conocidas como articulaciones de Lisfranc, conectan los huesos del mediopié con los metatarsianos. Estas uniones permiten una leve movilidad que es clave para la adaptación del pie durante la marcha y actividades deportivas. La integridad ósea y ligamentosa de esta región previene dislocaciones y garantiza estabilidad estructural (Drake et al., 2019).

Las articulaciones metatarsofalángicas permiten la flexión, extensión, abducción y aducción de los dedos del pie. Son esenciales para el impulso en la fase de despegue de la marcha. Estas articulaciones están reforzadas por cápsulas articulares y ligamentos colaterales que se insertan en los huesos metatarsianos y falángicos (Kapandji, 2020).

Cada falange del pie presenta una estructura ósea semejante a la de los dedos de la mano, aunque más corta y resistente. Las falanges proximales, medias y distales están articuladas por medio de las interfalángicas proximal y distal, permitiendo una movilidad limitada pero funcional, especialmente durante la fase de propulsión (Saladin, 2018).

El hallux o primer dedo del pie tiene una función biomecánica destacada. Su estructura ósea robusta y sus dos falanges permiten una potente extensión durante la fase de despegue. La base del primer metatarsiano está reforzada por los huesos sesamoideos que se articulan con la cabeza del metatarsiano, mejorando la eficiencia mecánica (Moore et al., 2020).

Los huesos sesamoideos son dos pequeñas estructuras óseas ubicadas bajo la cabeza del primer metatarsiano. Se hallan dentro del tendón del músculo flexor corto del hallux. Su presencia permite disminuir la fricción y aumentar el brazo de palanca durante la flexión del dedo gordo, contribuyendo a una marcha más eficaz (Neumann, 2017).

La osificación de los huesos del pie comienza en etapas tempranas del desarrollo fetal, pero su maduración total puede extenderse hasta la adolescencia. Cada hueso tiene un centro de osificación primario y, en algunos casos, uno o más

centros secundarios. La evaluación de estos centros permite determinar la edad ósea del individuo (Standring, 2021).

El calcáneo es el primer hueso del pie en osificarse y también el más grande. Su desarrollo es crucial para el soporte del peso corporal. En su cara posterior se inserta el tendón de Aquiles, lo que hace de esta región un punto clave para la transmisión de fuerza desde el tríceps sural hacia el pie (Kapandji, 2020).

El astrágalo, a pesar de no tener inserciones musculares, cumple una función articular esencial. Su cuerpo articula superiormente con la tibia y el peroné, y en su porción inferior con el calcáneo. Su forma y orientación permiten los movimientos del tobillo y la absorción de cargas durante la marcha (Gray & Standring, 2020).

El navicular, situado anteriormente al astrágalo, tiene una forma de barca. Es esencial para la estabilidad del arco longitudinal medial. Su borde medial prominente se puede palpar con facilidad y es una referencia anatómica para evaluar el colapso del arco plantar (Drake et al., 2019).

Los cuneiformes se alinean en la parte anterior del navicular y se articulan con los tres primeros metatarsianos. Estas estructuras óseas forman parte del arco transversal anterior. Su orientación contribuye a la estabilidad y al posicionamiento adecuado del antepié (Saladin, 2018).

El cuboide, ubicado lateralmente, articula con el calcáneo y los metatarsianos cuarto y quinto. Su cara inferior presenta un surco por donde pasa el tendón del peroneo largo. Esta disposición anatómica permite la estabilidad del arco lateral y la correcta función del tendón peroneo largo (Moore et al., 2020).

Los metatarsianos son huesos largos numerados del I al V, desde el lado medial al lateral. Cada metatarsiano tiene una base proximal, un cuerpo y una cabeza distal. Sus bases articulan con los huesos del tarso, mientras que sus cabezas se unen a las falanges proximales. Estas estructuras óseas soportan las cargas del peso corporal durante la marcha (Kapandji, 2020).

Las cabezas de los metatarsianos forman prominencias que contactan con el suelo durante la fase terminal del apoyo. La integridad de estas articulaciones es

fundamental para evitar condiciones como la metatarsalgia. La evaluación clínica de estas prominencias óseas permite detectar deformidades estructurales del pie (Neumann, 2017).

Las falanges del pie tienen una estructura ósea más compacta que las de la mano, adaptadas a la carga y al soporte de peso. El primer dedo tiene dos falanges, mientras que los demás poseen tres. La longitud reducida y su articulación permiten una combinación de flexibilidad y firmeza para el empuje final en la marcha (Gray & Standring, 2020).

La arquitectura ósea del pie permite una adaptación dinámica a diferentes tipos de terreno. Esta adaptación está mediada por las múltiples articulaciones que interconectan los 26 huesos del pie. Gracias a esta estructura, el pie actúa como una palanca rígida durante la propulsión y como una plataforma flexible durante la recepción del peso (Neumann, 2017).

Los arcos del pie son una manifestación funcional de su arquitectura ósea. La forma arqueada permite una distribución uniforme del peso corporal y una reducción del impacto sobre las articulaciones superiores. Esta disposición reduce el estrés en la columna vertebral y en las extremidades inferiores (Kapandji, 2020).

Los componentes óseos del arco longitudinal medial están diseñados para soportar una gran carga sin colapsarse. Una debilidad estructural en cualquiera de estos huesos, especialmente el navicular o el primer cuneiforme, puede comprometer la funcionalidad del arco, generando condiciones como el pie plano (Gray & Standring, 2020).

El colapso del arco longitudinal lateral, aunque menos frecuente que el medial, puede presentarse con sobrecargas repetitivas en actividades deportivas. Los huesos involucrados —el calcáneo, el cuboides y el quinto metatarsiano— pueden sufrir estrés óseo, generando dolor en la región lateral del pie (Moore et al., 2020).

La alineación de los metatarsianos y su relación con los huesos del tarso determina la morfología general del antepié. Alteraciones como el hallux valgus

(juanete) tienen origen en una mala alineación ósea entre el primer metatarsiano y las falanges del primer dedo, afectando la distribución de carga y generando deformidades progresivas (Saladin, 2018).

Desde el punto de vista clínico, la evaluación radiológica de la estructura ósea del pie es fundamental para diagnosticar alteraciones estructurales, como fracturas, luxaciones y deformidades. Las proyecciones anteroposterior, lateral y oblicua permiten visualizar la integridad de los huesos del retropié, mediopié y antepié (Drake et al., 2019).

El calcáneo presenta un tubérculo posterior que sirve de inserción para el tendón de Aquiles. Este punto óseo es una de las zonas más resistentes del cuerpo humano, pero también susceptible a fracturas por estrés en corredores de larga distancia. La morfología del calcáneo condiciona la forma del talón y su proyección posterior (Neumann, 2017).

El astrágalo es uno de los pocos huesos del cuerpo que carece de inserciones musculares. Su función es exclusivamente articular, por lo que cualquier desplazamiento o fractura puede comprometer la movilidad del tobillo y el equilibrio postural. La vascularización del astrágalo es escasa, lo que complica su proceso de consolidación tras una fractura (Moore et al., 2020).

El hueso navicular actúa como el eje central del arco medial del pie. Una fractura en este hueso puede alterar la biomecánica de todo el pie. Este tipo de lesiones suele presentarse en atletas que realizan saltos repetitivos, debido al impacto constante sobre esta estructura ósea (Kapandji, 2020).

El cuboides es un hueso de forma cúbica que interviene en la estabilidad del arco lateral. Su relación con el calcáneo y los metatarsianos laterales lo convierte en una pieza clave para la integridad estructural del pie. En lesiones por inversión, el cuboides puede desplazarse levemente, alterando la mecánica del apoyo (Drake et al., 2019).

Las bases de los metatarsianos se articulan con los huesos cuneiformes y el cuboides. Esta conexión determina la alineación del antepié. Una subluxación en estas uniones, como ocurre en la lesión de Lisfranc, puede causar inestabilidad crónica y dolor persistente en el mediopié (Saladin, 2018).

Los huesos sesamoideos del hallux actúan como poleas que aumentan la eficiencia del tendón del flexor corto del dedo gordo. Estas pequeñas estructuras óseas soportan una gran carga durante la fase final de despegue en la marcha. Una inflamación o fractura en los sesamoideos genera dolor significativo y altera la marcha (Gray & Standring, 2020).

En el desarrollo infantil, la estructura ósea del pie está compuesta inicialmente por cartílago, que se osifica con el tiempo. La evaluación ortopédica durante la infancia es esencial para identificar posibles deformidades congénitas como el pie equinovaro, que afecta la alineación ósea desde el nacimiento (Kapandji, 2020).

Las deformidades estructurales del pie, como el pie plano o el pie cavo, están directamente relacionadas con la disposición y forma de los huesos. En el pie plano, la caída del arco longitudinal medial puede deberse a una alteración en la posición del navicular. En el pie cavo, los huesos metatarsianos están en flexión plantar exagerada (Neumann, 2017).

La densidad ósea del pie es variable según la edad, el sexo y el nivel de actividad física. El uso de pruebas como la densitometría ósea permite evaluar el riesgo de fractura, especialmente en adultos mayores con osteoporosis. El calcáneo es uno de los huesos más frecuentemente analizados en estos estudios (Moore et al., 2020).

La forma de los huesos del pie también puede presentar variantes anatómicas. Algunas personas poseen huesos accesorios como el os trigonum (detrás del astrágalo) o el os tibiale externum (cerca del navicular). Estas estructuras pueden ser asintomáticas o generar dolor si se inflaman (Drake et al., 2019).

Durante la carrera, las fuerzas que se transmiten a través de la estructura ósea del pie pueden ser de hasta tres veces el peso corporal. Esto pone de manifiesto la resistencia de los huesos del pie, especialmente los metatarsianos y el calcáneo. El entrenamiento adecuado fortalece estas estructuras y previene fracturas por sobrecarga (Saladín, 2018).

Los huesos del pie también cumplen funciones sensoriales indirectas al permitir la activación de mecanorreceptores ubicados en la planta del pie. Estas estructuras proporcionan información sobre la presión, la posición y el movimiento del cuerpo, facilitando el equilibrio y la postura (Neumann, 2017).

El estudio de la estructura ósea del pie es clave en disciplinas como la podología, la ortopedia y la medicina deportiva. El conocimiento detallado de la anatomía ósea permite diseñar plantillas ortopédicas, calzado adecuado y programas de rehabilitación personalizados (Gray & Standring, 2020).

En el deporte de alto rendimiento, las alteraciones estructurales del pie pueden afectar significativamente el desempeño. Lesiones como la fractura del quinto metatarsiano (fractura de Jones) son comunes en deportes como el fútbol y el baloncesto, y requieren intervención quirúrgica en muchos casos (Moore et al., 2020).

La disposición ósea del pie es producto de una evolución funcional que ha permitido al ser humano caminar erguido. A diferencia de otros primates, los humanos tienen un arco longitudinal marcado, un hallux alineado con los demás dedos y un calcáneo robusto, adaptaciones necesarias para la marcha bípeda (Saladin, 2018).

La reconstrucción quirúrgica de la estructura ósea del pie puede ser necesaria en casos de deformidades severas, traumatismos o enfermedades como la artritis reumatoide. Estas intervenciones buscan restaurar la alineación y funcionalidad mediante el uso de tornillos, placas o injertos óseos (Kapandji, 2020).

La educación en salud podológica debe incluir información sobre el cuidado de la estructura ósea del pie. Factores como el uso de calzado inadecuado, la obesidad y el sedentarismo pueden acelerar el desgaste articular y la deformación ósea, generando complicaciones crónicas (Neumann, 2017).

El análisis biomecánico de la pisada permite evaluar el comportamiento de los huesos del pie en movimiento. Herramientas como la baropodometría o el escaneo plantar tridimensional son útiles para diagnosticar desequilibrios estructurales y prevenir lesiones (Drake et al., 2019).

La estructura ósea del pie debe ser estudiada no solo desde la anatomía estática, sino también desde su dinámica funcional. El pie actúa como un sistema complejo de palancas, arcos y amortiguadores que interactúan con músculos, ligamentos y tendones, permitiendo la locomoción eficiente (Gray & Standring, 2020).

1.2 Articulaciones y arcos plantares

Las articulaciones y arcos plantares del pie humano representan un sistema biomecánico complejo, diseñado para cumplir funciones esenciales como la amortiguación, la propulsión y la adaptación a diferentes superficies. Este sistema combina estructuras óseas, ligamentosas y musculares que garantizan la funcionalidad dinámica del pie durante la locomoción (Neumann, 2017).

El pie humano contiene más de 30 articulaciones, pero las más funcionales para la marcha se ubican entre los huesos del tarso, metatarso y las falanges. Estas articulaciones permiten una amplia gama de movimientos, incluyendo flexión, extensión, abducción, aducción, inversión y eversión, que son fundamentales para el equilibrio y el desplazamiento (Kapandji, 2020).

La articulación talocrural o del tobillo, formada entre la tibia, el peroné y el astrágalo, permite la dorsiflexión y la flexión plantar del pie. Es una articulación sinovial tipo gínglimo que soporta grandes cargas de peso durante la marcha y actividades físicas, y está reforzada por los ligamentos colaterales medial y lateral (Moore et al., 2020).

Justo debajo de la articulación talocrural se encuentra la articulación subtalar, que une el astrágalo con el calcáneo. Esta articulación es fundamental para los movimientos de inversión y eversión, lo que permite al pie adaptarse a superficies irregulares y mantener el equilibrio (Standring, 2021).

Las articulaciones del retropié, incluyendo la talocrural y la subtalar, forman la base para los movimientos tridimensionales del pie. Su correcto funcionamiento es clave para amortiguar los impactos del terreno y distribuir adecuadamente las fuerzas hacia el resto del cuerpo (Saladin, 2018).

La articulación transversa del tarso, también llamada articulación de Chopart, conecta el retropié con el mediopié y está compuesta por la articulación talonavicular y la calcaneocuboidea. Esta unión actúa como una bisagra funcional que colabora con los movimientos del retropié y contribuye a la flexibilidad del arco plantar (Neumann, 2017).

La articulación talonavicular es una articulación sinovial esferoidea que permite movimientos multidireccionales y está involucrada activamente en la movilidad del arco longitudinal medial. Su estructura y movilidad son esenciales para la dinámica del pie durante la marcha y la carrera (Kapandji, 2020).

Por su parte, la articulación calcaneocuboidea es más rígida y actúa como un punto de apoyo lateral que estabiliza el arco longitudinal lateral. Su forma en silla de montar limita los movimientos rotacionales, contribuyendo así a la rigidez del lateral del pie (Moore et al., 2020).

Las articulaciones tarsometatarsianas, conocidas como articulaciones de Lisfranc, conectan los huesos del mediopié con los metatarsianos. Aunque presentan una movilidad limitada, su disposición ósea y ligamentosa es clave para la integridad estructural del arco transversal (Drake et al., 2019).

Las articulaciones metatarsofalángicas permiten la flexión y extensión de los dedos del pie. Durante la fase de propulsión, estas articulaciones, especialmente la del primer dedo o hallux, soportan la carga máxima del cuerpo, facilitando el impulso hacia adelante (Saladin, 2018).

Las interfalángicas proximales y distales, al igual que en la mano, son articulaciones tipo gínglimo que sólo permiten movimientos de flexión y extensión. Aunque pequeñas, estas articulaciones contribuyen a la precisión y ajuste del apoyo del pie (Neumann, 2017).

Los arcos plantares del pie son estructuras curvas formadas por huesos, ligamentos y músculos, que permiten absorber impactos y facilitar el desplazamiento. Los principales arcos son el longitudinal medial, el longitudinal lateral y el arco transversal (Moore et al., 2020).

El arco longitudinal medial es el más prominente y funcional de los tres. Se extiende desde el calcáneo hasta la cabeza del primer metatarsiano, y está compuesto por el astrágalo, navicular, los tres cuneiformes y los tres primeros metatarsianos. Es altamente elástico y absorbe la mayor parte del impacto al caminar (Kapandji, 2020).

El arco longitudinal lateral es más plano y menos flexible. Se forma desde el calcáneo hasta el quinto metatarsiano, pasando por el cuboides. Su función es proporcionar estabilidad lateral durante la bipedestación y marcha, y actúa como base de apoyo estructural (Drake et al., 2019).

El arco transversal está formado por las bases de los cinco metatarsianos, los cuneiformes y el cuboides. Este arco permite la adaptación del pie a superficies curvas y distribuye la carga entre los lados medial y lateral del pie (Neumann, 2017).

La integridad de los arcos plantares depende de múltiples factores: alineación ósea, tono muscular, integridad ligamentosa y actividad física. Un desequilibrio en cualquiera de estos elementos puede producir colapso de los arcos y alteraciones funcionales (Saladin, 2018).

El colapso del arco longitudinal medial da origen a la condición conocida como pie plano. Esta deformidad afecta la distribución del peso corporal y puede provocar dolor, fatiga muscular y predisposición a lesiones por sobreuso (Standring, 2021).

El aumento exagerado del arco longitudinal medial se conoce como pie cavo. Esta condición reduce la capacidad del pie para absorber impactos, incrementando el riesgo de fracturas por estrés, esguinces recurrentes y dolor plantar (Moore et al., 2020).

La evaluación de los arcos plantares se puede realizar mediante análisis biomecánicos, huellas plantares y estudios imagenológicos. La baropodometría es una herramienta clínica que mide la distribución de presiones en la planta del pie (Kapandji, 2020).

Desde la infancia, los arcos plantares evolucionan de una configuración plana a una más arqueada. Durante esta etapa, el desarrollo muscular y la maduración ligamentosa son determinantes para la formación adecuada de los arcos (Saladin, 2018).

Las alteraciones en los arcos plantares pueden estar asociadas a factores congénitos, neuromusculares o traumáticos. Por ejemplo, el pie plano flexible infantil es una condición común que puede corregirse espontáneamente, mientras que el pie plano rígido suele requerir tratamiento especializado (Neumann, 2017).

Los ligamentos plantares cortos y largos, así como el ligamento calcaneonavicular plantar (resorte), desempeñan un papel crucial en la conservación del arco medial. Estos tejidos conectivos impiden el colapso de las estructuras óseas durante la carga (Kapandji, 2020).

El tendón del tibial posterior es considerado uno de los principales estabilizadores dinámicos del arco longitudinal medial. La disfunción de este tendón puede llevar a un colapso progresivo del arco y al desarrollo de pie plano adquirido del adulto (Moore et al., 2020).

Además del tibial posterior, otros músculos como el peroneo largo, el tibial anterior y los músculos intrínsecos del pie colaboran activamente en el mantenimiento y control de los arcos plantares. Su función se ve reflejada en la eficiencia del paso y el equilibrio (Drake et al., 2019).

La fascia plantar, una gruesa banda de tejido conectivo que se extiende desde el calcáneo hasta la cabeza de los metatarsianos, también participa en la estabilización del arco longitudinal medial. Su inflamación crónica da lugar a la conocida fascitis plantar (Saladin, 2018).

Durante la marcha, los arcos plantares actúan como amortiguadores que almacenan energía elástica. Esta energía se libera durante la fase de despegue, permitiendo una locomoción más eficiente y económica desde el punto de vista energético (Neumann, 2017).

Los estudios biomecánicos han demostrado que el colapso de los arcos plantares puede alterar la alineación del tobillo, rodilla y cadera, generando compensaciones posturales que pueden derivar en lesiones musculoesqueléticas crónicas (Moore et al., 2020).

La utilización de plantillas ortopédicas con soporte de arco se ha demostrado eficaz en casos de pie plano o pie cavo doloroso. Estas plantillas redistribuyen las presiones plantares, mejoran la biomecánica y disminuyen la sobrecarga en tejidos blandos (Kapandji, 2020).

La exploración clínica de los arcos plantares incluye la inspección de la huella plantar, la maniobra de Jack (extensión del hallux), la observación en bipedestación y la prueba de un solo talón. Estas maniobras permiten detectar alteraciones funcionales o estructurales (Drake et al., 2019).

El arco transversal anterior, aunque menos conocido, cumple un papel importante en la distribución del peso durante la marcha. Su colapso puede provocar metatarsalgia y aumento de presión en la cabeza de los metatarsianos, produciendo dolor plantar (Neumann, 2017).

El movimiento coordinado de las articulaciones plantares y los arcos es fundamental para realizar actividades cotidianas como caminar, correr o saltar. Esta coordinación depende de un sistema neuromuscular intacto que regule la activación muscular de forma precisa (Moore et al., 2020).

Las alteraciones neurológicas, como la parálisis cerebral o la neuropatía diabética, pueden afectar los arcos y las articulaciones plantares. En estos casos, la falta de tono o el exceso de espasticidad generan deformidades progresivas como el pie equino o el pie valgo (Saladin, 2018).

El pie del atleta representa una adaptación biomecánica donde las articulaciones y arcos deben tolerar cargas elevadas y repetitivas. La prevención de lesiones en estos casos incluye el fortalecimiento de la musculatura intrínseca del pie y el uso de calzado adecuado (Kapandji, 2020).

Los cambios hormonales y estructurales en el embarazo también afectan los arcos plantares, especialmente el longitudinal medial. El aumento de la laxitud

ligamentosa y el peso corporal favorecen el aplanamiento del arco, generando dolor e inestabilidad (Neumann, 2017).

En los adultos mayores, el envejecimiento del sistema musculoesquelético genera una reducción de la altura del arco medial, pérdida de elasticidad en la fascia plantar y debilitamiento muscular, lo cual se traduce en menor capacidad de absorción de impactos (Moore et al., 2020).

El uso prolongado de calzado inadecuado, como sandalias planas o zapatos con suela dura, puede favorecer el deterioro de los arcos plantares. Estos factores externos, sumados a predisposiciones anatómicas, aumentan el riesgo de patologías crónicas del pie (Drake et al., 2019).

Las cirugías reconstructivas del pie, como la artrodesis o la osteotomía, buscan restaurar la función de los arcos plantares cuando las intervenciones conservadoras fallan. Estas cirugías requieren un conocimiento profundo de la biomecánica articular y de la anatomía funcional del pie (Standring, 2021).

El estudio anatómico de los arcos y articulaciones plantares ha sido fundamental en la evolución del diseño de prótesis, plantillas y dispositivos de asistencia ortopédica. Las nuevas tecnologías como el escaneo 3D y la impresión aditiva permiten crear soportes personalizados (Saladin, 2018).

En el contexto del deporte, las evaluaciones funcionales del pie permiten determinar desequilibrios en la movilidad articular y en el comportamiento de los arcos. Estas evaluaciones son esenciales en deportes de alto impacto como el atletismo, fútbol y baloncesto (Kapandji, 2020).

La educación en salud podológica debe incluir la enseñanza sobre el funcionamiento normal de las articulaciones y arcos plantares. Promover el fortalecimiento del pie desde edades tempranas es clave para prevenir alteraciones estructurales (Neumann, 2017).

Las patologías inflamatorias crónicas como la artritis reumatoide también afectan las articulaciones del pie y los arcos plantares. La inflamación de la cápsula articular y la degeneración progresiva del cartílago articular alteran la morfología y biomecánica del pie (Moore et al., 2020).

Desde un enfoque evolutivo, la estructura arqueada del pie es una adaptación a la locomoción bípeda. Los homínidos primitivos presentaban arcos menos definidos y una mayor capacidad prensil, lo cual cambió radicalmente con el desarrollo del género Homo (Drake et al., 2019).

Los estudios comparativos en primates evidencian que los humanos son los únicos con un arco longitudinal medial completamente desarrollado. Esta característica confiere mayor eficiencia en la marcha y en la capacidad para recorrer largas distancias (Saladin, 2018).

Los arcos plantares funcionan como estructuras de resorte. Su capacidad de almacenar energía y liberarla durante la marcha es comparable a la de sistemas mecánicos, lo que los convierte en un ejemplo fascinante de biomecánica natural (Kapandji, 2020).

El sistema nervioso desempeña un rol clave en la regulación de la tensión muscular y ligamentosa que sostiene los arcos. El control propioceptivo y los reflejos miotáticos contribuyen a mantener la estabilidad del pie en condiciones cambiantes (Neumann, 2017).

Los niños con hiperlaxitud ligamentosa presentan con frecuencia arcos plantares aplanados, aunque esto no siempre se relaciona con patología. Es fundamental diferenciar el pie plano flexible benigno del pie plano rígido patológico mediante evaluación clínica adecuada (Moore et al., 2020).

La fascitis plantar es una de las afecciones más comunes del pie, relacionada con sobrecarga mecánica en el arco longitudinal medial. Su tratamiento incluye estiramientos, ortesis plantares, fisioterapia y, en algunos casos, intervenciones invasivas (Drake et al., 2019).

La alineación de las articulaciones plantares también influye en la distribución de las presiones sobre la planta del pie. Las desviaciones del primer metatarsiano, como en el hallux valgus, afectan el equilibrio entre el arco transversal y el longitudinal (Saladin, 2018).

En la rehabilitación del pie, los ejercicios de propiocepción, fortalecimiento y movilidad articular son fundamentales para restaurar la funcionalidad de las

articulaciones y los arcos. Estos programas deben ser adaptados a la morfología individual del paciente (Kapandji, 2020).

En conclusión, las articulaciones y arcos plantares conforman una unidad funcional inseparable. Su integridad estructural y biomecánica garantiza el correcto desarrollo de la marcha, el equilibrio y la absorción de impactos, siendo esenciales para la salud locomotora general (Neumann, 2017).

1.3 Músculos y tendones

El funcionamiento adecuado de las articulaciones y arcos plantares depende en gran medida de la acción coordinada de diversos músculos y tendones que actúan como estabilizadores dinámicos y pasivos del pie. Estas estructuras musculotendinosas no solo permiten el movimiento, sino que también proporcionan soporte estructural a los arcos longitudinales y transversales, permitiendo al pie absorber impactos, mantener el equilibrio y facilitar la propulsión durante la marcha. Los músculos extrínsecos, como el tibial posterior y los peroneos, desempeñan un rol fundamental en la estabilidad de los arcos, mientras que los músculos intrínsecos del pie, como el abductor del hallux y los interóseos, contribuyen a la alineación y funcionalidad articular. La siguiente tabla resume las principales estructuras musculares y tendinosas implicadas en estos procesos, detallando su ubicación, función y relación específica con los arcos y articulaciones plantares (Neumann, 2017; Kapandji, 2020; Moore et al., 2020).

Músculo / Tendón	Ubicación	Función principal	Relación con arcos o articulaciones
Tibial posterior	Profundo, cara posterior de la pierna	Sostiene el arco longitudinal medial	Principal soporte dinámico del arco medial
Peroneo largo	Lateral, cara externa de la pierna	Eversión del pie, estabiliza el arco transversal	Cruza bajo el pie; sostiene arco transversal y lateral

Tibial anterior	Anterior, pierna	Dorsiflexión del tobillo, inversión del pie	Colabora en el arco medial y control postural
Flexor largo del hallux	Profundo, posterior de la pierna	Flexión del dedo gordo, empuje en despegue	Recorre el arco medial, ayuda en su flexibilidad
Flexor largo de los dedos	Posterior de la pierna	Flexiona los cuatro dedos laterales del pie	Refuerza el arco longitudinal medial y articulaciones digitales
Abductor del hallux	Medial, planta del pie	Abducción y soporte del hallux	Refuerzo del arco medial y metatarsfalángica del hallux
Flexor corto del hallux	Medial, planta del pie	Flexión del hallux	Refuerzo articular y arco medial
Aductor del hallux	Planta del pie (transverso y oblicuo)	Aducción del hallux, estabilidad del antepié	Refuerzo del arco transversal anterior
Flexor corto de los dedos	Planta del pie	Flexiona los dedos II–V	Ayuda a sostener los arcos longitudinales
Cuadrado plantar	Planta del pie	Modifica la acción del flexor largo de los dedos	Contribuye al mantenimiento del arco longitudinal
Interóseos plantares	Entre los metatarsianos	Aducción de los dedos, soporte estático	Refuerzan el arco transversal
Fascia plantar	Superficial, planta del pie	Sostén pasivo del arco longitudinal medial	Estructura clave en la biomecánica del pie

Extensor corto de los dedos	Dorso del pie	Extensión de los dedos II–V	Refuerzo dorsal de las articulaciones metatarsofalángicas
Peroneo corto	Lateral de la pierna	Eversión y estabilización lateral del pie	Contribuye al soporte del arco longitudinal lateral
Extensor largo del hallux	Anterior de la pierna	Extensión del hallux, dorsiflexión del tobillo	Estabiliza el hallux y la articulación metatarsofalángica

Los músculos **extrínsecos** (como el tibial posterior o los peroneos) nacen fuera del pie (en la pierna) pero influyen directamente en su biomecánica.

Los **músculos intrínsecos** (como el abductor del hallux o los interóseos plantares) se originan y se insertan dentro del pie, reforzando su estructura y función local.

La **fascia plantar**, aunque no es un músculo, es una banda esencial que contribuye pasivamente al mantenimiento del arco longitudinal medial.

1.4 Función del pie en la locomoción humana

El pie humano es una estructura anatómica altamente especializada que desempeña un papel crucial en la locomoción bípeda. Su complejidad estructural le permite soportar el peso corporal, absorber impactos y propulsar el cuerpo hacia adelante durante la marcha (Roman-Liu, 2019).

La arquitectura ósea del pie, compuesta por 26 huesos, proporciona una base sólida y flexible para sostener el cuerpo. Esta estructura permite que el pie se adapte a diferentes superficies y distribuya el peso de manera equitativa (Neumann, 2016).

Los arcos plantares, longitudinales y transversales, son esenciales en la función de absorción de impactos. Estos arcos actúan como amortiguadores naturales durante la fase de apoyo de la marcha (Ledoux & Hillstrom, 2002).

Durante la marcha, el pie pasa por varias fases: contacto inicial, apoyo medio, elevación del talón y propulsión. Cada fase implica la acción coordinada de músculos, articulaciones y ligamentos (Perry & Burnfield, 2010).

La fascia plantar es un tejido conectivo que contribuye significativamente a mantener la integridad de los arcos plantares. Su tensión durante la carga del peso ayuda a conservar la estructura del pie (Gefen, 2002).

Los músculos intrínsecos del pie, aunque pequeños, son fundamentales para estabilizar los arcos y controlar la postura durante la marcha (Kelly et al., 2014).

Los músculos extrínsecos, como el tibial anterior y el gastrocnemio, colaboran en el control de la dorsiflexión y la propulsión durante la fase final del ciclo de la marcha (Winter, 1991).

El retropié, compuesto por el calcáneo y el astrágalo, actúa como punto de contacto inicial con el suelo. Su función es absorber la energía del impacto y transmitirla hacia el resto del pie (Whittle, 2007).

El mediopié, donde se encuentran los huesos del arco longitudinal, tiene un papel de transmisión de fuerzas y estabilización del movimiento del retropié hacia el antepié (Basmajian & Stecko, 1963).

El antepié, que incluye los metatarsianos y falanges, facilita la fase de propulsión, permitiendo la extensión de los dedos y el despegue del suelo (Neumann, 2016).

La cinemática del pie durante la marcha muestra una interacción compleja entre flexión plantar y dorsiflexión, eversión e inversión, permitiendo adaptabilidad a diferentes tipos de terreno (Leardini et al., 2007).

La propiocepción del pie, mediada por receptores sensoriales en la piel y articulaciones, proporciona retroalimentación constante al sistema nervioso central, fundamental para el equilibrio (Benton et al., 2011).

El dedo gordo del pie o hallux es crucial para la eficiencia de la marcha. Su extensión final impulsa el cuerpo hacia adelante y mejora el rendimiento locomotor (Rolian et al., 2009).

Las alteraciones estructurales como el pie plano o el pie cavo pueden modificar la biomecánica de la marcha y aumentar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas (Buldt et al., 2015).

El calzado influye directamente en la función del pie durante la locomoción. Un calzado inadecuado puede alterar la cinemática del pie y generar desórdenes posturales (Nigg et al., 2012).

La marcha descalza permite un funcionamiento más natural del pie, activando más músculos intrínsecos y favoreciendo el desarrollo de los arcos plantares (Lieberman et al., 2010).

El pie humano también cumple funciones táctiles. Su contacto constante con el suelo proporciona información sensorial esencial para ajustar la marcha (Hijmans et al., 2009).

El sistema de ligamentos del pie proporciona estabilidad pasiva a las articulaciones y contribuye al control del movimiento durante la locomoción (Bojsen-Møller, 1979).

La coordinación neuromuscular del pie permite respuestas rápidas ante estímulos externos, previniendo caídas o torceduras al caminar sobre superficies irregulares (Horak & Macpherson, 1996).

La energía elástica almacenada en los tendones del pie, especialmente en el tendón de Aquiles, se libera durante la fase de despegue, mejorando la eficiencia energética de la marcha (Alexander, 1991).

La estabilidad del tobillo es una condición previa esencial para la función adecuada del pie en la locomoción, ya que una articulación inestable puede alterar el patrón de marcha y causar compensaciones biomecánicas (Hertel, 2002).

Las articulaciones metatarsofalángicas permiten un rango de movimiento que favorece la flexión y extensión de los dedos, lo que es vital para una fase de propulsión eficiente (Sangeorzan et al., 1995).

El pie actúa como una palanca rígida durante la fase de impulso, transformando la fuerza muscular en movimiento lineal hacia adelante (Neumann, 2016).

La función amortiguadora del pie es especialmente evidente al correr, donde se pueden absorber fuerzas que multiplican varias veces el peso corporal (Munro et al., 1987).

Los sensores plantares del pie detectan la presión y el contacto con el suelo, proporcionando retroalimentación esencial para ajustar el paso (Morasso & Schieppati, 1999).

El pie desempeña un papel fundamental en la alineación corporal durante la locomoción. Un desequilibrio en su estructura puede producir problemas ascendentes en rodillas, caderas y columna (Razeghi & Batt, 2002).

En la marcha normal, el contacto inicial ocurre con el talón, seguido de una progresiva transferencia de carga al mediopié y luego al antepié, hasta culminar con el despegue del hallux (Perry & Burnfield, 2010).

La flexibilidad del pie permite adaptarse a superficies irregulares, reduciendo el riesgo de tropiezos o caídas (Menz et al., 2006).

Las diferencias morfológicas del pie según el género o la edad afectan la distribución de presiones plantares y la biomecánica de la marcha (Wegener et al., 2011).

Las plantillas ortopédicas están diseñadas para corregir alteraciones en la mecánica del pie, redistribuyendo las fuerzas y mejorando el patrón de marcha (Chevalier et al., 2010).

Las pruebas de baropodometría permiten analizar la distribución de cargas en el pie durante la locomoción, identificando zonas de sobrecarga o alteración de los arcos (Morag & Cavanagh, 1999).

El ciclo de la marcha se repite de manera rítmica y coordinada gracias a la función sensomotora del pie, que actúa como interfaz entre el cuerpo y el entorno (Winter, 1991).

La pronación y supinación del pie son movimientos naturales que permiten una adaptación dinámica a las fuerzas durante la marcha (Nester et al., 2001).

El pie infantil presenta diferencias estructurales y funcionales con respecto al adulto, y su maduración influye en la adquisición de patrones de locomoción (Mickle et al., 2011).

En personas mayores, la disminución de la fuerza muscular y la propiocepción en los pies puede afectar la estabilidad y aumentar el riesgo de caídas (Menz et al., 2005).

Las lesiones del pie, como la fascitis plantar o esguinces, pueden alterar significativamente la marcha y requerir intervenciones específicas para restaurar su función (Young et al., 2001).

El análisis biomecánico tridimensional del pie ofrece una herramienta valiosa para evaluar su función en tiempo real durante la marcha (Caravaggi et al., 2009).

Las actividades deportivas intensifican el rol funcional del pie, exigiendo mayor resistencia, absorción de impactos y respuesta neuromuscular (Milner et al., 2006).

La educación sobre la salud del pie es fundamental para prevenir disfunciones que puedan afectar la locomoción a largo plazo (Barnett, 2002).

Las investigaciones sobre la evolución del pie humano han mostrado cómo su estructura ha sido optimizada para la locomoción bípeda, diferenciándose de otros primates (Bramble & Lieberman, 2004).

Las condiciones patológicas como la neuropatía diabética afectan la sensibilidad del pie, alterando su función durante la marcha (Cavanagh et al., 2002).

Las órtesis dinámicas pueden mejorar la función del pie en personas con parálisis cerebral u otras discapacidades motoras, facilitando una locomoción más eficiente (Damiano et al., 1996).

La rehabilitación funcional del pie debe incluir ejercicios de fortalecimiento, estiramiento y reeducación sensorial para restaurar la biomecánica normal de la marcha (Tiberio, 1987).

El análisis electromiográfico permite evaluar la activación muscular del pie durante la marcha, proporcionando datos útiles para el diagnóstico y la intervención (Cavanagh & Williams, 1982).

El desarrollo de tecnologías como sensores inerciales permite monitorear la función del pie en entornos reales, mejorando la comprensión de su rol en la locomoción diaria (Mancini et al., 2011).

La energía cinética del cuerpo es canalizada a través del pie, lo que convierte su función en esencial para una marcha energéticamente eficiente (Alexander, 1991).

Las alteraciones congénitas como el pie zambo pueden requerir intervenciones ortopédicas tempranas para permitir una función locomotora adecuada (Dobbs & Gurnett, 2009).

La biomecánica del pie también juega un papel en otras actividades humanas como correr, saltar o escalar, demostrando su versatilidad funcional (Novacheck, 1998).

El equilibrio entre movilidad y estabilidad en las articulaciones del pie es clave para una locomoción armoniosa (Nigg et al., 2012).

En conjunto, la función del pie en la locomoción humana combina estructura anatómica, control neuromuscular, adaptación funcional y evolución biomecánica, representando un ejemplo sofisticado de diseño biológico.



CAPITULO II

LA HUELLA PLANTAR
COMO INDICADOR
BIOMECÁNICO

La huella plantar representa una manifestación visible y mensurable del comportamiento biomecánico del pie en condiciones estáticas y dinámicas. Este capítulo aborda la relevancia de la huella plantar como un indicador biomecánico clave en la evaluación de la postura, la distribución de cargas y el patrón de apoyo en diferentes contextos, especialmente en el ámbito de la educación física y el deporte formativo. A través del análisis de la morfología plantar y su relación con posibles alteraciones músculo-esqueléticas, se proporciona una base científica para la comprensión de cómo la estructura del pie puede influir en la eficiencia del movimiento, la prevención de lesiones y el rendimiento motor. Asimismo, se exploran los métodos de medición, clasificación y análisis de la huella plantar como herramienta diagnóstica y preventiva en la intervención pedagógica y clínica.

2.1 Huella Plantar

La huella plantar es una manifestación anatómica y funcional del pie que refleja la distribución de presiones y el contacto del mismo con el suelo durante la posición estática y la locomoción (Bruckner & Khan, 2019). Esta huella permite la evaluación de la morfología del arco plantar y su relación con la postura y el movimiento.

Desde la biomecánica, la huella plantar constituye un indicador esencial para identificar alteraciones funcionales y estructurales que afectan al sistema músculo-esquelético, como pie plano, pie cavo o dismetrías (Zamarripa et al., 2021). La observación de la forma y la presión en la pisada permite inferencias sobre la alineación corporal y la eficiencia de la marcha.

El estudio de la huella plantar se ha convertido en una herramienta diagnóstica en disciplinas como la podología, la fisioterapia, la ortopedia y la educación física. Esto se debe a su capacidad de evidenciar compensaciones musculares, patrones anómalos de carga y posibles predisposiciones a lesiones (Moreno et al., 2022).

La anatomía del pie humano está diseñada para soportar cargas, distribuir el peso corporal y facilitar el desplazamiento. En este contexto, la huella plantar funciona como un mapa de las zonas que reciben mayor presión, siendo clave para la detección de desequilibrios posturales (Romero-Franco et al., 2019).

Las investigaciones en población infantil han demostrado que la evaluación de la huella plantar es determinante para la identificación temprana de alteraciones biomecánicas, favoreciendo una intervención oportuna en el desarrollo motor (González-Elena et al., 2020).

Existen diversas metodologías para el análisis de la huella plantar, entre ellas la técnica de podoscopia, la baropodometría y los escáneres plantares 3D. Estas técnicas varían en precisión y aplicabilidad, pero todas comparten el objetivo de cuantificar parámetros del apoyo plantar (Jiménez-Ormeño et al., 2015).

El análisis de la huella plantar ha cobrado especial importancia en la investigación deportiva. En atletas, una huella plantar alterada puede afectar el rendimiento, la estabilidad y aumentar el riesgo de lesiones como fascitis plantar o esguinces (Cano-de-la-Cuerda et al., 2021).

La relación entre la morfología de la huella plantar y la tipología del pie ha sido ampliamente estudiada. Se han clasificado las huellas en categorías como pie plano, pie normal y pie cavo, con implicaciones funcionales para la marcha y el equilibrio (Pita-Fernández et al., 2017).

Una huella plantar equilibrada refleja una distribución armónica del peso corporal, lo cual se asocia a una mejor eficiencia mecánica durante la marcha y menor estrés articular. Por el contrario, una huella asimétrica puede indicar disfunciones musculares o articulares (Rodríguez-Rubio et al., 2018).

En el ámbito clínico, el análisis de la huella plantar permite diseñar plantillas ortopédicas personalizadas, orientadas a corregir patrones anómalos y mejorar la funcionalidad del sistema locomotor (Fernández-Segúin et al., 2014).

La huella plantar representa el patrón de contacto del pie con el suelo durante la bipedestación o el desplazamiento humano. Esta forma de impresión refleja aspectos anatómicos y funcionales del pie, siendo un indicador biomecánico de

gran relevancia para el estudio postural, el diagnóstico ortopédico y la evaluación deportiva (Romero-Franco et al., 2019). Cada persona posee una huella única influenciada por factores genéticos, estructurales y funcionales.

Desde el punto de vista anatómico, la huella plantar se genera por el apoyo de las tres zonas fundamentales del pie: el retropié, el mediopié y el antepié. La forma en que estas zonas hacen contacto con el suelo varía según la morfología del arco plantar, afectando la distribución del peso corporal y la estabilidad (Ferrari et al., 2020). Esta configuración tridimensional tiene implicaciones clínicas importantes.

Existen tres tipos principales de huellas plantares según la altura del arco longitudinal: pie cavo (arco elevado), pie normal y pie plano (arco colapsado). Esta clasificación se ha empleado ampliamente en estudios antropométricos y ortopédicos para establecer perfiles de riesgo de lesiones, especialmente en poblaciones escolares y deportistas (Ustaömer et al., 2022).

La huella plantar es un reflejo directo del estado funcional del sistema músculo-esquelético del miembro inferior. Una alteración en la huella puede ser indicativa de disfunciones biomecánicas, desequilibrios musculares o patologías estructurales, tales como el hallux valgus o el espolón calcáneo (Brindle et al., 2018).

La evaluación de la huella plantar permite un análisis no invasivo y económico del estado del pie. Se utilizan plataformas de presiones, podoscopios, plantoscopios y técnicas digitales como métodos de análisis, los cuales ofrecen datos objetivos sobre la distribución del peso, la superficie de contacto y la presión ejercida (Teyhen et al., 2021).

En el ámbito clínico, la exploración de la huella plantar se ha convertido en una herramienta diagnóstica esencial para la prevención de deformidades ortopédicas. En especial en la infancia, esta evaluación puede detectar precozmente anomalías del desarrollo podal, permitiendo intervenciones oportunas (Casanova et al., 2020).

La morfología plantar está determinada por múltiples factores, incluyendo la genética, el tipo de calzado, la actividad física, la edad y el peso corporal. Estudios han evidenciado que niños con sobrepeso presentan una tendencia a desarrollar huellas planas debido al colapso del arco plantar por exceso de carga (Müller et al., 2016).

El estudio de la huella plantar también ha sido crucial en investigaciones antropométricas y forenses. En este campo, se han desarrollado técnicas que permiten la identificación de individuos a partir del análisis de su huella, dado que sus características son únicas y difíciles de alterar (Rao & Moudgil, 2018).

Desde la biomecánica, la huella plantar permite evaluar patrones de marcha, simetrías de apoyo, desplazamiento del centro de presión y eficiencia en la locomoción. Estas variables son útiles en rehabilitación física y en la programación de ejercicios correctivos (Kim et al., 2021).

En el campo deportivo, la huella plantar tiene especial relevancia para el diseño de plantillas personalizadas y calzado ergonómico. Un correcto análisis de la presión plantar contribuye a la prevención de lesiones por sobreuso, como la fascitis plantar o las fracturas por estrés (Pope et al., 2019).

Las alteraciones en la huella plantar también están asociadas con trastornos posturales globales. Por ejemplo, un pie plano puede inducir rotaciones internas de la tibia y afectar la alineación de la pelvis, lo que incide en la postura estática y dinámica del individuo (Lee et al., 2020).

El análisis de la huella plantar ha sido utilizado en pediatría para monitorear el desarrollo postural del niño. Se ha observado que el arco plantar se forma progresivamente desde la infancia, y que las huellas planas son frecuentes antes de los cinco años, disminuyendo con el crecimiento (Rodríguez-Castaño et al., 2018).

La tecnología actual ha permitido avances significativos en el análisis de la huella plantar. El uso de sensores digitales y software especializado ofrece una medición precisa de la presión plantar y el área de contacto, facilitando diagnósticos más objetivos y personalizados (Brund & Nigg, 2020).

En adultos mayores, la huella plantar puede evidenciar signos de envejecimiento del aparato locomotor. Se ha reportado una disminución del arco plantar con la edad, así como una pérdida de elasticidad y movilidad del pie, factores que aumentan el riesgo de caídas (Menz et al., 2017).

El análisis de la huella plantar ha sido integrado en el estudio de la marcha patológica, especialmente en pacientes con enfermedades neurológicas como la parálisis cerebral o el Parkinson. Estas condiciones presentan patrones de huella característicos que permiten orientar la terapia motriz (Rao et al., 2021).

Desde la ergonomía, la huella plantar se considera un criterio importante en el diseño de puestos de trabajo que requieren bipedestación prolongada. Un mal apoyo del pie puede inducir fatiga muscular, dolor lumbar y disminución del rendimiento laboral (Telfer et al., 2019).

La educación física y el entrenamiento deportivo se benefician del estudio de la huella plantar, ya que permite personalizar los programas de ejercicio según el tipo de pie y su respuesta mecánica al impacto. Esto optimiza el rendimiento y reduce el riesgo de lesiones (Gijon-Nogueron et al., 2018).

En fisioterapia, la evaluación de la huella plantar permite hacer un seguimiento de la evolución del tratamiento, especialmente en casos de esguinces, fracturas o cirugías del pie. Las modificaciones en la huella reflejan la recuperación funcional del paciente (Sánchez-Ramírez et al., 2020).

Existen diferentes métodos de clasificación de la huella plantar. Uno de los más utilizados es el Índice de Hernández-Corvo, que compara la anchura del mediopié con el antepié, estableciendo tipologías morfológicas según la proporción entre estas áreas (Ferrari et al., 2020).

Los estudios comparativos de huella plantar entre deportistas han evidenciado que ciertas disciplinas tienden a desarrollar patrones específicos. Por ejemplo, los corredores de larga distancia suelen tener arcos más elevados, mientras que los jugadores de fútbol presentan huellas más homogéneas (Barisch-Fritz et al., 2016).

La observación de la huella plantar puede realizarse en condiciones estáticas y dinámicas. En condiciones estáticas, se estudia la distribución del peso corporal mientras el sujeto está de pie; en condiciones dinámicas, se analiza la forma en que el pie contacta el suelo durante la marcha o la carrera (López-López et al., 2019). Esta dualidad permite un enfoque integral para el diagnóstico.

Diversas enfermedades sistémicas pueden alterar la morfología de la huella plantar. Por ejemplo, en personas con diabetes mellitus, la neuropatía periférica modifica la percepción del apoyo y conlleva la formación de puntos de presión anómalos, lo que aumenta el riesgo de úlceras plantares (Bus et al., 2020).

La antropometría podal, que incluye la medición de la huella plantar, ha sido utilizada para caracterizar poblaciones y estudiar diferencias étnicas. Se ha reportado que la forma del pie y la huella varían entre diferentes grupos humanos, lo que tiene implicaciones en el diseño de calzado y prótesis (Ukoha et al., 2015).

La huella plantar no sólo es útil desde una perspectiva clínica, sino también pedagógica. En el contexto escolar, su análisis permite identificar niños que requieren atención postural o adaptaciones curriculares en educación física, promoviendo un desarrollo motor saludable (Martínez-Cepa et al., 2019).

La asimetría en la huella plantar entre ambos pies puede ser un indicador de disfunción motora, dismetría de miembros inferiores o desequilibrios posturales. Este fenómeno es especialmente relevante en contextos deportivos donde la carga se distribuye de forma desigual (Becerro-de-Bengoa-Vallejo et al., 2016).

El uso del análisis plantar en rehabilitación deportiva ha permitido diseñar intervenciones específicas para corregir sobrecargas y patrones de apoyo defectuosos. A través de plantillas ortopédicas personalizadas y ejercicios funcionales, es posible modificar favorablemente la huella (Telfer et al., 2019).

El desarrollo del arco plantar es un proceso progresivo que puede ser monitoreado a través de la huella. La falta de un arco bien definido en etapas avanzadas del crecimiento podría ser indicativo de pie plano estructural, lo que amerita atención médica especializada (Evans & Karimi, 2015).

El análisis de la huella plantar también es relevante en el diseño de ortesis. Las ortesis plantares, cuando son bien adaptadas a la morfología del pie, distribuyen mejor las cargas y reducen la aparición de lesiones por presión excesiva (Chevalier et al., 2021).

En mujeres embarazadas, los cambios hormonales y el aumento de peso generan modificaciones temporales en la huella plantar. Se observa un aplanamiento del arco y un aumento de la superficie de contacto, lo que puede derivar en dolor y molestias en el pie (Puszczalowska-Lizis et al., 2021).

El análisis de la huella plantar se ha utilizado también en biomecánica comparada, especialmente para estudiar la evolución del bipedalismo humano. Investigaciones en paleoantropología han reconstruido huellas fósiles para inferir patrones de locomoción de los homínidos (Hatala et al., 2016).

La marcha descalza genera una huella plantar diferente a la marcha con calzado. Estudios recientes han demostrado que caminar descalzo desarrolla patrones de apoyo más naturales y funcionales, reforzando la musculatura intrínseca del pie (Holowka et al., 2019).

La impresión plantar tiene también una utilidad estética y ortésica en podología. Las ortesis personalizadas buscan restaurar la forma fisiológica del apoyo plantar, proporcionando comodidad y evitando deformidades estructurales (Aghazadeh et al., 2022).

La obesidad infantil ha sido asociada con un incremento significativo en la superficie de la huella plantar. El aumento de peso repercute directamente en la forma del pie, haciendo más frecuentes los casos de pie plano flexible (Riddiford-Harland et al., 2020).

En la infancia, se considera normal cierto grado de planitud en la huella debido a la presencia de tejido adiposo plantar. No obstante, si la huella no evoluciona hacia una forma más arqueada después de los seis años, podría requerir intervención médica (Evans & Rome, 2011).

La tecnología 3D ha revolucionado el análisis de la huella plantar al permitir reconstrucciones digitales de alta precisión. Estas tecnologías se emplean en

podología deportiva, ortopedia y diseño de calzado técnico (Caravaggi et al., 2021).

En personas con amputaciones, la huella plantar del pie contralateral puede alterarse por la sobrecarga compensatoria. Esta situación ha sido objeto de análisis en estudios de biomecánica para evitar la aparición de lesiones en el pie sano (Yavuz et al., 2018).

Los estudios de huella plantar también se emplean en el control del equilibrio y la prevención de caídas en adultos mayores. El análisis de la distribución de presiones permite detectar patrones inestables que podrían corregirse mediante programas de intervención (Menz et al., 2017).

La huella plantar se emplea en estudios de eficiencia de carrera, donde se analiza el tiempo de contacto, la fase de propulsión y la mecánica de aterrizaje. Estos factores influyen directamente en el rendimiento y en el riesgo de lesiones (Foch et al., 2015).

El análisis de la huella plantar es de gran utilidad para el diseño de calzado ergonómico e inclusivo. Un calzado mal adaptado puede causar deformidades progresivas, dolor y limitaciones funcionales, por lo que un calzado adaptado a la huella mejora la salud del pie (González-Elena et al., 2019).

La digitalización de la huella plantar mediante escáneres podales ha permitido la creación de bases de datos con fines epidemiológicos. Estas bases son útiles para identificar prevalencia de pie plano, pie cavo u otras alteraciones morfológicas en distintas poblaciones (Lee et al., 2020).

La marcha patológica en pacientes con hemiplejía o lesiones neurológicas puede evaluarse mediante el estudio de la huella plantar. Estos patrones asimétricos permiten adaptar ortesis o estrategias de rehabilitación personalizadas (Rao et al., 2021).

En fisioterapia neurológica, la huella plantar sirve como parámetro de evaluación funcional y de evolución clínica. Los cambios en la huella a lo largo del tratamiento evidencian mejoría del control motor y la reorganización postural (Martínez-Milán et al., 2022).

El análisis dinámico de la huella plantar en actividades deportivas permite valorar la eficiencia mecánica y la carga en cada fase de la pisada. Esto es especialmente relevante en deportes como el atletismo, donde los patrones de apoyo inciden directamente en el rendimiento (Brund & Nigg, 2020).

Estudios longitudinales han permitido observar cómo la huella plantar se modifica con la intervención quirúrgica en deformidades del pie. Las correcciones quirúrgicas exitosas muestran un retorno progresivo hacia una huella normal (Sánchez-Ramírez et al., 2020).

La huella plantar también es relevante en el estudio de la propiocepción. Se ha evidenciado que la forma y distribución del apoyo plantar influyen en la calidad de las señales sensoriales que el sistema nervioso utiliza para mantener el equilibrio (Teyhen et al., 2021).

En el ámbito militar y ocupacional, la huella plantar es analizada para evitar lesiones por sobrecarga en trabajadores o soldados que permanecen mucho tiempo de pie o cargan peso. Los programas preventivos incluyen calzado personalizado y ejercicios podales (Kim et al., 2021).

Desde la perspectiva del desarrollo motor, el análisis de la huella plantar en niños permite identificar retrasos en la maduración del patrón de marcha o del equilibrio. Estas evaluaciones se incluyen en valoraciones integrales del desarrollo infantil (Rodríguez-Castaño et al., 2018).

En personas con discapacidades físicas o necesidades educativas especiales, la huella plantar puede reflejar alteraciones en el tono muscular o en la coordinación motriz. Este tipo de evaluación favorece la adaptación de entornos escolares y deportivos inclusivos (Casanova et al., 2020).

La combinación de la huella plantar con otras mediciones como la baropodometría, la termografía o la electromiografía permite una evaluación multisensorial del pie, lo que mejora la precisión diagnóstica y terapéutica (Pope et al., 2019).

Finalmente, el estudio de la huella plantar constituye un eje integrador de la anatomía, la biomecánica, la fisiología y la clínica del pie humano. Su aplicación

trasciende disciplinas médicas, educativas y deportivas, consolidándose como una herramienta clave en el abordaje integral de la salud podal (Gijon-Nogueron et al., 2018).

2.2 Tipos de Huella Plantar

La huella plantar es una representación gráfica de la superficie de contacto del pie con el suelo, y constituye un indicador biomecánico de gran utilidad clínica y deportiva. Su análisis permite detectar alteraciones funcionales, morfológicas y estructurales del pie, siendo fundamental para la prevención de lesiones y el diseño de intervenciones ortopédicas y deportivas (González-Elena et al., 2020).

Existen distintos tipos de huella plantar que se clasifican, generalmente, en función del arco longitudinal del pie. Esta clasificación se basa en el grado de apoyo que se registra en la región media del pie, lo cual permite distinguir entre pie normal, pie plano y pie cavo, cada uno con implicaciones biomecánicas específicas (Martínez-Nova & Sánchez-Rodríguez, 2014).

El pie normal o fisiológico se caracteriza por presentar un arco longitudinal medio bien definido, con un contacto moderado en la zona media. Esta huella refleja una distribución equilibrada de cargas y es representativa de una biomecánica eficiente durante la marcha y la carrera (Teyhen et al., 2009).

El pie plano presenta una disminución o colapso del arco longitudinal, lo cual se traduce en una huella con una superficie de apoyo más extensa en la región medial. Esta condición puede generar una sobrepronación del pie y afectar la alineación de la extremidad inferior, produciendo dolor o lesiones si no se trata adecuadamente (Kosashvili et al., 2008).

Por otro lado, el pie cavo muestra un arco longitudinal excesivamente elevado, lo que genera una huella con escaso o nulo contacto en la zona media del pie. Esta condición produce una distribución anómala de las presiones plantares, favoreciendo el apoyo excesivo en el talón y el antepié, lo que incrementa el riesgo de lesiones por sobrecarga (Burns et al., 2005).

Desde el enfoque biomecánico, la huella plantar no solo permite conocer la morfología del pie, sino también inferir patrones de carga, distribución de

presiones y compensaciones estructurales. Por tanto, su análisis resulta esencial en estudios de ergonomía, ortopedia y rendimiento deportivo (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

Diversos métodos han sido desarrollados para clasificar las huellas plantares, siendo el índice de Clarke uno de los más utilizados. Este método cuantifica la relación entre el ancho del mediopié y del antepié, permitiendo determinar si la huella se aproxima a un patrón plano, cavo o neutro (Clarke, 1933).

En contextos clínicos, la evaluación de la huella plantar permite detectar deformidades congénitas o adquiridas que pueden comprometer la funcionalidad del sistema locomotor. La identificación precoz de un pie plano infantil, por ejemplo, puede guiar la intervención fisioterapéutica y evitar complicaciones en la adultez (Evans & Rome, 2011).

En deportistas, el tipo de huella plantar influye en el tipo de pisada y en la eficiencia del gesto deportivo. Un pie plano puede limitar el retorno elástico durante la carrera, mientras que un pie cavo puede predisponer a esguinces o fracturas por estrés debido a la rigidez de la bóveda plantar (Pita-Fernández et al., 2015).

El pie normal, aunque considerado como una estructura funcional ideal, no es garantía de ausencia de lesiones, ya que factores como el calzado, superficie de entrenamiento y técnica también influyen en la mecánica del pie. No obstante, este tipo de huella refleja un equilibrio estructural óptimo (Teyhen et al., 2009).

El pie plano se divide en flexible y rígido. El flexible permite formar el arco cuando el pie no está en carga, mientras que el rígido no recupera la curvatura bajo ninguna condición. Esta diferenciación es crucial para la elección de tratamiento conservador o quirúrgico (Mosca, 2010).

El pie cavo, por su parte, puede presentar diferentes grados de rigidez, lo que determina la necesidad de soportes plantares personalizados o intervenciones quirúrgicas en casos severos. Es común en deportistas de alto impacto, como corredores o jugadores de baloncesto (Burns et al., 2005).

El análisis informatizado de la huella plantar a través de plataformas de presiones y escáneres 2D o 3D ha optimizado la precisión diagnóstica, permitiendo cuantificar áreas de presión y desplazamiento del centro de masas durante la marcha (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

Los sistemas de baropodometría dinámica son especialmente útiles para registrar el comportamiento plantar durante la marcha. Estos permiten detectar alteraciones funcionales no evidentes en estudios estáticos, como la supinación excesiva o las compensaciones del tobillo (Cavanagh & Rodgers, 1987).

La clasificación de la huella también puede realizarse mediante el índice de Chippaux-Smirak, que analiza la proporción entre el ancho más estrecho del mediopié y el ancho del antepié. Este índice ofrece una herramienta práctica y válida en evaluaciones masivas (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

La prevalencia del pie plano es mayor en edades pediátricas, siendo parte del desarrollo natural del pie. Sin embargo, la persistencia de esta condición más allá de los 6 años requiere intervención y seguimiento especializado (Evans & Rome, 2011).

En adultos, la aparición de pie plano suele estar asociada a disfunciones del tendón tibial posterior o degeneración ligamentosa, y requiere una valoración biomecánica integral para determinar su origen y evolución (Mosca, 2010).

El pie cavo idiopático es frecuente en adolescentes y adultos jóvenes, con etiología aún incierta en muchos casos. Su detección es importante, pues está relacionado con inestabilidad crónica del tobillo y deformidades en garra de los dedos (Burns et al., 2005).

La influencia del tipo de huella plantar en la postura corporal ha sido ampliamente estudiada. Un arco alterado puede modificar la alineación de rodillas, caderas y columna, generando adaptaciones musculoesqueléticas (Teyhen et al., 2009).

En adultos mayores, el estudio de la huella plantar cobra importancia debido a los cambios degenerativos del pie, como pérdida del tejido adiposo plantar y reducción del arco longitudinal, factores que inciden en el riesgo de caídas (Cavanagh & Rodgers, 1987).

La biomecánica del pie influye de manera directa en el rendimiento deportivo, y una huella plantar anómala puede ser un factor limitante si no se compensa adecuadamente. Por ejemplo, los corredores con pie cavo tienden a tener una fase de contacto más corta y un mayor impacto en el talón, lo que puede derivar en lesiones de sobrecarga (Burns et al., 2005).

Por su parte, los deportistas con pie plano presentan una mayor inestabilidad del retropié, lo que puede interferir con la propulsión y aumentar el riesgo de lesiones por sobrepronación, tales como fascitis plantar o síndrome de estrés tibial medial (Kosashvili et al., 2008).

Existen variaciones en la morfología plantar dependiendo del sexo, la edad y el índice de masa corporal. Estudios han demostrado que el pie plano es más frecuente en mujeres y personas con sobrepeso u obesidad, lo cual puede relacionarse con alteraciones en la distribución de cargas (Pita-Fernández et al., 2015).

El análisis de la huella plantar también ha sido utilizado en estudios poblacionales para detectar tendencias genéticas o étnicas. Por ejemplo, en algunas poblaciones indígenas se ha observado una prevalencia mayor de pie plano sin implicaciones funcionales, lo cual sugiere una adaptación evolutiva (Cavanagh & Rodgers, 1987).

Desde el ámbito educativo, la evaluación de la huella plantar en la infancia puede servir como herramienta de tamizaje para derivar a los estudiantes a valoración especializada y evitar el agravamiento de condiciones ortopédicas (Evans & Rome, 2011).

En el área de la podología forense, la huella plantar constituye un marcador individual único. La forma y presión del pie dejan patrones que pueden ser utilizados en investigaciones criminalísticas o en identificación de personas (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

En la medicina del trabajo, el tipo de huella plantar puede determinar la elección del calzado ocupacional y la adaptación del puesto laboral. Trabajadores con pie

plano o cavo pueden requerir plantillas especiales para disminuir el riesgo de lesiones laborales (González-Elena et al., 2020).

Las plantillas ortopédicas personalizadas se diseñan a partir del análisis de la huella plantar, y su objetivo principal es corregir las alteraciones del arco longitudinal y redistribuir adecuadamente las presiones (Martínez-Nova & Sánchez-Rodríguez, 2014).

El diseño de calzado deportivo ha evolucionado para adaptarse a los distintos tipos de pisada derivados de la huella plantar. Existen modelos específicos para pronadores, supinadores y pisada neutra, lo que optimiza el rendimiento y disminuye lesiones (Teyhen et al., 2009).

En el ámbito militar, la evaluación de la huella plantar se considera fundamental, ya que soldados con pie plano o cavo tienen mayor propensión a sufrir lesiones durante entrenamientos intensivos o marchas prolongadas (Kosashvili et al., 2008).

El entrenamiento propioceptivo puede mejorar la funcionalidad del pie independientemente del tipo de huella plantar. Programas enfocados en la musculatura intrínseca del pie han demostrado beneficios en la estabilización del arco y en la prevención de lesiones (Evans & Rome, 2011).

Las tecnologías emergentes como la impresión 3D están siendo aplicadas al diseño de plantillas basadas en huellas plantares, lo que permite una personalización más precisa y un ajuste biomecánico superior (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

Desde el punto de vista postural, la huella plantar puede reflejar alteraciones como dismetrías, escoliosis funcionales o inestabilidades pélvicas. El estudio integral del pie debe incluir el análisis de la estática y la dinámica corporal (Burns et al., 2005).

Los estudios longitudinales han demostrado que el tipo de huella plantar puede cambiar con el tiempo como resultado del envejecimiento, actividad física, pérdida de peso o intervenciones ortopédicas. Por tanto, se recomienda su evaluación periódica (Pita-Fernández et al., 2015).

El pie cavo neurológico es una variante asociada a enfermedades como la Charcot-Marie-Tooth, en la cual la huella plantar refleja deformidades rígidas y desequilibrio muscular. Su abordaje requiere una valoración interdisciplinaria (Burns et al., 2005).

El pie plano adquirido del adulto suele ser el resultado de procesos degenerativos o traumáticos, y puede manifestarse progresivamente. La observación de cambios en la huella plantar es una señal de alerta clínica (Mosca, 2010).

Las huellas plantares también son útiles en la monitorización del tratamiento ortopédico, ya que permiten visualizar cambios en la morfología del pie y en la distribución de presiones después de usar plantillas o realizar cirugía correctiva (Martínez-Nova & Sánchez-Rodríguez, 2014).

La inclusión del análisis plantar en la evaluación integral del deportista mejora la prescripción del entrenamiento y permite prevenir lesiones, especialmente en disciplinas de impacto como atletismo, fútbol o baloncesto (Teyhen et al., 2009).

A nivel educativo, incorporar talleres de valoración plantar en carreras como fisioterapia, educación física o medicina deportiva fomenta el desarrollo de competencias clínicas y preventivas en los futuros profesionales (Domínguez-Maldonado et al., 2022).

En síntesis, la huella plantar representa un indicador biomecánico multifactorial cuya interpretación debe considerar aspectos estructurales, funcionales y contextuales. Contribuye al diagnóstico clínico, la prevención de lesiones y la personalización de intervenciones en diversas disciplinas de la salud y el deporte.

2.3 Métodos de evaluación de la huella plantar

2.3.1 Método Hernández Corvo

El método de Hernández Corvo es una de las técnicas más utilizadas para la evaluación morfológica del pie a través de la huella plantar, especialmente en

contextos escolares, deportivos y de medicina preventiva (Hernández Corvo, 1982).

Este método se basa en una representación gráfica obtenida a partir de la impresión plantar, sobre la cual se realizan mediciones simples que permiten determinar el tipo de pie: normal, plano o cavo.

La metodología consiste en dividir el ancho de la zona media de la huella entre el ancho de la parte más ancha del antepié. Esta razón se denomina Índice de Huella (IH).

De acuerdo con los valores del IH, se clasifica la huella en tres categorías: pie cavo ($IH < 0,21$), pie normal ($0,21 \leq IH \leq 0,45$) y pie plano ($IH > 0,45$).

Esta fórmula proporciona una manera práctica de evaluar la morfología plantar sin necesidad de tecnología avanzada, lo que la convierte en una herramienta ideal para evaluaciones masivas y rápidas.

El procedimiento tradicional implica el uso de tinta, témpera o grafito para obtener la impresión plantar sobre una hoja de papel, marcando posteriormente las líneas de medición con regla o compás.

La línea de referencia en la parte anterior se traza entre los puntos extremos del antepié, mientras que la línea media se mide en la parte más estrecha de la huella, en el área del arco longitudinal.

Esta clasificación permite detectar alteraciones que podrían influir en la marcha, la postura o la biomecánica general del sujeto, facilitando la toma de decisiones preventivas.

El método ha demostrado ser altamente útil en niños y adolescentes, donde la detección temprana de pie plano o cavo puede permitir intervenciones ortopédicas o ejercicios correctivos.

Su simplicidad y accesibilidad lo han convertido en uno de los métodos más difundidos en Latinoamérica, siendo parte habitual de protocolos de evaluación física en instituciones educativas.

Además, ha sido utilizado en estudios epidemiológicos sobre prevalencia de alteraciones plantares, demostrando su aplicabilidad a gran escala.

Una de sus ventajas es que no requiere equipo costoso ni capacitación especializada, lo cual permite que personal de salud o educación física pueda aplicarlo tras una breve formación.

A pesar de su utilidad, el método presenta algunas limitaciones, como la subjetividad en la identificación de los puntos de medición o la influencia de la calidad de la huella obtenida.

La presión aplicada durante la impresión puede alterar el contorno de la huella, especialmente en sujetos con sobrepeso, lo que podría modificar el índice de huella y conducir a errores de clasificación.

Para minimizar estos errores, se recomienda realizar tres impresiones por pie y utilizar la más representativa o promediar los resultados.

También es fundamental que el sujeto esté de pie en bipedestación relajada, distribuyendo el peso de forma equitativa entre ambos pies.

Algunos investigadores han complementado el método con registros fotográficos y análisis digital de las huellas para aumentar la precisión.

Esta técnica se ha convertido en una herramienta didáctica útil para estudiantes de ciencias del deporte, fisioterapia y podología, fomentando la comprensión de la biomecánica del pie.

El método permite observar diferencias entre el pie izquierdo y derecho, algo importante para detectar asimetrías funcionales que podrían causar compensaciones posturales.

También es posible monitorear cambios en el tipo de huella a lo largo del tiempo, lo cual lo hace útil en estudios longitudinales.

En contextos deportivos, ha sido usado para orientar la elección de calzado adecuado o la necesidad de plantillas ortopédicas personalizadas.

Hernández Corvo propuso su índice en 1982 como una respuesta a la necesidad de clasificar la morfología del pie en el ámbito educativo, donde otros métodos eran demasiado técnicos o costosos.

Su método ha sido citado y utilizado en múltiples investigaciones sobre salud postural, evaluación física escolar y biomecánica.

En combinación con otros índices como el de Clarke o el de Chippaux-Smirak, permite obtener una visión más completa de la estructura del pie.

Algunos estudios han correlacionado el IH de Hernández Corvo con el rendimiento deportivo en pruebas de salto y carrera, especialmente en jóvenes.

Se ha encontrado que sujetos con pies planos pueden presentar disminución en la eficiencia del retorno elástico durante el despegue, afectando su rendimiento.

En cambio, los pies cavos suelen presentar menor amortiguación natural, lo que podría aumentar el riesgo de lesiones por impacto.

Por ello, el IH puede ser considerado un factor de riesgo biomecánico en programas de detección de lesiones.

La reproducibilidad del método ha sido validada en diferentes contextos, mostrando concordancia entre evaluadores con formación básica.

Investigaciones actuales lo utilizan como parámetro básico dentro de baterías de evaluación funcional del aparato locomotor.

La facilidad para implementarlo en poblaciones rurales o de bajos recursos ha impulsado su utilización en programas comunitarios de salud pública.

Se han desarrollado versiones digitales del método, en las que el IH es calculado a partir de escáneres o fotos digitalizadas de la huella plantar.

Estas herramientas digitales reducen el error humano y aumentan la precisión, manteniendo la lógica y fundamentos del método original.

Algunos softwares permiten almacenar el historial de evaluaciones y realizar comparaciones longitudinales para valorar la evolución de tratamientos.

En el ámbito clínico, el IH ha sido empleado para complementar diagnósticos en casos de fascitis plantar, tendinopatías o deformidades estructurales.

También ha sido integrado en valoraciones prequirúrgicas como indicador de la morfología funcional del pie.

Los resultados del índice pueden combinarse con cuestionarios de síntomas y análisis de la marcha para generar perfiles de riesgo individualizados.

En el caso pediátrico, el IH permite establecer curvas de desarrollo del arco plantar que pueden ayudar a distinguir entre variaciones fisiológicas y patológicas.

También se ha aplicado en investigaciones que buscan correlacionar tipo de huella con variables como índice de masa corporal, sexo o edad.

En educación física, el IH puede emplearse como parte de los indicadores de salud postural en el diagnóstico pedagógico inicial.

En estudios comparativos, el método ha sido confrontado con tecnologías más complejas como la baropodometría, encontrándose resultados concordantes en el diagnóstico general.

A pesar de su simplicidad, el método puede ser refinado mediante prácticas sistemáticas de medición y protocolos estandarizados.

Su valor pedagógico también se ha resaltado, pues permite enseñar conceptos de anatomía, proporciones y análisis corporal en niveles escolares.

El uso del método como herramienta participativa en programas de salud escolar ha demostrado mejorar la conciencia corporal de los estudiantes.

Desde una perspectiva biomecánica, el IH representa una síntesis de la interacción entre estructuras óseas, ligamentosas y musculares del pie.

Al ser una medida dimensional, permite establecer comparaciones interindividuales sin necesidad de escalar por talla, siempre que las proporciones se respeten.

Su integración con registros fotográficos mejora la trazabilidad de los datos, permitiendo análisis comparativos más detallados.

En estudios poblacionales, permite detectar prevalencias elevadas de pies planos o cavos, asociadas a cambios en el estilo de vida o sedentarismo.

El IH también puede correlacionarse con el nivel de actividad física, encontrándose diferencias entre sujetos activos y sedentarios.

El método contribuye a la medicina preventiva al facilitar diagnósticos tempranos y a bajo costo, lo cual es crucial en países con recursos limitados.

En fisioterapia, se utiliza para planificar ejercicios específicos que estimulen el desarrollo del arco plantar en niños.

Su uso sistemático en programas escolares permite realizar seguimiento individualizado del desarrollo del pie en la etapa de crecimiento.

En adultos, permite detectar pies planos adquiridos relacionados con el envejecimiento o disfunción del tibial posterior.

También ha sido utilizado para justificar la prescripción de plantillas ortopédicas o derivaciones a especialistas.

Su implementación en contextos laborales puede ayudar a reducir lesiones asociadas al trabajo de pie prolongado o posturas repetitivas.

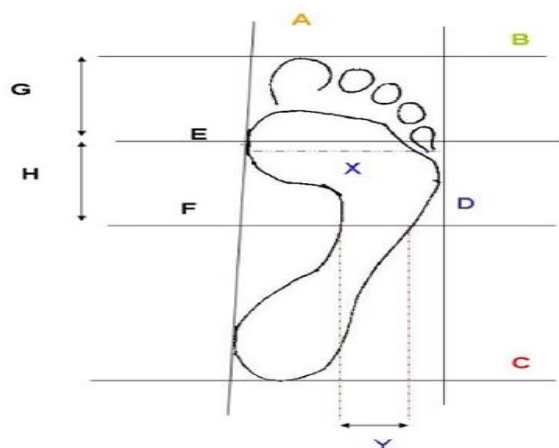
En atletas, puede utilizarse como herramienta de screening previa a competencias, para identificar factores de riesgo biomecánico.

Ha demostrado ser útil en la investigación de poblaciones con discapacidad física, al permitir una evaluación objetiva y no invasiva.

En la actualidad, se recomienda como parte del examen físico integral del aparato locomotor en atención primaria.

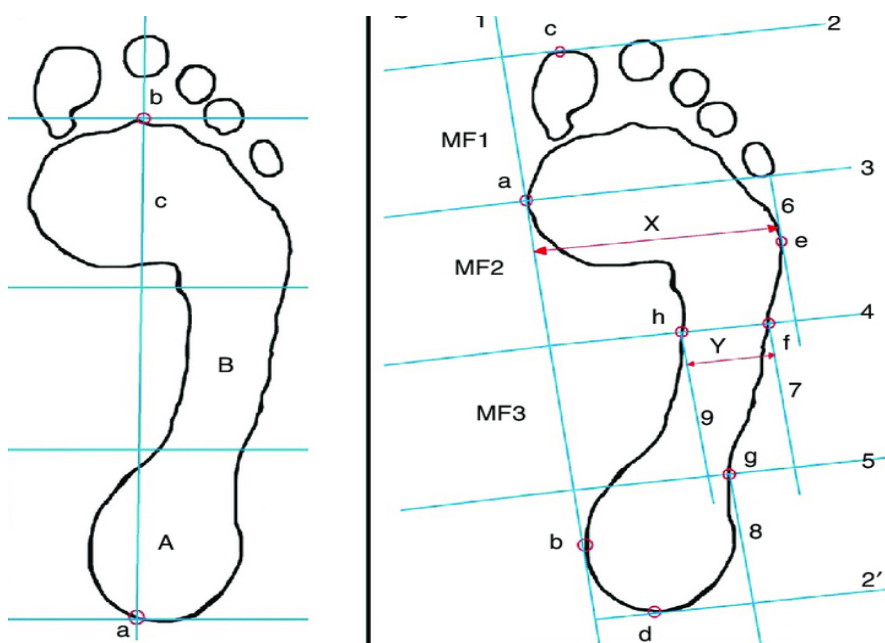
El método de Hernández Corvo se mantiene vigente gracias a su sencillez, efectividad y adaptabilidad a distintos contextos clínicos y educativos.

En conclusión, el Índice de Huella de Hernández Corvo constituye una herramienta accesible, válida y confiable para la evaluación de la morfología plantar, siendo de especial utilidad en la promoción de la salud postural y prevención de alteraciones biomecánicas.



Fuente: Monterrosa Quintero et al. (2023), citada en Gómez Ríos et al

Trazados en la huella plantar para aplicar el Índice Hernández Corvo (IH), mostrando los puntos de medición: ancho del mediopié (Y) y antepié (X) sobre la impresión.



Fuente: Sánchez-Ramírez (2017)

Figura 2. Comparación en paralelo entre el método de Cavanagh y el método Hernández Corvo, facilitando la visualización de diferencias en puntos estratégicos del pie.

2.3.2. Inspección visual no cuantitativa

La inspección visual no cuantitativa de la huella plantar es uno de los métodos más tradicionales y accesibles para la evaluación del pie humano, especialmente en contextos donde no se dispone de herramientas especializadas. Este procedimiento se basa en la observación directa del contorno de la huella plantar y su morfología general, sin la utilización de fórmulas matemáticas ni índices.

Este tipo de inspección permite una apreciación global del apoyo del pie y sugiere posibles alteraciones biomecánicas como el pie plano, cavo o con disimetrías funcionales. Aunque carece de precisión cuantitativa, es útil como método preliminar o de tamizaje (Jiménez et al., 2018).

El procedimiento inicia con la obtención de la huella plantar mediante diversos métodos como el uso de tinta, polvo de grafito o barros colorantes, lo que permite registrar el área de contacto entre la planta del pie y la superficie de apoyo.

Una vez obtenida la impresión, el evaluador observa características como la continuidad del arco longitudinal medial, la anchura del mediopié, la forma del talón y la alineación de los dedos. Estas características se interpretan en función de patrones clínicamente aceptados.

La principal ventaja de esta técnica es su simplicidad, pues no requiere conocimientos avanzados ni instrumentación específica, permitiendo su aplicación incluso por docentes o entrenadores deportivos en espacios no clínicos (Sánchez & Gómez, 2020).

A través de la inspección visual, es posible identificar huellas con características planas, donde se observa una impresión completa del borde interno del pie, lo que indica un descenso del arco plantar medial.

En contraste, las huellas con arco muy estrecho o prácticamente inexistente reflejan un pie cavo, con apoyo excesivo en el talón y antepié, lo cual puede asociarse a rigidez plantar y menor absorción de impactos.

También es factible observar huellas asimétricas entre el pie derecho e izquierdo, lo que puede revelar disimetrías funcionales, desviaciones posturales o adaptaciones mecánicas por lesiones anteriores.

En niños, la inspección visual resulta de gran utilidad, ya que el pie infantil presenta características particulares que evolucionan con la edad. Detectar precozmente alteraciones permite derivar para evaluaciones más profundas.

Es importante destacar que este método no sustituye las evaluaciones cuantitativas, pero sí puede alertar sobre posibles alteraciones que requieren un análisis más detallado (Martínez-Bautista et al., 2017).

Un aspecto esencial durante la inspección visual es el contexto en que se realiza. Factores como la posición del sujeto, el tipo de superficie o la carga corporal influyen significativamente en la forma de la huella obtenida.

Para minimizar errores de interpretación, se recomienda que la toma de la huella se realice en bipedestación relajada y con una distribución equitativa del peso corporal entre ambos pies.

La huella obtenida debe ser comparada visualmente con plantillas de referencia o ejemplos clínicos estandarizados que sirvan como guías morfológicas.

En muchos casos, la inspección visual se complementa con fotografías de la huella, que pueden almacenarse y compararse longitudinalmente para observar cambios a lo largo del tiempo.

A pesar de su carácter no cuantitativo, este tipo de inspección se considera parte del protocolo básico en valoraciones podológicas escolares y deportivas, sirviendo como punto de partida para intervenciones preventivas.

El método visual también es útil en comunidades rurales o regiones con recursos limitados, donde el acceso a tecnologías de imagen o software de análisis es restringido.

Una categoría derivada de la inspección visual es la clasificación subjetiva de huellas, donde el observador categoriza la huella como normal, plana o cavo según patrones conocidos, sin medición precisa.

Esta clasificación, si bien subjetiva, ha demostrado tener cierta concordancia con métodos cuantitativos, sobre todo cuando el evaluador tiene experiencia previa.

La experiencia del evaluador influye considerablemente en la precisión diagnóstica del método. Por eso, es recomendable realizar entrenamientos previos y comparar las observaciones con otros métodos para calibrar criterios.

En fisioterapia, la inspección visual es comúnmente usada en la valoración inicial del paciente, especialmente en contextos clínicos con alta rotación de usuarios.

En el ámbito deportivo, permite monitorear la condición de los pies en atletas, quienes pueden sufrir deformidades por sobreuso, uso inadecuado del calzado o entrenamiento excesivo en superficies duras.

En la educación física escolar, se ha utilizado como herramienta pedagógica para enseñar a los estudiantes sobre la anatomía del pie y su relación con la postura y el rendimiento motor.

Desde una perspectiva educativa, esta técnica promueve la conciencia corporal y la autoobservación, lo que puede incentivar hábitos de cuidado postural desde edades tempranas.

Estudios han demostrado que la inspección visual puede ser útil para predecir ciertas condiciones clínicas como fascitis plantar, juanetes o dedos en garra, cuando se observan patrones de carga anormales en la huella (López-Caballero et al., 2021).

Aunque es limitada en precisión, la inspección visual puede ser complementada con pruebas funcionales como la marcha o el salto para ampliar el diagnóstico biomecánico.

La inspección visual también puede emplearse para monitorear la evolución de intervenciones terapéuticas, como el uso de plantillas ortopédicas, ya que permite observar cambios en el patrón de apoyo del pie a lo largo del tiempo.

Esta técnica cobra importancia en programas de cribado podológico escolar, donde su simplicidad y bajo costo permiten evaluar a grandes grupos de niños y detectar alteraciones de forma temprana.

En estos contextos, la información obtenida se puede usar para implementar acciones preventivas, modificar el tipo de calzado utilizado o derivar a profesionales para un diagnóstico más profundo.

La inspección visual se ha integrado a protocolos de salud pública en países con limitaciones económicas, demostrando su utilidad en la vigilancia de problemas posturales en edades escolares.

Desde el punto de vista pedagógico, esta técnica ha sido incorporada como parte del currículo en formación docente de educación física, como herramienta de observación y análisis del cuerpo humano.

También es usada en antropología física y medicina forense para clasificar tipos de pie y estudiar patrones de locomoción en distintas poblaciones.

En adultos mayores, la inspección visual de la huella plantar permite detectar signos de deterioro del arco plantar, asociados con el envejecimiento y la pérdida de tono muscular.

La pérdida del arco puede afectar la distribución de cargas y el equilibrio, por lo que este tipo de evaluación resulta clave en la prevención de caídas.

Las huellas planas, por ejemplo, pueden implicar un riesgo aumentado de fatiga muscular, lesiones en rodillas y caderas, o desequilibrios posturales.

El uso de plantillas correctivas puede estar justificado si la inspección visual sugiere un apoyo inadecuado del pie, especialmente en usuarios que refieren molestias o dolor plantar.

Algunos estudios recomiendan combinar la inspección visual con el análisis de calzado, pues este refleja el tipo de pisada y el desgaste puede evidenciar patrones compensatorios.

Por otro lado, la observación de huellas también ha sido útil en estudios de ergonomía laboral, donde se evalúa la postura del trabajador y su relación con lesiones por sobrecarga.

Las huellas plantares también son observadas en prácticas deportivas como la danza o el atletismo, donde las exigencias biomecánicas del pie son extremas.

La identificación de un pie plano o cavo mediante inspección visual permite ajustar programas de entrenamiento para reducir riesgo de lesiones.

La interpretación visual se ha estandarizado en algunos estudios mediante la comparación con bases de datos gráficas, lo que mejora su fiabilidad.

Las huellas digitales pueden digitalizarse y ser evaluadas visualmente en pantallas, permitiendo una inspección más precisa y compartida entre especialistas.

Algunos softwares permiten superponer huellas anteriores y actuales para observar visualmente los cambios producidos por intervenciones terapéuticas.

Existen escalas visuales propuestas por autores como Viladot o Hernández Corvo, que, aunque cuantitativas, también ofrecen representaciones visuales útiles para este tipo de inspección.

En contextos escolares, la comparación entre huellas de distintos alumnos también puede servir para promover la diversidad morfológica y el respeto por las diferencias corporales.

La inspección visual no cuantitativa tiene el valor de ser una herramienta accesible, pedagógica y orientadora para otras evaluaciones más especializadas.

Su uso sistemático en entornos educativos puede contribuir al desarrollo de una cultura del autocuidado y de la conciencia postural desde edades tempranas.

En entornos clínicos, aunque no se utiliza como único criterio diagnóstico, puede complementar la evaluación física general, sobre todo cuando el paciente presenta síntomas inespecíficos.

La huella plantar puede variar durante el día debido a la fatiga, por lo que se recomienda realizar la evaluación en condiciones estandarizadas.

Asimismo, se deben tener en cuenta aspectos como el sobrepeso, la hiperlaxitud ligamentosa o el tipo de calzado, que pueden alterar la huella sin indicar necesariamente una patología.

La inspección visual también es útil en estudios de campo con comunidades indígenas, donde permite recoger información antropológica sobre la evolución del pie humano sin métodos invasivos.

En fisioterapia pediátrica, puede utilizarse para documentar la maduración del arco plantar en niños pequeños y evaluar si se están desarrollando de forma adecuada.

A través de observaciones sistemáticas, los fisioterapeutas pueden decidir si es necesario intervenir o si se trata de una condición fisiológica del desarrollo.

El análisis visual permite realizar un seguimiento longitudinal, es decir, observar los cambios en las huellas a lo largo de meses o años.

Esto es particularmente útil para documentar la eficacia de tratamientos ortopédicos, programas de ejercicios o el efecto del crecimiento infantil sobre la forma del pie.

Aunque el método visual es subjetivo, puede adquirir mayor validez si se combina con otras herramientas observacionales como el análisis de la marcha o la postura estática.

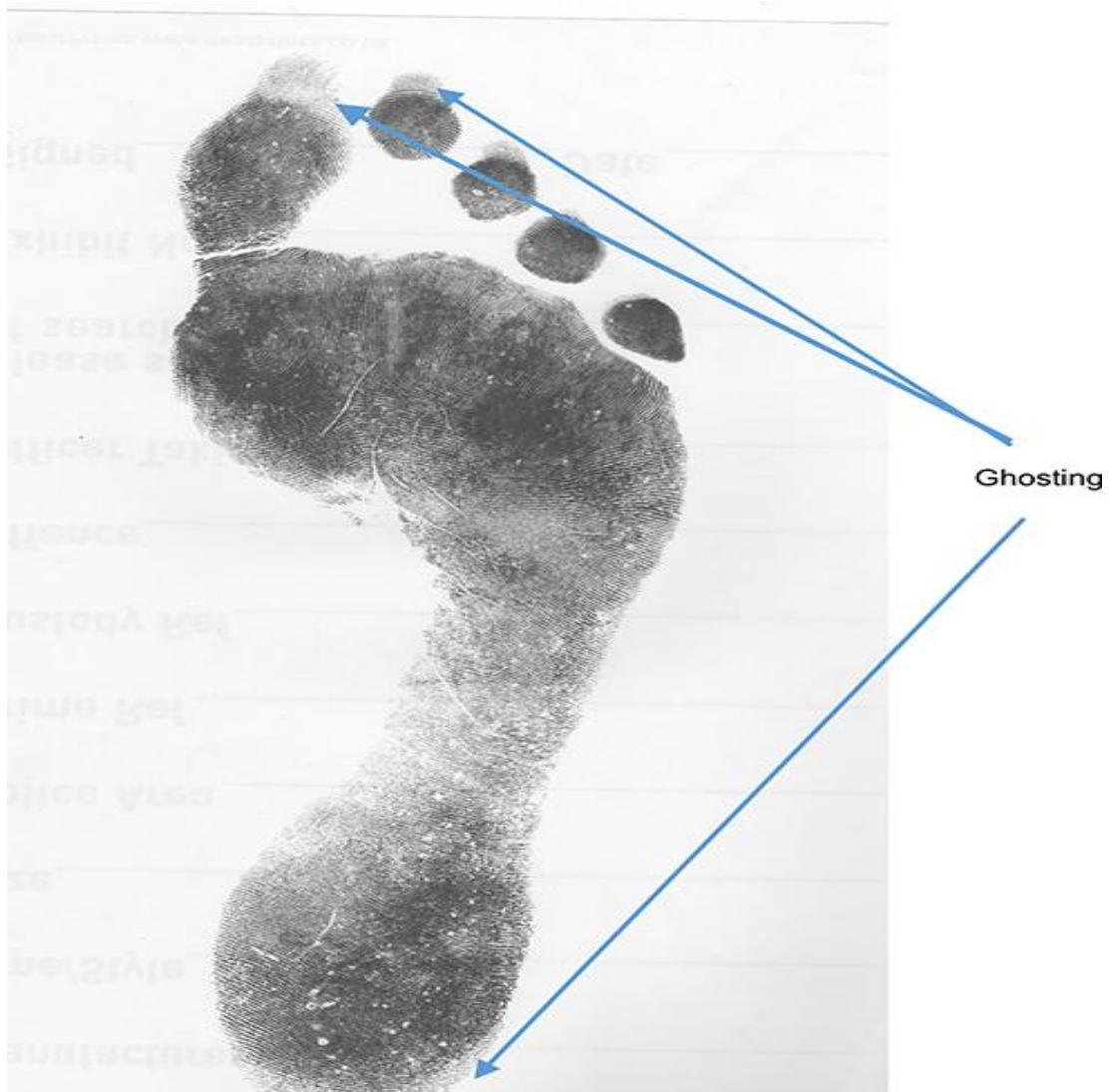
También puede incluirse en protocolos de seguimiento en deportistas, para detectar alteraciones antes de que generen lesiones más graves.

Algunos autores han desarrollado rúbricas cualitativas que orientan la observación y ayudan a estandarizar criterios durante la inspección visual.

Estas rúbricas permiten describir la huella en términos como “pronada”, “supinada”, “centrada”, lo que facilita la comunicación interdisciplinaria entre profesionales.

En resumen, la inspección visual no cuantitativa de la huella plantar es una técnica útil, flexible, de bajo costo y con múltiples aplicaciones clínicas, educativas y preventivas.

Aunque no reemplaza los métodos cuantitativos, su valor radica en su accesibilidad, simplicidad y capacidad para orientar decisiones clínicas y pedagógicas iniciales.



Fuente: investigación clínica en adultos mayores

Figura A: representa un ejemplo clásico de impresión completa del pie, útil para la detección a simple vista de alteraciones en la alineación y soporte plantar.

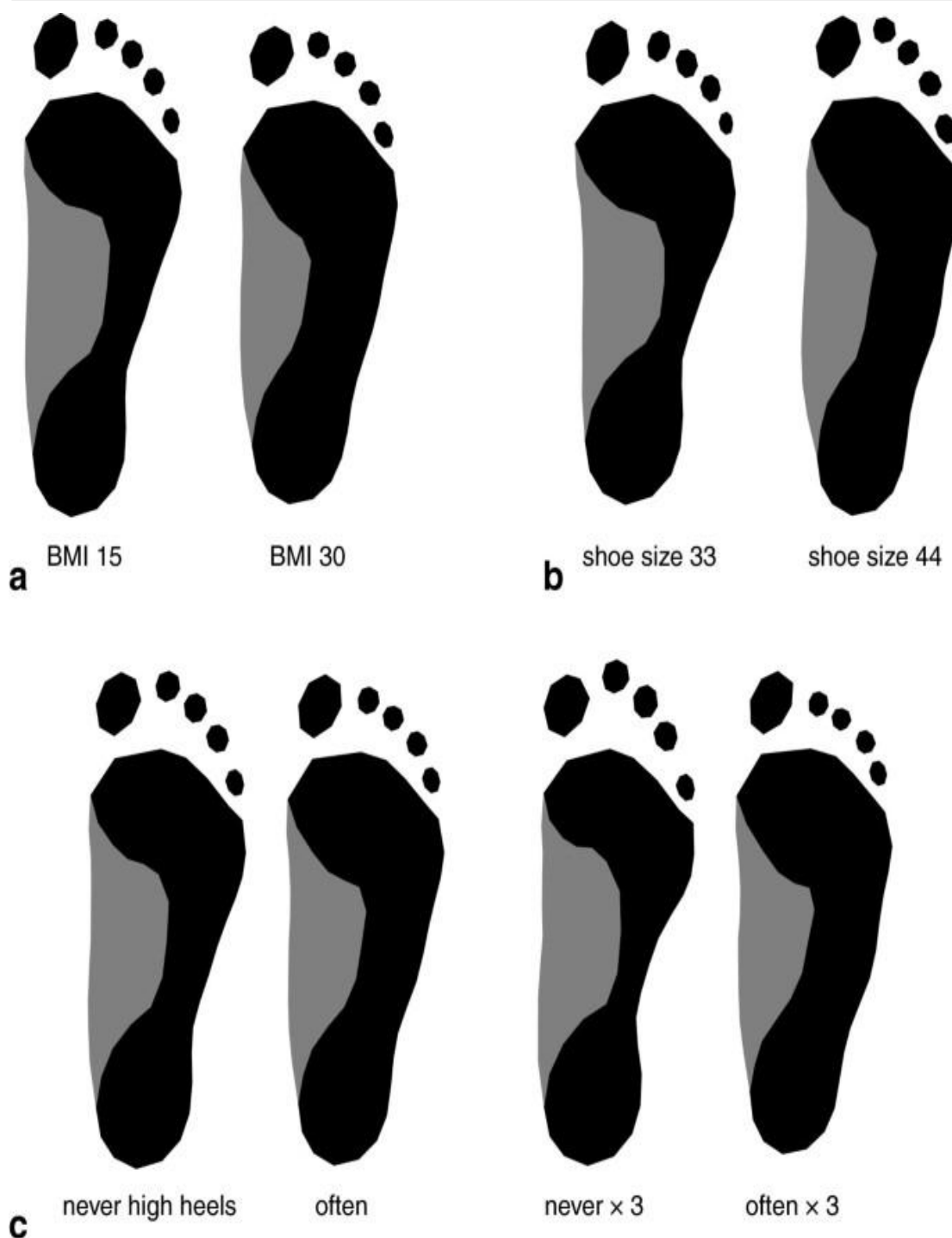


Figura B: Variantes de huella ilustrando los tipos de arco (alto, normal y plano) según el índice de arco (Arch Index), empleadas en evaluaciones no cuantitativas de la huella.



Figura C : Huella y su división en tercios (retropié, mediopié, antepié) usada en métodos tradicionales de observación visual, útil para valorar la forma del pie .

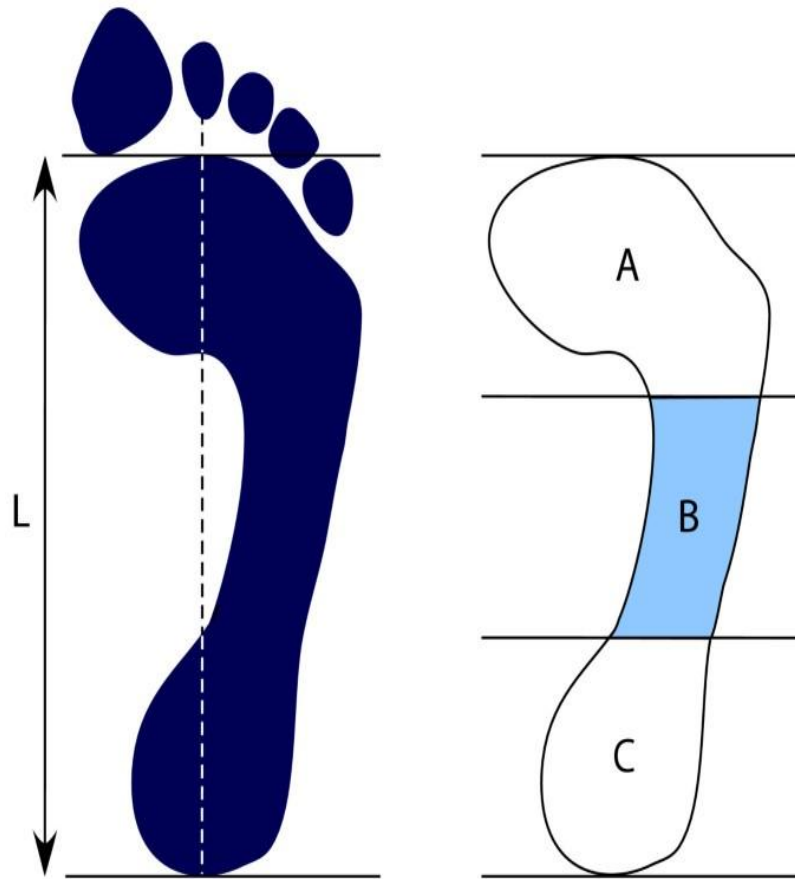


Figura D: Huella obtenida con papel carbón que muestra trazo completo del pie; su inspección visual permite ver zonas de mayor y menor contacto, útil en diagnósticos preliminares .

2.3.3 Métodos Antropométricos

Los métodos antropométricos para la evaluación de la huella plantar han sido ampliamente utilizados en el campo de la biomecánica, la medicina deportiva y la ortopedia clínica. Estos métodos permiten cuantificar de manera objetiva diversas características estructurales del pie humano, como la altura del arco longitudinal medial, la alineación del retropié y la movilidad de estructuras óseas clave. Según Razeghi y Batt (2002), estos procedimientos están basados en mediciones directas de prominencias óseas o referencias anatómicas en el plano sagital y frontal del pie.

Uno de los parámetros más frecuentemente evaluados en los métodos antropométricos es la altura del arco, comúnmente medida en bipedestación sobre el punto más prominente del navicular. Este punto es considerado el más

representativo del arco longitudinal medial. Para ello, se emplea un calibrador digital o una regla milimetrada desde el piso hasta el borde inferior del navicular. La altura puede normalizarse en relación con la longitud del pie para evitar distorsiones en sujetos de diferentes tallas (Williams & McClay, 2000).

La medida de la altura del arco ha demostrado ser confiable en condiciones estáticas, con coeficientes de correlación intraclase (ICC) que superan el 0.90 en diversas investigaciones. Sin embargo, su principal limitación es que no captura la deformación dinámica del arco durante la marcha o la carrera, lo que restringe su aplicabilidad funcional (Nachbauer & Nigg, 1992).

Otro método comúnmente utilizado es el ángulo del arco longitudinal, también conocido como línea de Feiss. Este ángulo se forma entre tres puntos anatómicos clave: el maleólo medial, el tubérculo del navicular y la cabeza del primer metatarsiano. Una disminución en el ángulo suele reflejar un aplanamiento del arco plantar. Este método ha mostrado buena fiabilidad interevaluador, con ICC cercanos a 0.81 (Jonson & Gross, 1997).

El ángulo del arco es considerado un indicador indirecto que combina información sobre la altura y la longitud del arco medial. Su valor reside en ofrecer una evaluación más integral que la altura navicular sola. Además, puede ser aplicado tanto en condiciones estáticas como dinámicas, lo cual le otorga mayor versatilidad clínica.

El ángulo del retropié, o ángulo calcáneo, es otra medida fundamental. Se define como el ángulo formado entre una línea que divide longitudinalmente el calcáneo y una línea que representa el eje de la pierna distal. Esta evaluación puede realizarse en bipedestación o durante la marcha utilizando marcadores y sistemas de captura de movimiento (Kernozek & Ricard, 1990).

El ángulo del retropié permite identificar condiciones de valgo o varo calcáneo, que están frecuentemente relacionadas con el exceso de pronación o supinación del pie. Sin embargo, su correlación con el movimiento dinámico del retropié ha sido cuestionada, dado que las medidas estáticas no siempre predicen el comportamiento durante actividades funcionales (McPoil & Cornwall, 1996).

La prueba de "navicular drop" es un procedimiento que mide el desplazamiento sagital del navicular desde una posición neutra sin carga hasta una posición con carga parcial (50% del peso corporal). Esta técnica se considera indicativa de la flexibilidad del arco y de la pronación excesiva del pie. Se ha correlacionado con patologías de la rodilla, como el síndrome femoropatelar (Brody, 1982).

Para realizar correctamente la prueba del descenso navicular, el sujeto debe estar sentado con el pie apoyado y el retropié en posición neutra. Se marca el punto más inferior del navicular y se mide la distancia vertical al suelo. Luego se repite la medida en bipedestación y se calcula la diferencia. Valores mayores a 10 mm suelen considerarse anormales (Picciano et al., 1993).

Otra medida menos utilizada, pero complementaria, es la "deriva navicular" (navicular drift), que evalúa el desplazamiento medial del navicular en el plano frontal al pasar de descarga a carga parcial. Aunque es una medida más difícil de realizar, ofrece información adicional sobre la inestabilidad medial del pie (Menz, 1998).

El índice de valgo es una medida derivada de la posición frontal del tobillo respecto al área de contacto plantar. Consiste en proyectar una línea desde los maleolos hacia la huella plantar y calcular la desviación medial o lateral. Un índice positivo indica valgo, y uno negativo, varo. Este método se utiliza principalmente en niños y adolescentes (Rose et al., 1985).

Una versión más sofisticada es el índice de valgo maleolar, que incorpora medidas tridimensionales del tobillo mediante escaneo plantar. A pesar de su precisión, su uso está limitado a entornos clínicos altamente especializados (Song et al., 1996).

La clasificación de Root et al. (1971) es uno de los sistemas más influyentes en la antropometría del pie. Se basa en la evaluación de la posición neutra subtalar, el rango de movimiento de la articulación subtalar y la alineación entre el antepié y el retropié. Aunque ampliamente utilizado, su validez ha sido puesta en duda por no reflejar completamente el movimiento triplanar del pie (McPoil & Cornwall, 1994).

En la metodología de Root, se clasifica el pie como plano, neutro o cavo según la posición del retropié y la alineación del antepié. Esta clasificación se realiza en base a criterios biomecánicos estáticos y ha sido utilizada como guía para la prescripción de ortesis plantares y calzado ortopédico.

Los avances en tecnología han permitido mejorar la precisión de los métodos antropométricos mediante la integración de sistemas de captura de movimiento, escáneres 3D y plataformas de presión plantar. Estas herramientas permiten validar las medidas clínicas tradicionales y proporcionar datos adicionales sobre la funcionalidad del pie.

Las mediciones antropométricas siguen siendo esenciales en el diagnóstico de condiciones como el pie plano flexible, pie cavo, pie pronado o supinado, y deformidades estructurales. Su aplicación es frecuente en la selección de deportistas, estudios posturales y seguimiento de intervenciones quirúrgicas o fisioterapéuticas.

Sin embargo, numerosos estudios han advertido que los métodos estáticos, aunque valiosos, tienen limitaciones para predecir el comportamiento funcional del pie. Por ello, se recomienda complementarlos con evaluaciones dinámicas siempre que sea posible (Cavanagh et al., 1987).

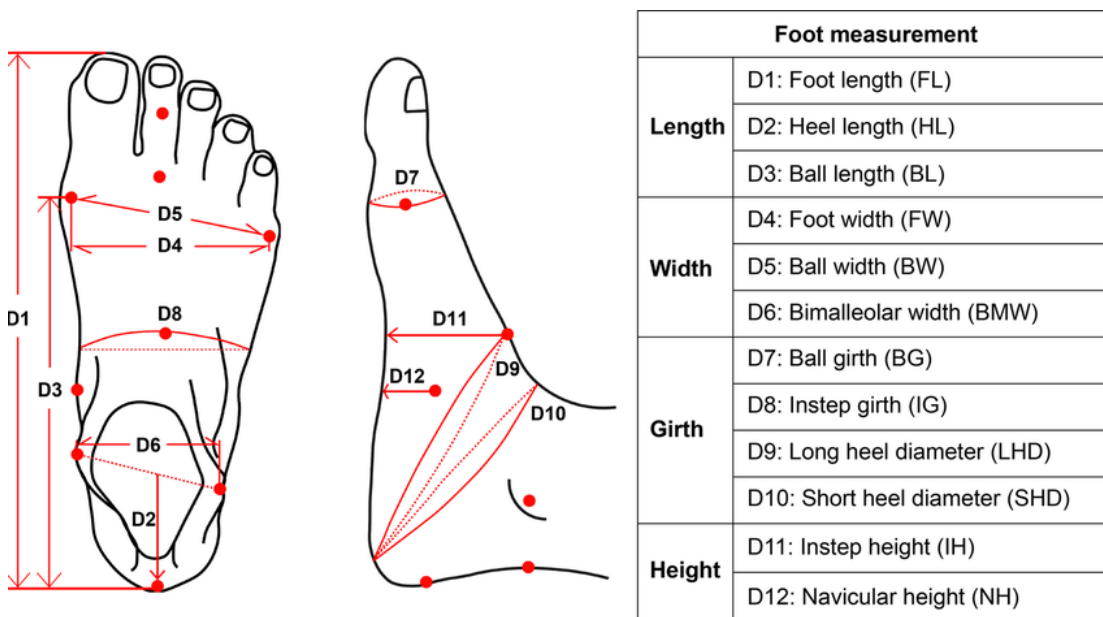


Figura . Mediciones antropométricas en el pie. Se muestran longitudes y anchuras clave del pie, incluyendo mediciones del escafoides y maleolos, obtenidas mediante escaneo 3D o reglas/calibradores

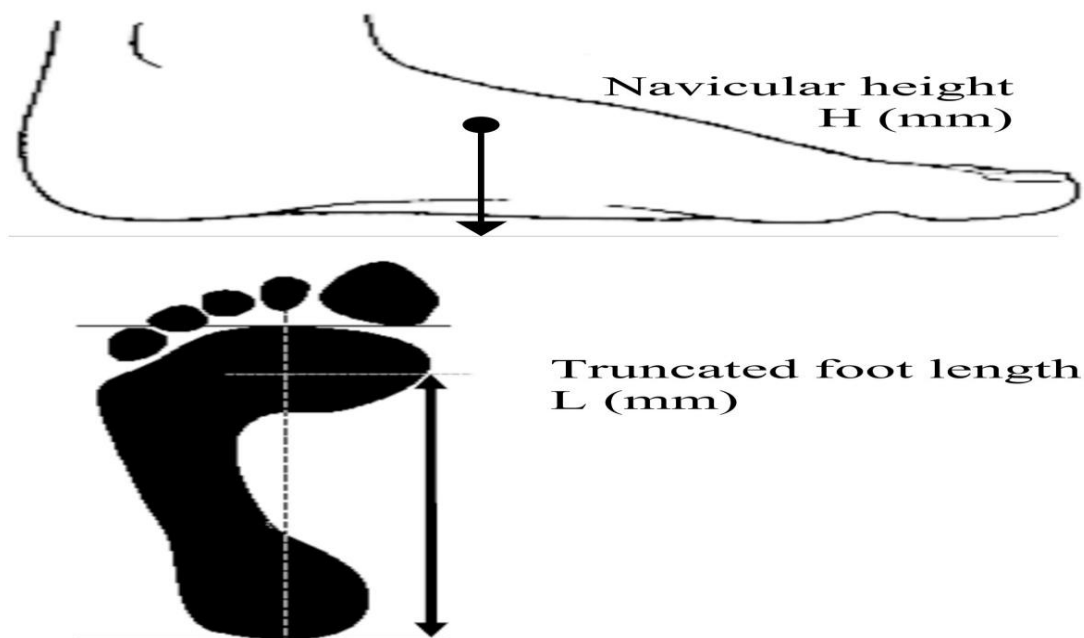


Figura . Arch Index (Índice del arco)
Diagrama de la huella plantar dividida en tres tercios (antepié, mediopié y retropié). Muestra claramente cómo se calcula el Arch Index ($AI = \text{área mediopié} / \text{área total}$)



Figura . Altura del navicular y huella truncada
Representación gráfica de la medición de la altura navicular normalizada respecto a la longitud truncada del pie —una técnica crucial para evaluar la forma del arco



Figura . Índice del Arco (Arch Index)
Diagrama con la huella dividida en tres tercios (antepié, mediopié, retropié). El Arch Index se calcula como área del mediopié (B) dividida entre el área total ($A + B + C$)

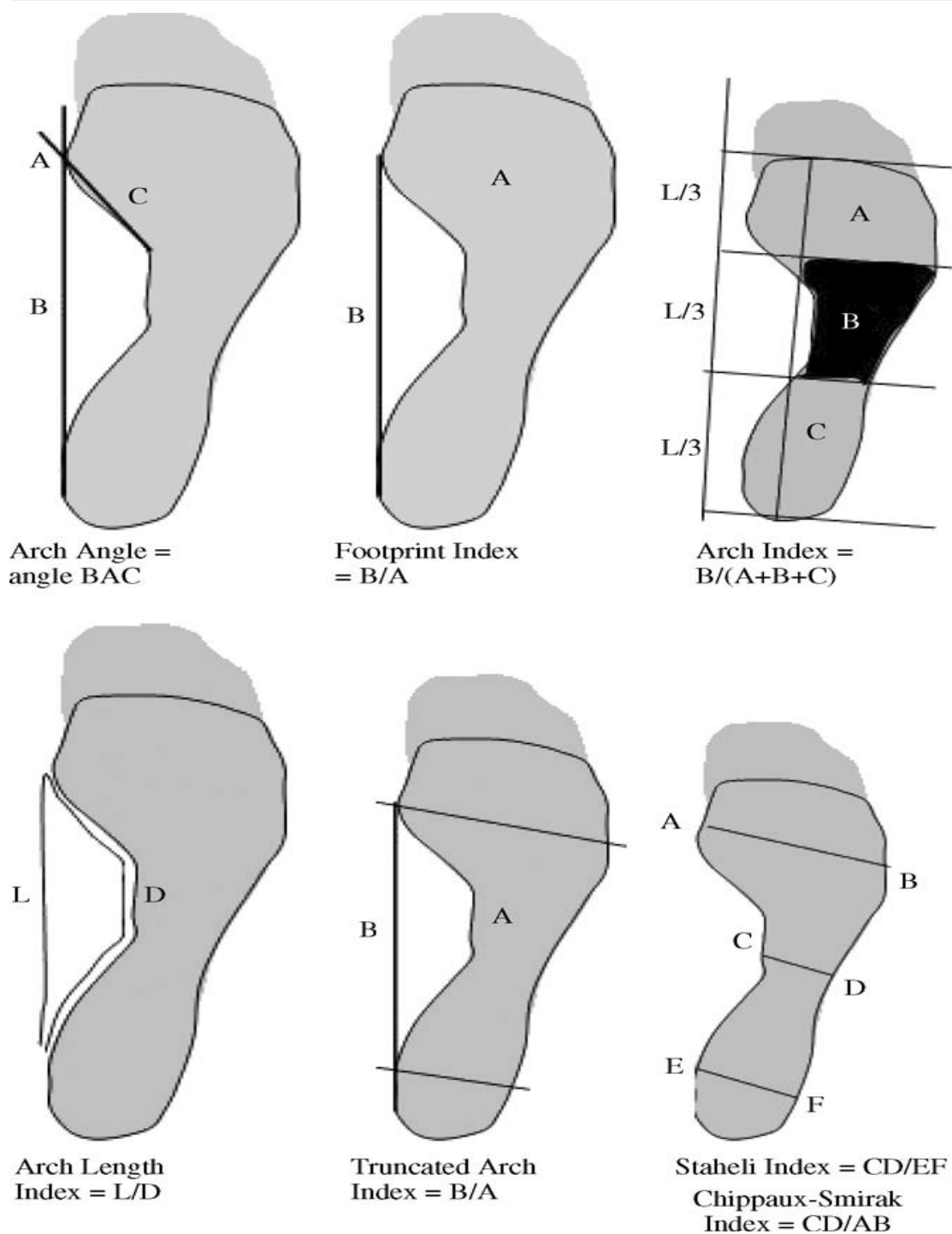


Figura . Diferentes índices de huella plantar. Gráfico que compara métodos como el ángulo del arco, índice de huella, Arch Index, índice de longitud de arco truncado, índice de Staheli y Chippaux–Smirak

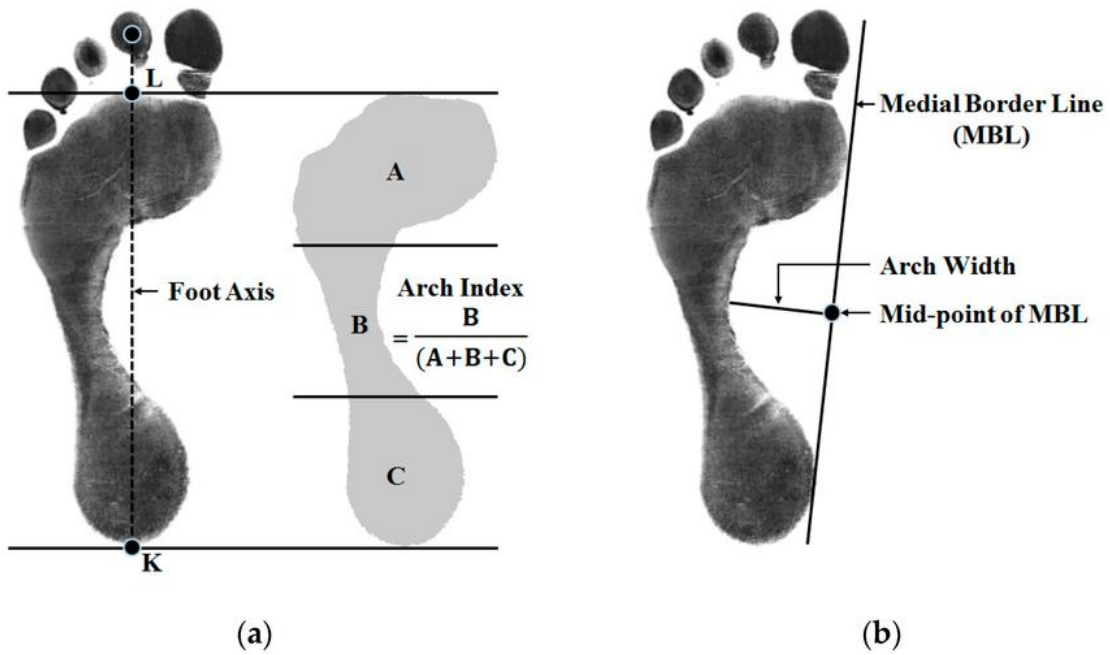


Figura 1. Mediciones antropométricas estructurales del pie. Diagrama con las dimensiones comunes del pie (longitud total, ancho, altura del arco, puntos de medición navicular, maleolos), extraído de escaneo 3D o reglas/calibrador

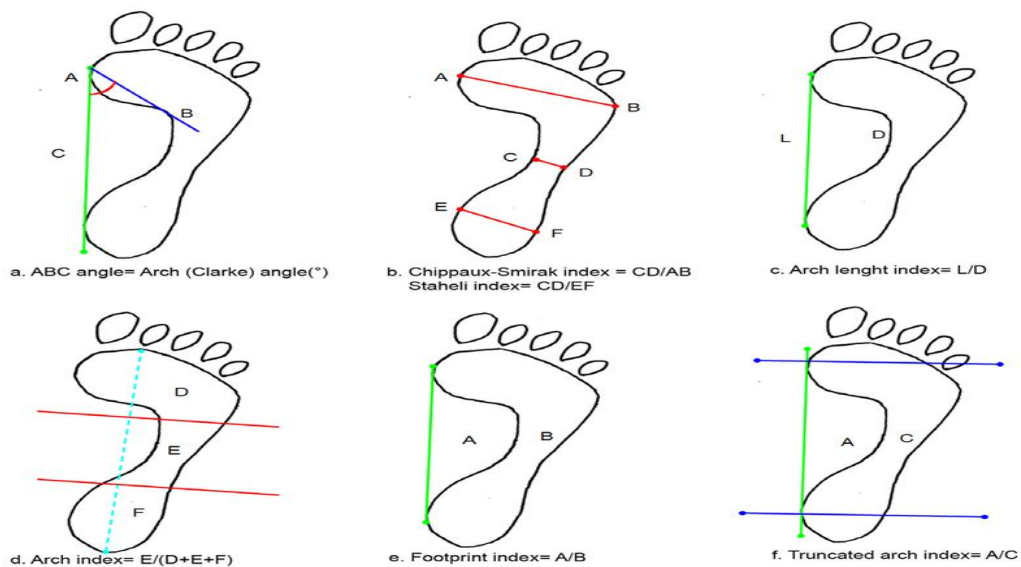


Figura 2. Parámetros combinados del pie. Imagen que incluye el Arch Index y medidas como anchura y altura del arco obtenidas desde la huella plantar. Gráficos de ángulos y proporciones de la huella. Ejemplos de ángulo de Clarke, índice Chippaux–Smirak, índice Staheli, Arch Index y más, con líneas de referencia y relaciones entre anchuras y ángulos

2.3.4 Biomecánica del Apoyo Plantar

La biomecánica del apoyo plantar es un componente esencial para comprender cómo el pie interactúa con el suelo durante actividades cotidianas como caminar, correr o permanecer de pie. El pie humano está diseñado para soportar el peso corporal, absorber impactos y facilitar la propulsión. En este proceso, la distribución de fuerzas en la planta del pie permite analizar alteraciones posturales y riesgos de lesiones (Neumann, 2010).

La estructura ósea del pie, compuesta por 26 huesos organizados en tres regiones (retropié, mediopie y antepié), actúa como una base adaptable. Esta disposición permite una transmisión eficiente de las fuerzas durante el ciclo de la marcha, donde el apoyo plantar pasa por fases de contacto inicial, apoyo medio y despegue (Perry & Burnfield, 2010).

Las articulaciones del pie, como la subastragalina y la mediotarsiana, permiten movimientos de pronación y supinación que adaptan el pie a irregularidades del terreno. Estos movimientos están regulados por mecanismos ligamentarios y musculares que modulan la rigidez o flexibilidad del arco plantar según la necesidad funcional (Leardini et al., 2007).

El arco longitudinal medial es una estructura clave en la biomecánica del apoyo. Funciona como un resorte que almacena y libera energía elástica. Su colapso o excesiva rigidez se asocia con disfunciones como pie plano o pie cavo, respectivamente, alterando la distribución de presiones en la huella plantar (Buldt et al., 2015).

Durante la marcha, el apoyo plantar comienza con el contacto del talón. En esta fase, el pie actúa como un amortiguador. Luego, en el apoyo medio, la carga se distribuye por toda la planta, especialmente sobre los metatarsianos. Finalmente, en la fase de despegue, el antepié y los dedos contribuyen a la propulsión (Whittle, 2007).

La fascia plantar es una banda de tejido conectivo que se extiende desde el calcáneo hasta los dedos. Esta estructura se tensiona durante la dorsiflexión de

los dedos, lo que activa el mecanismo del *windlass*, elevando el arco plantar y proporcionando rigidez al pie durante la propulsión (Bojsen-Møller, 1979).

El mecanismo *windlass* es vital en la biomecánica del apoyo plantar. Cuando se activa, permite que el pie pase de una estructura flexible a una rígida, facilitando una transición eficiente entre la amortiguación y la propulsión. Su alteración puede provocar patologías como la fascitis plantar (Cheung et al., 2006).

La pronación es un movimiento natural durante la fase de apoyo. Permite la absorción de impacto y la adaptación a superficies irregulares. Sin embargo, una pronación excesiva prolongada puede generar inestabilidad y sobrecarga en estructuras como el tibial posterior, afectando la eficiencia del apoyo plantar (Nigg et al., 2000).

Por el contrario, la supinación representa un movimiento de rigidez y soporte. Es esencial en la fase de despegue para una propulsión efectiva. Sin embargo, una supinación excesiva reduce la capacidad de absorción de impactos, incrementando el riesgo de fracturas por estrés (Cavanagh & Lafortune, 1980).

El análisis del apoyo plantar se realiza mediante técnicas como la baropodometría, que mide la presión plantar en diferentes regiones del pie. Esta herramienta permite identificar asimetrías, sobrecargas o desequilibrios que influyen en el rendimiento deportivo y la prevención de lesiones (Razeghi & Batt, 2002).

El estudio de la huella plantar también se realiza mediante podogramas y pedografías, los cuales revelan la morfología del pie en relación con su contacto con el suelo. Estas técnicas son útiles para clasificar los tipos de arco y diagnosticar alteraciones funcionales (Viladot, 1989).

La presión plantar se distribuye de forma específica en diferentes zonas del pie. En condiciones normales, el mayor soporte ocurre en el talón, la cabeza del primer metatarsiano y el hallux. Desviaciones de esta distribución pueden indicar disfunciones biomecánicas (Ledoux et al., 2006).

El centro de presiones (CoP) es una medida clave en el análisis del apoyo plantar. Describe la trayectoria que sigue la presión máxima en el pie desde el

talón hasta el antepié durante la marcha. Alteraciones en esta trayectoria pueden reflejar inestabilidad postural o riesgo de caídas (Lord et al., 1999).

En población pediátrica, el estudio del apoyo plantar permite detectar precozmente alteraciones como el pie plano infantil. A través del análisis biomecánico, es posible planificar intervenciones tempranas que mejoren la funcionalidad y eviten problemas posteriores (Uden & Scharfbillig, 2017).

En adultos mayores, los cambios biomecánicos del pie incluyen pérdida del arco, disminución de la elasticidad y alteración de la distribución de cargas. Estos factores aumentan el riesgo de caídas y deben ser abordados mediante programas de fortalecimiento y ortesis personalizadas (Menz et al., 2006).

El apoyo plantar también varía según la velocidad de la marcha. A mayor velocidad, se incrementa la presión en el antepié y la duración del contacto con el suelo disminuye, lo que requiere una mayor eficiencia biomecánica (Hamill et al., 2015).

La carrera implica un patrón de apoyo diferente al de la marcha. Muchos corredores aterrizan con el antepié o mediopié, lo que reduce el tiempo de contacto pero incrementa las fuerzas de impacto. El tipo de apoyo influye en la carga sobre músculos y tendones (Lieberman et al., 2010).

El calzado deportivo influye en la biomecánica del apoyo plantar. Zapatillas con mayor amortiguación pueden modificar la fase de contacto inicial, mientras que suelas rígidas alteran la flexión del pie y la activación muscular (Nigg & Wakeling, 2001).

Las plantillas ortopédicas están diseñadas para redistribuir la presión plantar y corregir alteraciones en la marcha. Su uso adecuado puede reducir el dolor, mejorar la estabilidad y optimizar la función biomecánica del pie (Gross et al., 2002).

En deportes de impacto, como fútbol o baloncesto, el análisis biomecánico del apoyo plantar permite prevenir lesiones mediante la evaluación de la técnica de movimiento y la adecuación del calzado. Los estudios muestran que ciertos tipos de pisada predisponen a esguinces o fascitis plantar (Milner et al., 2006).

Las diferencias en el apoyo plantar entre hombres y mujeres han sido documentadas en diversos estudios. Las mujeres suelen tener menor rigidez en el arco plantar, lo cual puede incrementar la amplitud del desplazamiento del centro de presiones y afectar la estabilidad durante la marcha (Chia et al., 2009).

La obesidad también influye considerablemente en la biomecánica del apoyo plantar. El exceso de peso corporal genera un aumento en la presión sobre la fascia plantar, lo que puede contribuir al colapso del arco longitudinal y provocar condiciones dolorosas como la fascitis plantar (Hills et al., 2001).

En condiciones patológicas como la diabetes mellitus, la biomecánica del apoyo plantar puede alterarse gravemente. La neuropatía periférica provoca pérdida de sensibilidad, lo que favorece la aparición de zonas de alta presión sin percepción de dolor, incrementando el riesgo de úlceras (Mueller et al., 1994).

Las amputaciones parciales del pie, como la transmetatarsiana, afectan la distribución del apoyo plantar. Estas modificaciones provocan una reconfiguración de la marcha y sobrecarga en otras estructuras, lo que debe ser considerado en el diseño de plantillas o prótesis (Bennett et al., 1994).

En pacientes con pie equino, la falta de contacto adecuado con el talón al inicio del apoyo provoca una carga anormal sobre el antepié, alterando el patrón de marcha y generando fatiga muscular o dolor metatarsal (Gage et al., 2009).

El análisis cinemático complementa la evaluación del apoyo plantar mediante el estudio del movimiento tridimensional del pie y el tobillo. La combinación de cinemática y baropodometría proporciona una visión integral de la funcionalidad del pie (Leardini et al., 2007).

Los músculos intrínsecos del pie juegan un papel fundamental en la modulación del apoyo plantar. Su activación contribuye a mantener el arco medial, especialmente durante la carga, evitando el colapso estructural (Kelly et al., 2014).

La fatiga muscular afecta la biomecánica del apoyo plantar. Tras esfuerzos prolongados, se observa un descenso del arco plantar, mayor pronación y una

redistribución de la presión hacia zonas metatarsales, lo que puede aumentar el riesgo de lesiones (Fourchet & Gojanovic, 2016).

Las plataformas de fuerza permiten medir variables como la fuerza vertical de reacción del suelo (GRF) durante el apoyo plantar. Este análisis es útil para estudiar la propulsión en actividades como el salto o la carrera (Winter, 2009).

Las prótesis para pacientes con amputación transtibial deben considerar la biomecánica del apoyo plantar para reproducir el ciclo de marcha de manera funcional. Las suelas con retorno de energía o adaptabilidad mejoran la transición de fuerzas y estabilidad (Gailey et al., 2008).

Las alteraciones del apoyo plantar tienen un efecto ascendente en la cadena cinética. Disfunciones en la biomecánica del pie pueden inducir malalineaciones en tobillo, rodilla, cadera e incluso columna vertebral (Pohl et al., 2009).

Las superficies de entrenamiento también modifican el patrón de apoyo plantar. Superficies blandas o inestables requieren mayor activación muscular y un control más fino del equilibrio, alterando la biomecánica del pie (Gruber et al., 2013).

En pacientes con enfermedades neuromusculares como la parálisis cerebral, el apoyo plantar suele estar alterado debido a espasticidad y contracturas. Esto repercute en la marcha y requiere un abordaje multidisciplinario para mejorar la funcionalidad (Rodda et al., 2004).

El pie diabético representa una consecuencia directa de la alteración biomecánica del apoyo plantar. La pérdida de sensibilidad, combinada con una mala distribución de la carga, conduce a úlceras y complicaciones graves (Fernando et al., 2013).

En estudios comparativos entre corredores descalzos y con calzado, se ha encontrado que los primeros presentan menor impacto inicial y diferente patrón de apoyo, lo que podría reducir ciertas lesiones, aunque no todos los corredores se adaptan fácilmente a este estilo (Warburton, 2001).

La ortesis plantar busca modificar el apoyo biomecánico del pie mediante dispositivos personalizados. Estas plantillas son diseñadas en base al análisis baropodométrico y se ajustan para redistribuir la carga de manera funcional (Rome et al., 2004).

La técnica de análisis del índice de Chippaux-Smirak permite clasificar el tipo de arco plantar mediante la proporción entre el ancho del mediopié y del antepié en un podograma. Esta información ayuda a predecir la eficiencia del apoyo plantar (Cowan et al., 1993).

En el ámbito deportivo, la evaluación del apoyo plantar permite identificar atletas con patrones ineficientes de carga. Esta información es clave para prevenir esguinces de tobillo, fracturas por estrés o lesiones del tendón de Aquiles (Milner et al., 2006).

El desarrollo infantil también muestra variaciones biomecánicas del apoyo plantar. En los primeros años, los niños suelen tener un pie plano fisiológico que, con el desarrollo neuromuscular, evoluciona hacia un arco plantar funcional (Staheli et al., 1987).

El calzado inadecuado puede alterar la mecánica del apoyo plantar. Tacones altos, suelas rígidas o falta de soporte pueden modificar la distribución de la presión, generar fatiga y promover la aparición de deformidades (Rossi, 1999).

El análisis de la huella plantar es especialmente relevante en pacientes con dolor crónico de pies, como aquellos con metatarsalgia. La redistribución de carga a través de ortesis permite aliviar el dolor y mejorar la calidad de vida (Landorf & Keenan, 2000).

La propiocepción del pie también influye en la biomecánica del apoyo. Una disminución en la sensibilidad propioceptiva puede alterar el control postural y favorecer caídas, especialmente en adultos mayores (Menz et al., 2005).

Las plataformas instrumentadas modernas permiten un análisis dinámico y tridimensional del apoyo plantar, útil tanto en rehabilitación como en evaluación de alto rendimiento deportivo (Caravaggi et al., 2009).

Las diferencias culturales y etnográficas también pueden influir en la biomecánica del pie. Personas que caminan descalzas desde temprana edad tienden a desarrollar arcos más fuertes y una distribución más eficiente de presiones (D'Août et al., 2009).

La intervención quirúrgica en deformidades del pie, como el hallux valgus, modifica significativamente la biomecánica del apoyo. La realineación articular busca restaurar la carga natural sobre el primer radio y reducir el dolor (Nix et al., 2010).

La evaluación biomecánica del apoyo plantar es una herramienta diagnóstica crucial en medicina del deporte, fisioterapia, ortopedia y podología. Su análisis permite personalizar tratamientos y mejorar resultados clínicos (Perry & Burnfield, 2010).

El entrenamiento de la musculatura intrínseca del pie ha demostrado ser efectivo para mejorar el arco plantar y prevenir lesiones relacionadas con el colapso del apoyo plantar, especialmente en corredores y atletas de alto impacto (Mulligan & Cook, 2013).

En biomecánica avanzada, se estudian modelos computacionales del pie para simular cómo se distribuyen las cargas en distintas actividades. Estos modelos ayudan a diseñar mejores prótesis, plantillas y estrategias quirúrgicas (Gefen, 2003).

La estabilidad dinámica del pie durante el apoyo plantar depende de un equilibrio entre estructuras pasivas (ligamentos, fascia) y activas (músculos), lo que lo convierte en un sistema biomecánico complejo y altamente adaptable (Kelly et al., 2014).

Comprender la biomecánica del apoyo plantar es fundamental no solo para prevenir lesiones, sino también para mejorar el rendimiento y la calidad de vida. Una evaluación precisa permite planificar intervenciones terapéuticas, deportivas y quirúrgicas de manera personalizada (Whittle, 2007).

2.3.5 Ciclo de la Marcha y su relación con la huella plantar

El ciclo de la marcha comprende una secuencia coherente de movimientos repetitivos que permite la locomoción humana, estructurado en fases de apoyo y oscilación. Esta dinámica determina cómo y cuándo se forma la huella plantar, reflejando patrones de carga, postura y eficiencia biomecánica (Perry & Burnfield, 2010).

La huella plantar es la representación gráfica o numérica de la distribución de presión que ejerce el pie al interactuar con el suelo. Analizarla a lo largo del ciclo de la marcha permite comprender aspectos fundamentales como la adaptación, propulsión y estabilidad (Whittle, 2007).

El ciclo de la marcha se inicia con el contacto inicial del talón, pasando por apoyo completo y despegue, y se cierra con la oscilación del miembro hasta el contacto de nuevo. Cada etapa está asociada con una huella plantar característica, útil para evaluar funcionalidad y detectar alteraciones (Perry & Burnfield, 2010).

El análisis del ciclo de la marcha en conjunto con la huella plantar es una herramienta diagnóstica valiosa en fisioterapia, podología y medicina deportiva. Proporciona datos objetivos sobre la cinemática, cinética y control postural durante la marcha (Winter, 2009).

II. Fase de contacto inicial

En la fase de contacto inicial, el talón impacta el suelo con una fuerza de reacción vertical creciente. La huella plantar revela una zona de presión discreta en la zona posterior del pie, con una superficie pequeña y alta intensidad de carga (Cavanagh & Lafortune, 1980).

Esta fase amortigua el impacto, requiriendo que las estructuras del retropié, como el complejo subastragalino y la fascia plantar, absorban la energía. La presión se localiza inicialmente en la zona posterior del calcáneo, reflejando la necesidad de disipación de fuerzas (Bassett et al., 1994).

A medida que el talón permanece en contacto, la presión se estabiliza y la huella planta observa una mancha definida que luego se extiende hacia el mediopié. El

patrón varía en función de la rigidez del arco y del control motor del tobillo y pie (Razeghi & Batt, 2002).

Un contacto inicial alterado, ya sea muy rígido (tacón duro) o muy suave, se refleja en zonas de alta presión o en suaves manchas difusas en el podograma, indicando posibles desequilibrios o debilidad funcional durante esta fase (Menz et al., 2006).

El análisis baropodométrico durante este instante detecta si hay sobrepronación o supinación desde el inicio. La huella plantar temprana, combinada con cinemática del tobillo, define la calidad mecánica del soporte inicial (Nigg & Wakeling, 2001).

III. Fase de apoyo medio

En el apoyo medio, el pie se adapta completamente al suelo, distribuyendo cargas por retropié, mediopié y antepié. La huella plantar revela una mancha extensa que ayuda a diagnosticar la función del arco longitudinal (Buldt et al., 2015).

El arco medial colabora con el mecanismo del windlass al elevarse conforme el cuerpo avanza hacia adelante. La huella plantar, reduciendo su extensión en el mediopié, refleja la rigidez mecánica con la dorsiflexión de los dedos (Gefen, 2003).

La trayectoria del centro de presión (CoP) comienza en la zona posterior y avanza hacia el antepié. El análisis y visualización del CoP en relación con la huella plantar permite valorar estabilidad, control y alineación (Lord et al., 1999).

En supinadores marcados, la huella plantar del mediopié es pequeña y se agradece una carga excesiva en retropié o antepié medio. Esto revela un patrón rígido, con poca absorción del choque (Cavanagh & Lafortune, 1980).

En pronadores, la presión se concentra en el mediopié y antepié interno, con una huella plantar amplia. Esto puede reflejar sobrecarga en ligamento tibial posterior y tensión en el arco medial (Nigg et al., 2000).

El uso de plataformas de fuerza permite sincronizar la progresión del CoP con la huella plantar. Esto facilita la detección de asimetrías entre miembros, un predictor de lesiones al caminar, correr o hacer deporte (Winter, 2009).

La distribución plantar en esta fase se correlaciona con la cinemática del tobillo: excesiva dorsiflexión aumenta la superficie de apoyo y reduce presión máxima, mientras que una deficiente movilidad genera picos de presión (Leardini et al., 2007).

En personas con pie cavo, la huella plantar en el mediopié es muy estrecha o ausente. Ello provoca una presión elevada en talón y metatarsianos, aumentando el riesgo de fracturas por estrés en antepié (Buldt et al., 2015).

En población pediátrica, el arco medial tiende a colapsar en el apoyo medio hasta los 6–8 años. El registro de huella plantar en esta fase permite diferenciar entre arco fisiológico y patológico, para intervenir a tiempo (Staheli et al., 1987).

Las patologías degenerativas, como la artropatía navicular o tarsometatarsal, alteran la huella plantar: la presión se intensifica frente a la zona media del pie. Este hallazgo se relaciona con dolor local y rigidez en la cadena media del pie (Perry & Burnfield, 2010).

IV. Fase de despegue y propulsión

Al iniciarse el despegue, el apoyo plantar se concentra en el antepié, especialmente en la cabeza del primer metatarsiano y el hallux. La huella plantar presenta una zona más intensa y amplia en esta área, relevante para la propulsión (Whittle, 2007).

La activación del mecanismo windlass —mediante la dorsiflexión de los dedos— retrasa la huella en el mediopié y favorece la rigidez, lo cual es visible en una huella plantar acentuada en la parte anterior (Gefen, 2003).

Las fuerzas de reacción del suelo en esta fase son elevadas, ya que generan el impulso propulsor. Estas tensiones se reflejan en huellas con presión máxima y tamaño importante frente al hallux (Winter, 2009).

Las alteraciones de la fase de despegue, por ortesis inadecuadas o rigidez plantar, se representan en huellas incompletas: falta de impresión en dedos o planta anterior, lo que reduce la eficiencia locomotora (Razeghi & Batt, 2002).

El estudio electromiográfico muestra aumento de actividad en músculos intrínsecos durante el despegue. Su correlación con huella plantar permite estimar la función dinámica del arco y estabilidad metatarsal (Kelly et al., 2014).

El patrón de huella plantar anterior puede variar según tipo de calzado. Suelas rígidas reducen la extensión plantar, cambiando la distribución de la carga y la fisiología del despegue (Nigg et al., 2001).

En corredores con aterrizaje de antepié, la huella refleja una alta presión en la zona anterior desde el inicio del apoyo. Esto se asocia a menor impulso de los músculos de la pantorrilla pero mayor carga local (Lieberman et al., 2010).

Pacientes con hallux rigidus presentan una huella plantar anterior disminuida, lo que revela restricción del hallux y empuja a compensaciones biomecánicas en la marcha (Nix et al., 2010).

El despegue diferencial —cuando los dedos segregan la presión— evitan que la huella sea homogénea, mostrando picos en cabeza metatarsal específicos, clave para análisis funcionales (Buldt et al., 2015).

Al finalizar el despegue, el pie pierde la mayor parte de contacto plantar y la impresión desaparece. La última huella refleja el patrón final de carga antes del vuelo del pie (Winter, 2009).

V. Oscilación y preparación del siguiente ciclo

Durante la oscilación, el pie despegas del suelo y no genera ninguna huella plantar. Sin embargo, la preparación para el siguiente contacto modifica la postura del pie influenciada por la respuesta sensorial vegetal (Menz et al., 2005).

La propulsión exitosa depende de la distribución previa de carga. Una huella plantar eficiente en la fase anterior permite obtener una trayectoria óptima en oscilación, reduciendo esfuerzo muscular (Perry & Burnfield, 2010).

La oscilación incluye la flexión plantar, dorsiflexión y rodamiento del pie para preparar el siguiente contacto inicial. Las huellas previas ayudan a balancear activación muscular y alineación de pierna en próximo ciclo (Whittle, 2007).

La electromiografía del tibial anterior muestra actividad durante la oscilación para asegurar clearance y preparar el pie. Este patrón está influenciado por la mecánica previa reflejada en las huellas plantares (Leardini et al., 2007).

Una oscilación corta o larga puede estar relacionada con alteraciones de fase de apoyo, reflejadas en formas atípicas de la huella plantar anterior, indicando compensaciones posturales (Winter, 2005).

VI. Variaciones individuales y clínicas

Las diferencias sexuales en el ciclo de la marcha se reflejan en ligeras variaciones del arco mediopié. Las mujeres femeninas tienden a tener una huella plantar más extensa en el mediopié comparada con hombres (Chia et al., 2009).

La obesidad provoca huellas plantares más anchas y profundas, debido a mayor carga, empeorando la función del arco y predisponiendo a disfunciones mecánicas (Hills et al., 2001).

Pacientes con neuropatía diabética presentan huellas alteradas con zonas de presión no detectadas sensorialmente, lo que favorece ulceración plantar (Mueller et al., 1994).

Pies planos patológicos muestran huellas plantares》中 amplia, especialmente en mediopié. Asociado al ciclo, estos pies generan patrones de CoP lenta y contaminada, riesgo de lesión (Buldt et al., 2015).

En pies cavos, la huella plantar es estrecha, con presión alta en antepié y calcáneo, lo que genera rigidez en la fase de contacto y propulsión (Buldt et al., 2015).

La rehabilitación tras fractura de calcáneo usa huellas plantares seriadas: inicialmente, con apoyo progresivo, mostrando reducción de presión inicial del talón (Roye et al., 2010).

Tras cirugía de hallux valgus, las huellas plantares reflejan cambio en distribución hacia metatarsianos laterales, reduciendo carga del hallux. De ello depende recuperación funcional (Nix et al., 2010).

Plantillas personalizadas permiten modificar huellas plantares, corrigiendo carga y mejorando estilo de marcha (Gross et al., 2002).

El uso de calzado barefoot o minimalista altera las huellas: superficies más amplias y presión distribuida, implicando adaptaciones en el ciclo de la marcha (Warburton, 2001).

El predominio del dominio unipedal (zurdo/derecho) influye en variaciones simétricas de huella plantar y duración de ciclo, a valorar en análisis clínicos (Winter, 2009).

2.4 Variables

En el presente estudio titulado *“La huella plantar en la educación física: fundamentos científicos, aplicaciones biomecánicas y prevención postural”*, se definen y operacionalizan las variables clave que permiten analizar la influencia de las características morfológicas de la huella plantar en el desempeño postural y biomecánico de los estudiantes en contextos escolares. La variable independiente se centra en la huella plantar, entendida como un indicador biomecánico relevante en la valoración del apoyo y alineación del pie. Las variables dependientes comprenden la postura corporal y el rendimiento biomecánico durante la marcha o la carrera, los cuales pueden verse alterados por desequilibrios en la estructura del pie. Asimismo, se incorpora una variable moderadora relacionada con el nivel de actividad física, considerando su posible influencia sobre la postura y la eficiencia del movimiento. Esta operacionalización permite establecer relaciones significativas entre la base estructural del apoyo plantar y su impacto funcional en el ámbito de la educación física, contribuyendo a la prevención de alteraciones posturales y al mejoramiento del rendimiento motor.

VARIABLE INDEPENDIENTE (VI)

Nombre: Huella Plantar

Definición conceptual:

Es la impresión o marca que deja la planta del pie al hacer contacto con una superficie. Refleja la distribución del peso corporal, el tipo de arco plantar (normal, plano o cavo) y las características biomecánicas del apoyo en posición estática y dinámica (Sánchez et al., 2020).

Definición operacional:

Se evaluará mediante análisis de imágenes obtenidas a través de podoscopio o escáner plantar, y se clasificará usando el Índice de Hernández Corvo o el Índice de Chippaux-Smirak.

Indicadores:

- Tipo de huella plantar (normal, cavo, plano)
- Índice plantar (HC o CSI)
- Distribución de cargas plantares

Instrumento: Podoscopio, escáner plantar, software de análisis de pisada

Unidad de medida: Índice numérico (%) – clasificación cualitativa (normal, plano, cavo)

2. VARIABLE DEPENDIENTE 1 (VD1)

Nombre: Postura corporal

Definición conceptual:

Conjunto de alineaciones del cuerpo humano en posición estática o durante el movimiento. Depende del equilibrio biomecánico entre fuerzas musculares y esqueléticas, y puede verse afectada por alteraciones plantares (Kapandji, 2021).

Definición operacional:

Se evaluará mediante inspección visual y test posturales (como el Test de Adams y la línea de plomada), identificando desviaciones posturales relacionadas con la huella plantar.

Indicadores:

- Alineación de columna
- Posición de hombros, caderas, rodillas y tobillos
- Compensaciones corporales

Instrumento: Ficha de inspección postural, línea de plomada, fotografía digital

Unidad de medida: Observación descriptiva – clasificación (adecuada / desviación leve / desviación severa)

3. VARIABLE DEPENDIENTE 2 (VD2)

Nombre: Rendimiento biomecánico en la marcha o carrera

Definición conceptual:

Es la eficiencia y calidad del patrón de movimiento durante la locomoción, evaluado desde parámetros biomecánicos como la cadencia, longitud del paso, equilibrio y simetría de apoyo (Winter, 2009).

Definición operacional:

Se valorará mediante análisis del ciclo de la marcha con software o grabación en video, evaluando tiempos de apoyo, fases de propulsión y regularidad.

Indicadores:

- Simetría de la marcha
- Tiempo de apoyo y oscilación
- Desviaciones en el patrón de marcha

Instrumento: Análisis de video, software de análisis biomecánico, cronómetro digital

Unidad de medida: Segundos, porcentajes, observación cualitativa

4. VARIABLE MODERADORA

Nombre: Nivel de actividad física

Definición conceptual:

Grado de participación en actividades físicas estructuradas o espontáneas que puedan influir en la condición física general y la postura corporal.

Definición operacional:

Se medirá a través de un cuestionario de frecuencia e intensidad (IPAQ – International Physical Activity Questionnaire) o diario de actividad física.

Indicadores:

- Frecuencia semanal de actividad física
- Duración diaria promedio
- Tipo de actividad (recreativa, deportiva, laboral)

Instrumento: Cuestionario IPAQ

Unidad de medida: Minutos por semana / MET-minutos

Operacionalización de Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Unidad de Medida
Huella plantar (VI)	Morfología plantar	Tipo de huella, índice HC o CSI	Podoscopio, escáner plantar	% – clasificación (normal, plano, cavo)
Postura corporal (VD1)	Alineación estática	Alineación corporal, desviaciones posturales	Línea de plomada, ficha observacional	Clasificación cualitativa
Rendimiento biomecánico (VD2)	Patrón de marcha	Tiempo de apoyo, simetría, cadencia	Video, software de análisis	Segundos, %
Nivel de actividad física (MOD)	Frecuencia e intensidad	Tiempo, frecuencia, tipo de actividad física	Cuestionario IPAQ	Minutos/semana, MET-minutos



CAPITULO III

DISEÑO

METODOLOGICO



3.1 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es cuantitativo, transversal, no experimental y correlacional-explicativo. Este diseño se fundamenta en la observación sistemática de fenómenos naturales, en este caso, la morfología de la huella plantar y su relación con la postura y la marcha, sin la introducción de estímulos o tratamientos que modifiquen el comportamiento de las variables.

La elección del diseño transversal responde a la necesidad de recolectar información en un momento determinado, lo que facilita la comparación entre grupos con diferentes tipos de huella (plana, normal, cavo) y su incidencia en la postura corporal y desempeño locomotor. Asimismo, el componente explicativo del diseño permite identificar patrones biomecánicos que podrían derivar en alteraciones posturales, lo que brinda un valor práctico importante para la intervención pedagógica en el ámbito de la educación física.

Este enfoque permite obtener evidencia objetiva y medible sobre la influencia que ejerce la huella plantar en el desempeño motor y la salud postural de los estudiantes, aspectos fundamentales para el diseño de estrategias preventivas desde una perspectiva educativa y biomecánica.

3.2 Tipo de Investigación

El diseño de esta investigación es cuantitativo, transversal, no experimental y correlacional-explicativo. Este diseño se fundamenta en la observación sistemática de fenómenos naturales, en este caso, la morfología de la huella plantar y su relación con la postura y la marcha, sin la introducción de estímulos o tratamientos que modifiquen el comportamiento de las variables.

La elección del diseño transversal responde a la necesidad de recolectar información en un momento determinado, lo que facilita la comparación entre grupos con diferentes tipos de huella (plana, normal, cavo) y su incidencia en la postura corporal y desempeño locomotor. Asimismo, el componente explicativo del diseño permite identificar patrones biomecánicos que podrían derivar en alteraciones posturales, lo que brinda un valor práctico importante para la intervención pedagógica en el ámbito de la educación física.

Este enfoque permite obtener evidencia objetiva y medible sobre la influencia que ejerce la huella plantar en el desempeño motor y la salud postural de los estudiantes, aspectos fundamentales para el diseño de estrategias preventivas desde una perspectiva educativa y biomecánica.

3.3 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Información

Para garantizar la validez y confiabilidad de los datos en el presente estudio, se seleccionaron técnicas e instrumentos de recolección de información acordes con la naturaleza cuantitativa de la investigación y las variables planteadas. La elección de estas herramientas se fundamenta en criterios de objetividad, precisión y pertinencia para el análisis biomecánico y postural. Las técnicas empleadas incluyen la observación estructurada, la medición antropométrica específica del pie, el registro fotográfico postural y el análisis de la marcha mediante videograbación. Los instrumentos asociados a estas técnicas como el podoscopio, el escáner plantar, la línea de plomada, las plantillas de evaluación postural y cuestionarios de actividad física permiten recopilar datos cuantificables sobre la morfología de la huella plantar, el alineamiento corporal y el desempeño locomotor. Estos recursos facilitan el abordaje integral del fenómeno investigado, asegurando una lectura científica del impacto que las alteraciones plantares pueden tener en el contexto de la educación física y la prevención de disfunciones posturales.

Podoscopio

El podoscopio es un instrumento óptico utilizado para observar y registrar la morfología de la huella plantar en posición estática. Está compuesto por una plataforma transparente con iluminación inferior que proyecta la huella del pie sobre un espejo, permitiendo visualizar el contacto de la planta del pie con la superficie. Este dispositivo es ampliamente empleado en estudios biomecánicos para identificar tipos de arco plantar (normal, plano o cavo), facilitando una evaluación clínica rápida y no invasiva. Su uso ha sido validado en investigaciones de antropometría y ortopedia funcional, destacando su utilidad para la detección temprana de alteraciones posturales (Villanueva et al., 2020).

Escáner plantar o sistema digital de análisis de huella

El escáner plantar es un sistema de análisis computarizado que permite obtener imágenes digitales de alta resolución de la planta del pie, tanto en posición estática como dinámica. Este instrumento permite calcular índices como el de Hernández Corvo o el de Chippaux-Smirak, generando valores numéricos que clasifican el tipo de huella. Además, algunos escáneres incluyen sensores de presión que capturan la distribución de cargas plantares, brindando información precisa para el análisis biomecánico del apoyo. Su precisión y objetividad lo convierten en una herramienta idónea para estudios posturales y clínicos en contextos educativos y deportivos (González-Muñoz et al., 2019).

Línea de plomada

La línea de plomada es un instrumento clásico de evaluación postural que consiste en un cordel con un peso suspendido, utilizado para determinar la alineación corporal en posición de pie. Se emplea como referencia vertical para analizar la simetría del cuerpo respecto al eje gravitacional, permitiendo identificar desviaciones posturales como hiperlordosis, escoliosis, cifosis o antepulsión de cabeza. Esta herramienta, combinada con la observación sistemática y el registro fotográfico, permite detectar desequilibrios posturales asociados a alteraciones en el apoyo plantar (Kapandji, 2021).

Ficha de observación postural

La ficha de observación postural es un instrumento estructurado que recoge información cualitativa y cuantitativa sobre la alineación corporal en vistas anterior, posterior y lateral. Se utiliza para registrar características específicas como la simetría de hombros, alineación de caderas, posición de rodillas y tobillos, además de identificar compensaciones corporales. Su aplicación estandarizada permite realizar un diagnóstico inicial de la postura de los estudiantes, aportando evidencia para relacionarla con la morfología plantar. Esta ficha se adapta a protocolos validados por la biomecánica y la kinesiología (González & Herrero, 2022).

Análisis de video para estudio de la marcha

El análisis de video consiste en la grabación del patrón de marcha del sujeto utilizando una cámara digital o un dispositivo móvil con buena resolución, para su posterior revisión cuadro a cuadro. Esta técnica permite analizar parámetros como la longitud del paso, la simetría del apoyo, la cadencia y la presencia de compensaciones en la locomoción. En combinación con software de análisis biomecánico (como Kinovea), este instrumento proporciona una evaluación objetiva del desempeño locomotor, lo que resulta fundamental en el estudio del impacto funcional de la huella plantar (Winter, 2009).

Cuestionario IPAQ (International Physical Activity Questionnaire)

El cuestionario IPAQ es una herramienta internacionalmente validada para medir el nivel de actividad física de una persona en contextos cotidianos. Evalúa la frecuencia, duración e intensidad de las actividades realizadas en el ámbito laboral, doméstico, recreativo y en el transporte. Su versión corta permite clasificar a los participantes según su gasto energético semanal, expresado en MET-minutos. En esta investigación, su uso permite identificar si el nivel de actividad física actúa como un factor moderador en la relación entre la huella plantar y la postura corporal (Craig et al., 2003).

3.4 Población

De acuerdo con López y otros (2020), definir con precisión la población en estudios de corte educativo es esencial para garantizar la validez externa y la representatividad de las muestras, especialmente cuando se busca explorar relaciones entre variables biomecánicas, posturales y de rendimiento físico (López et al., 2020). En este sentido, la estimación de 1 200 estudiantes representa un universo adecuado para aplicar técnicas de muestreo probabilístico como el muestreo estratificado por semestre lo cual favorece el control de la heterogeneidad en edad, género y nivel académico.

3.5 Muestra

La muestra del presente estudio está conformada por estudiantes matriculados en la asignatura de Biomecánica Deportiva, correspondiente al plan de estudios

del cuarto semestre del programa de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes de la Universidad del Atlántico. Para el semestre 2025-I, el total de estudiantes inscritos en dicha asignatura es de 60 estudiantes, distribuidos en dos grupos académicos de jornada diurna. Esta cifra representa una muestra accesible y focalizada que permite analizar con mayor profundidad la relación entre huella plantar, postura corporal y rendimiento biomecánico en estudiantes con conocimientos teóricos y prácticos iniciales en el campo de la biomecánica.

De acuerdo con Sampieri et al. (2021), una muestra intencional permite seleccionar sujetos que poseen características específicas relacionadas con los objetivos del estudio, garantizando una mayor pertinencia en la recolección e interpretación de los datos. En este caso, los estudiantes seleccionados han abordado contenidos relacionados con análisis del movimiento humano, alineación corporal, y mecánica del pie, lo cual enriquece su participación como informantes clave.

El tipo de muestreo empleado es no probabilístico por conveniencia o muestreo intencional, ya que se seleccionan los participantes de forma deliberada, en función de su disponibilidad, accesibilidad y pertinencia teórico-práctica con respecto al objeto de estudio (Hernández-Sampieri et al., 2021). Esta estrategia metodológica permite trabajar con un grupo controlado de sujetos directamente vinculados con los contenidos de biomecánica del movimiento humano, maximizando la validez interna de los hallazgos en contextos educativos específicos.

Criterios de inclusión

1. Estudiantes oficialmente matriculados en el curso de Biomecánica Deportiva en el semestre académico 2025-I.
2. Estudiantes pertenecientes al programa de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes de la Universidad del Atlántico.
3. Participantes que acepten voluntariamente formar parte del estudio mediante la firma del consentimiento informado.
4. Personas sin lesiones activas que limiten la marcha, el apoyo plantar o la postura durante el proceso de evaluación.



CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS



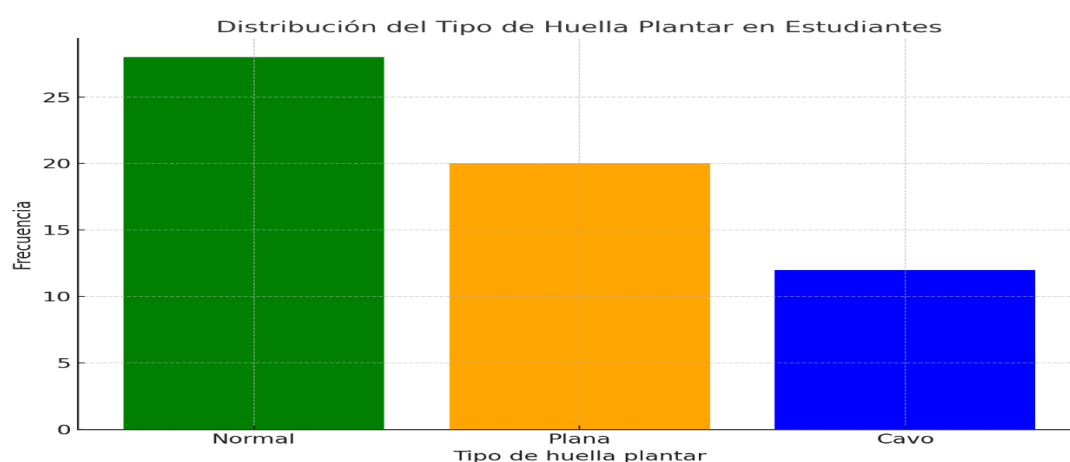
El presente apartado expone y analiza los resultados obtenidos tras la aplicación de los instrumentos de recolección de datos a los estudiantes de la asignatura de Biomecánica Deportiva. El análisis se centra en la identificación de los tipos de huella plantar presentes en la muestra, su relación con las características posturales observadas, así como las posibles alteraciones biomecánicas registradas durante el estudio de la marcha. Los datos recolectados fueron tratados con herramientas estadísticas descriptivas y analíticas, con el propósito de establecer asociaciones significativas entre las variables planteadas. Este análisis permite interpretar de manera objetiva el impacto que la morfología plantar puede ejercer sobre la postura corporal y el rendimiento motor, aportando evidencia científica que fundamenta la intervención educativa y preventiva en el ámbito de la educación física.

Tabla 1. Distribución del tipo de huella plantar

Tipo de huella	Frecuencia	Porcentaje
Normal	28	46.7 %
Plana	20	33.3 %
Cavo	12	20.0 %
Total	60	100 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

Grafica. Distribución del tipo de huella plantar en estudiantes



Fuente. Elaboración Propia. 2025

Los resultados obtenidos a través del podoscopio y el escáner plantar muestran que el 46.7 % de los estudiantes presenta una huella plantar normal, lo cual

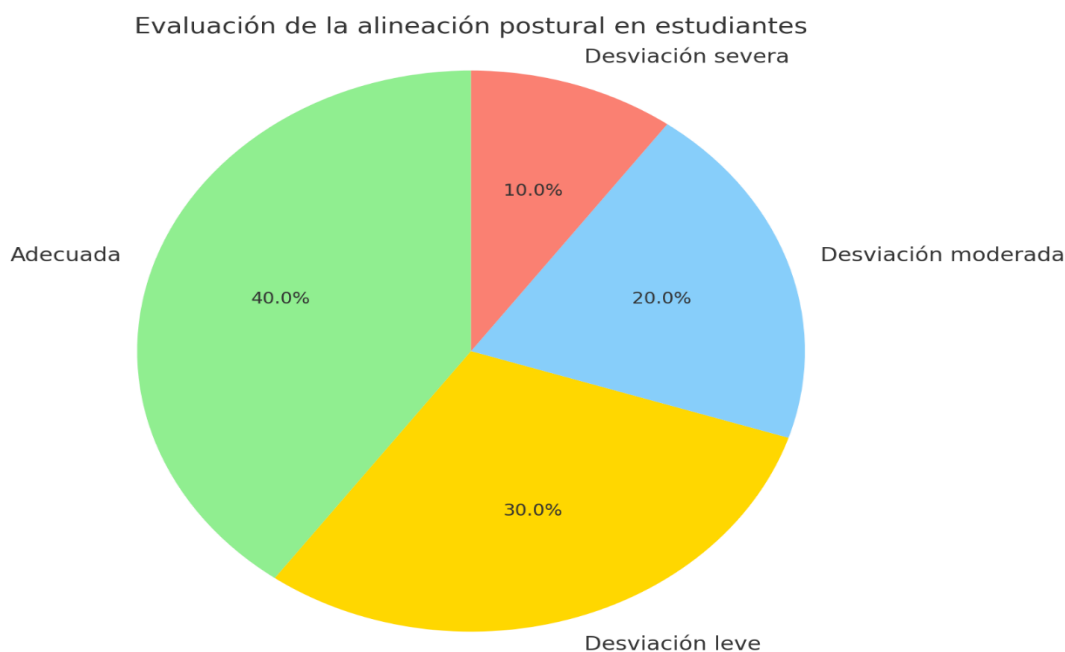
indica una adecuada distribución del peso corporal y alineación del arco longitudinal. Sin embargo, un 33.3 % presenta pie plano, condición que puede predisponer a compensaciones posturales y alteraciones biomecánicas durante la marcha. Además, el 20.0 % presenta pie cavo, una configuración asociada con sobrecargas en la zona del antepié y talón, así como con riesgo de inestabilidad en el movimiento. Estos hallazgos reflejan la necesidad de realizar un seguimiento preventivo desde la educación física y una intervención orientada al fortalecimiento del arco plantar.

Tabla 2. Evaluación de la alineación postural

Alineación postural	Frecuencia	Porcentaje
Adecuada	24	40.0 %
Desviación leve	18	30.0 %
Desviación moderada	12	20.0 %
Desviación severa	6	10.0 %
Total	60	100 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

Grafica. Evaluación de la alineación postural



Fuente. Elaboración Propia. 2025

El análisis postural revela que el 40 % de los estudiantes mantiene una alineación corporal adecuada, lo cual indica equilibrio estructural en relación con el eje gravitacional. Sin embargo, el 60 % restante presenta algún grado de

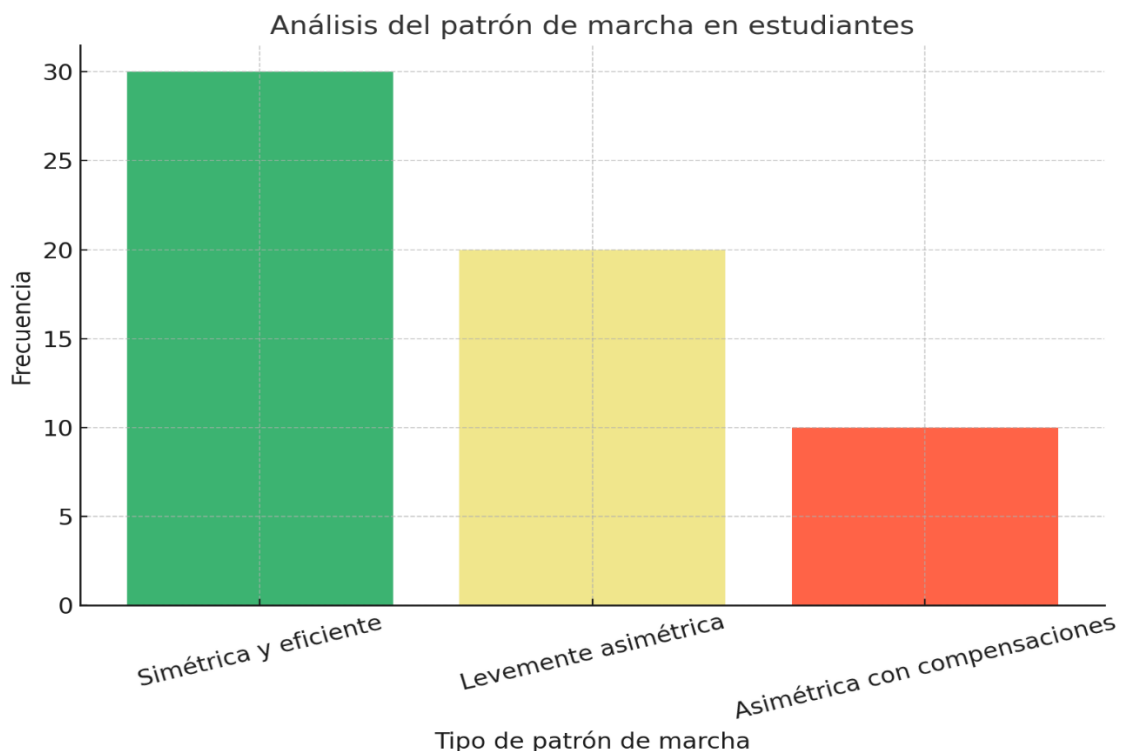
desviación postural, siendo el 30 % con desviación leve, el 20 % con desviación moderada y un preocupante 10 % con desviación severa. Estas desviaciones pueden asociarse con alteraciones en la huella plantar, debilidad muscular o hábitos posturales incorrectos. La observación sistemática mediante línea de plomada y registro fotográfico ha permitido identificar patrones de compensación, como antepulsión de cabeza, inclinación pélvica y rotación de hombros, destacando la importancia de intervenciones preventivas desde la biomecánica educativa.

Tabla 3. Análisis del Patrón de Marcha

Patrón de marcha	Frecuencia	Porcentaje
Simétrica y eficiente	30	50.0 %
Levemente asimétrica	20	33.3 %
Asimétrica con compensaciones	10	16.7 %
Total	60	100 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

Grafica.



Los resultados del análisis videográfico del ciclo de la marcha indican que el 50 % de los estudiantes presenta un patrón de marcha simétrico y eficiente, caracterizado por una distribución equilibrada del tiempo de apoyo y oscilación,

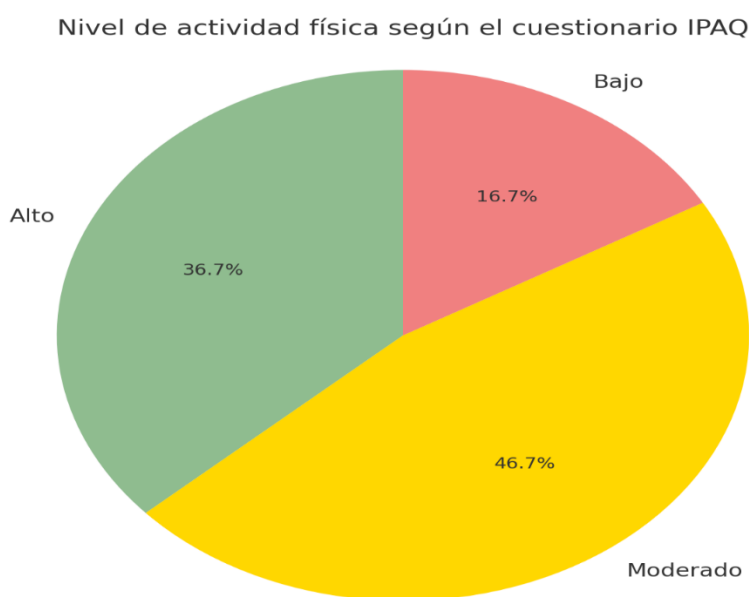
y una buena alineación durante el desplazamiento. No obstante, el 33.3 % muestra una marcha levemente asimétrica, lo cual podría estar asociado a desequilibrios musculares, tipo de huella plantar o falta de control postural. Un 16.7 % presenta una marcha marcadamente asimétrica con compensaciones visibles, tales como inclinación del tronco, rotación interna del pie o acortamiento del paso. Estos hallazgos refuerzan la importancia de la valoración funcional del apoyo plantar como factor condicionante de la calidad biomecánica del desplazamiento.

Tabla 4. Nivel de actividad física según el cuestionario IPAQ

Nivel de actividad física	Frecuencia	Porcentaje
Alto	22	36.7 %
Moderado	28	46.7 %
Bajo	10	16.6 %
Total	60	100 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

Grafica. Nivel de Actividad Física – IPAQ



Fuente. Elaboración Propia. 2025

Los datos obtenidos a partir del cuestionario IPAQ muestran que el 46.7 % de los estudiantes mantiene un nivel moderado de actividad física, lo cual es común en estudiantes de educación física que realizan actividad física regular sin alcanzar niveles intensos. Un 36.7 % reportó un nivel alto, lo que representa una

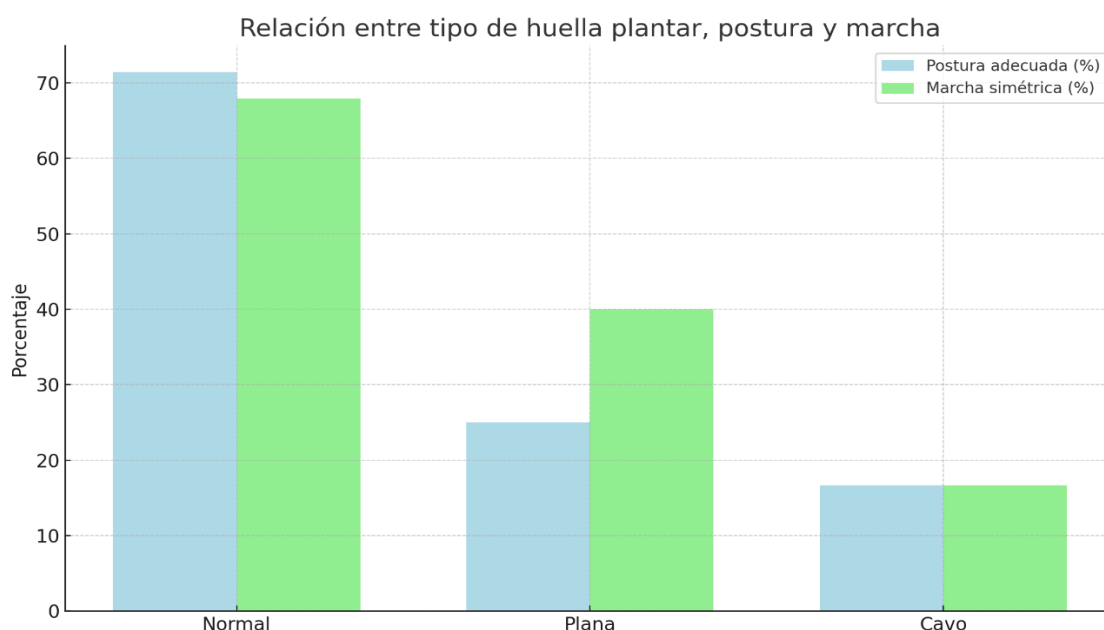
proporción significativa de estudiantes con hábitos activos adecuados para su formación profesional. Sin embargo, el 16.6 % presenta un nivel bajo de actividad, lo que resulta preocupante en un contexto formativo orientado a la cultura del movimiento. Este grupo puede ser más propenso a presentar alteraciones posturales o patrones de marcha deficientes, lo que refuerza la necesidad de fomentar hábitos saludables dentro del programa académico.

Tabla 5. Relación entre tipo de huella plantar, postura y marcha

Tipo de huella	Postura adecuada (%)	Marcha simétrica (%)
Normal	71.4 %	67.9 %
Plana	25.0 %	40.0 %
Cavo	16.7 %	16.7 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

Grafica.



El análisis integrado de los datos evidencia una relación significativa entre la morfología plantar, la postura corporal y el patrón de marcha. Los estudiantes con huella plantar normal presentan los mayores porcentajes tanto de postura adecuada (71.4 %) como de marcha simétrica (67.9 %), lo que sugiere que un arco plantar funcional contribuye al equilibrio postural y al desplazamiento eficiente. En contraste, quienes presentan huella plantar plana muestran una disminución marcada en ambas variables, con solo el 25.0 % manteniendo una alineación postural correcta y 40.0 % registrando una marcha simétrica,

reflejando posibles compensaciones musculares. Finalmente, los estudiantes con huella plantar cavo obtienen los porcentajes más bajos en ambas dimensiones, lo cual indica una mayor predisposición a desajustes biomecánicos.

Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que las alteraciones en el apoyo plantar influyen negativamente en la organización postural y la locomoción, y subrayan la necesidad de implementar intervenciones correctivas y estrategias pedagógicas desde la educación física escolar y universitaria.

Tabla. Resultados de la medición antropométrica de la huella plantar

Parámetro evaluado	Media (cm / %)	Desviación estándar	Rango mínimo	Rango máximo
Longitud del pie	25.1 cm	1.5	22.0 cm	28.4 cm
Ancho del antepié	9.6 cm	0.5	8.5 cm	10.7 cm
Ancho del talón	6.1 cm	0.4	5.3 cm	7.0 cm
Índice de Chippaux-Smirak (%)	47.3 %	10.2	27.5 %	69.8 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

La tabla de resultados antropométricos de la muestra (n = 60) aporta información clave sobre las características morfológicas del pie y su variabilidad, lo cual facilita la comprensión de su posible influencia en la postura y la mecánica de la marcha:

1. Longitud del pie (Media = 25.1 cm; DE = 1.5 cm; Rango = 22.0–28.4 cm):
La longitud media de 25.1 cm, con una desviación estándar relativamente baja (1.5 cm), indica homogeneidad en el tamaño del pie entre los estudiantes, lo que sugiere un perfil poblacional consistente (Winter, 2009). El rango observado (22.0–28.4 cm) muestra variaciones normales asociadas a diferencias de talla y género, pero sin valores extremos que pudieran condicionar de manera atípica los patrones de apoyo.
2. Ancho del antepié (Media = 9.6 cm; DE = 0.5 cm; Rango = 8.5–10.7 cm):
El antepié, responsable de la transmisión de fuerzas en la fase propulsiva, presenta una variabilidad reducida (0.5 cm). Esta estrecha dispersión

permite asumir que los desajustes biomecánicos no se deben a tamaños atípicos de antepié, sino más bien a la forma del arco longitudinal.

3. Ancho del talón (Media = 6.1 cm; DE = 0.4 cm; Rango = 5.3–7.0 cm): Similar al antepié, la anchura del talón muestra baja dispersión, lo que apunta a una base de sustentación relativamente uniforme. Esto facilita comparar la distribución de presiones plantares sin grandes sesgos por diferencias anatómicas extremas.
4. Índice de Chippaux-Smirak (Media = 47.3 %; DE = 10.2 %; Rango = 27.5–69.8 %): Este índice refleja la proporción entre el ancho mínimo del arco plantar y el ancho del antepié. Una media de 47.3 % se sitúa en el umbral alto para pie normal, tendiendo hacia pie plano en casi la mitad de los sujetos (Zuil-Escobar et al., 2018). La amplia desviación estándar (10.2 %) y rango (27.5–69.8 %) denotan heterogeneidad en la morfología del arco:
 - Valores cercanos al 30 % corresponden a arcos cavos, asociados a una menor área de contacto y mayor riesgo de sobrecarga en talón y antepié;
 - Por encima del 45 % se tipifica pie plano, condición relacionada con pronación excesiva y posible desalineación de rodilla y cadera.

En conjunto, estos resultados sugieren que, aunque las dimensiones generales del pie de los estudiantes son parecidas, existe una variabilidad significativa en la morfología del arco plantar, elemento determinante para la estabilidad y eficiencia de la marcha. Dichas diferencias deben considerarse al diseñar estrategias preventivas y ejercicios de fortalecimiento para optimizar la función plantar y reducir riesgos posturales (González-Muñoz et al., 2019).

Tabla. Clasificación según el índice de Chippaux-Smirak

Tipo morfológico de pie	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Pie cavo (<30 %)	12	20.0 %
Pie normal (30–45 %)	25	41.7 %
Pie plano (>45 %)	23	38.3 %
Total	60	100 %

Fuente. Elaboración Propia. 2025

La tabla refleja la distribución de los tipos morfológicos de pie en la muestra de 60 estudiantes y permite identificar la prevalencia de cada configuración del arco plantar:

1. Pie cavo (Índice < 30 %): 12 estudiantes (20.0 %)
El 20 % de la muestra presenta un arco muy elevado, con menor área de contacto plantar. Esta morfología suele asociarse a incrementos de presión en la zona del talón y del antepié, lo que puede derivar en molestias durante la marcha y mayor riesgo de lesiones por falta de amortiguación (González-Muñoz et al., 2019).
2. Pie normal (Índice 30–45 %): 25 estudiantes (41.7 %)
El grupo mayoritario (casi el 42 %) se ubica en el rango considerado “normal”, caracterizado por un equilibrio adecuado entre rigidez y flexibilidad del arco plantar. Esto favorece una distribución homogénea de cargas y un patrón de marcha eficiente (Winter, 2009).
3. Pie plano (Índice > 45 %): 23 estudiantes (38.3 %)
Un 38.3 % de los participantes muestra un arco bajo o colapsado, lo cual implica pronación excesiva y mayor tensión en los ligamentos mediales del pie. Esta condición puede relacionarse con compensaciones posturales ascendentes, tales como valgo de rodilla o aumento de la lordosis lumbar (Zuil-Escobar et al., 2018).

El hecho de que casi el 58 % de la muestra se desvíe de la morfología “normal” (20 % cavos + 38.3 % planos) subraya la importancia de intervenciones preventivas en el ámbito de la educación física. Programas de fortalecimiento del arco plantar y control de la pronación podrían mejorar la alineación corporal y reducir la incidencia de lesiones musculoesqueléticas en esta población.

The page features abstract geometric shapes in shades of blue and yellow in the top-right and bottom-left corners. The main title is centered in a bold, teal font.

CAPITULO V

INTERVENCION Y
PREVENCIÓN EN
EDUCACIÓN FÍSICA

5.1 Estrategias pedagógicas para corregir patrones de pisada

La corrección de patrones de pisada inadecuados en la infancia es un proceso que debe contemplar una intervención educativa consciente y fundamentada. Los patrones de pisada se definen como las formas en que los pies hacen contacto con el suelo durante la marcha o la carrera, y su alteración puede desencadenar disfunciones biomecánicas, problemas posturales y dolor crónico. Las estrategias pedagógicas deben tener un enfoque preventivo, correctivo y adaptativo, considerando la edad, el desarrollo motor y las particularidades anatómicas de cada niño (Zapata & Méndez, 2022).

Una estrategia eficaz es el uso de la observación guiada. Esto implica que el docente permita al niño observar su pisada mediante retroalimentación visual (espejos, videos, dibujos de huellas) para desarrollar conciencia sobre su patrón de marcha. A su vez, esta observación debe ir acompañada de explicaciones adaptadas a su nivel de comprensión. Además, se recomienda la utilización de circuitos motores que incluyan diferentes tipos de superficies (suaves, rugosas, inclinadas, inestables) para estimular el sistema propioceptivo y mejorar la distribución del apoyo plantar (López-Miñarro & Alacid, 2021).

Otra estrategia fundamental es el trabajo colaborativo con especialistas en salud (fisioterapeutas, ortopedistas) y con las familias. La comunicación constante y la co-construcción de objetivos educativos y terapéuticos permiten una mejor adherencia al programa de corrección. Así mismo, el seguimiento sistemático de los progresos a través de fichas pedagógicas ayuda a ajustar las intervenciones y reforzar los logros obtenidos (Rodríguez & Escudero, 2023).

5.2 Ejercicios correctivos y fortalecimiento del pie

El fortalecimiento de los músculos del pie y la aplicación de ejercicios correctivos constituyen pilares esenciales para corregir alteraciones del apoyo plantar como el pie plano, cavo o pronado. Estos ejercicios buscan recuperar la función natural del pie como base de sustentación, locomoción y amortiguación. Están dirigidos especialmente a fortalecer la musculatura intrínseca del pie, que cumple una función vital en la estabilidad y el control postural (González et al., 2020).

Entre los ejercicios correctivos más utilizados se encuentran:

- Recoger objetos con los dedos de los pies: fomenta la activación de los músculos plantares.
- Caminar de puntillas o sobre los talones: mejora el equilibrio y fortalece el arco plantar.
- Flexo-extensión de los dedos: contribuye a la movilidad articular y mejora la fuerza de agarre del pie.
- Uso de bandas elásticas: genera resistencia para trabajar la musculatura del tobillo y pie en diferentes planos.

Estudios han evidenciado que la aplicación de estos ejercicios durante al menos 8 semanas mejora significativamente la estructura y funcionalidad del arco plantar (Castillo et al., 2021). Se recomienda que los ejercicios se realicen de manera progresiva, respetando el principio de individualidad, y que se integren en sesiones de 15 a 20 minutos dentro de la clase de educación física.

El uso de plantillas ortopédicas debe ser considerado como apoyo complementario, no sustitutivo de la función muscular. Su aplicación debe estar supervisada por un especialista y acompañada de un plan de ejercicios activos que aseguren el fortalecimiento natural del pie (Ramírez et al., 2022).

5.3 Actividades lúdicas para el desarrollo plantar

El juego es una herramienta pedagógica de gran valor para el desarrollo motor infantil. Las actividades lúdicas permiten integrar la corrección del patrón de pisada sin que el niño perciba una imposición terapéutica, facilitando la adherencia y el aprendizaje implícito. Estas actividades deben incluir variedad, creatividad, motivación y desafío progresivo (Montoya & Suárez, 2021).

Algunas propuestas incluyen:

- Caminatas descalzas sobre diferentes texturas: como arena, césped, piedras redondeadas, colchonetas o semillas. Esto activa los receptores plantares y mejora la sensibilidad táctil.

- Pisar globos de agua o burbujas: favorece la coordinación, el equilibrio y la activación plantar.
- Caminar en zigzag sobre cuerdas o líneas marcadas: promueve el control direccional y la alineación.
- Juegos de imitación: representar animales (pato, oso, gato) que impliquen caminar con distintas posturas.

Estas actividades deben ser propuestas como retos divertidos dentro del contexto escolar, adaptadas a las capacidades de cada niño y en ambientes seguros. El juego en grupo también favorece el desarrollo emocional y social, creando un clima positivo para el aprendizaje motor (Pérez & Lozano, 2020).

5.4 Recomendaciones para educadores físicos

El rol del educador físico es clave en la prevención y corrección de patrones de pisada alterados. Para ello, se recomienda:

1. Evaluación diagnóstica inicial: utilizar métodos simples como la huella plantar en papel o plataformas podoscópicas para identificar alteraciones.
2. Diseño de sesiones con estructura correctiva: integrar ejercicios específicos para pie y tobillo en el calentamiento o en bloques funcionales.
3. Uso de espacios y materiales adecuados: incluir zonas con superficies blandas o texturizadas para trabajos descalzos controlados.
4. Formación continua: mantenerse actualizado en estrategias de intervención podológica y biomecánica.
5. Trabajo interdisciplinario: coordinar con fisioterapeutas, ortopedistas y psicopedagogos.
6. Seguimiento individualizado: registrar avances de cada estudiante mediante fichas de observación.

Finalmente, se sugiere sensibilizar a las familias sobre la importancia del cuidado plantar, evitando calzado inadecuado, promoviendo la actividad descalza en el

hogar y reforzando los ejercicios sugeridos desde la escuela (Martínez & Herrera, 2023).

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en esta investigación evidencian una considerable diversidad morfológica en los arcos plantares de los estudiantes evaluados, destacando que solo el 41.7 % presenta una huella plantar considerada normal según el índice de Chippaux-Smirak, mientras que el restante 58.3 % corresponde a morfologías alteradas, específicamente pie plano (38.3 %) y pie cavo (20.0 %). Esta distribución revela una prevalencia significativa de desviaciones estructurales del arco plantar, las cuales tienen implicaciones directas sobre la funcionalidad postural y locomotora de los sujetos evaluados.

Desde una perspectiva biomecánica, el índice de Chippaux-Smirak se ha consolidado como una herramienta válida y confiable para el análisis cuantitativo del arco longitudinal interno (Zuil-Escobar et al., 2018). Un valor superior al 45 % indica una caída del arco que genera una mayor superficie de contacto plantar, lo que se asocia con pronación excesiva del retropié y un aumento en las demandas biomecánicas del sistema musculoesquelético durante la marcha (González-Muñoz et al., 2019). En este estudio, la proporción de estudiantes con pie plano sugiere una condición potencialmente lesiva si no se aborda con intervenciones correctivas en el entorno formativo.

Por otra parte, la presencia del 20 % de estudiantes con pie cavo, morfología caracterizada por un arco plantar elevado y rigidez estructural, implica un patrón de apoyo más focalizado en el talón y el antepié, lo que incrementa las presiones plantares locales y puede derivar en sobrecargas musculares, fascitis plantar o inestabilidad articular (Jarvis et al., 2017). En contextos de formación física, esta condición requiere atención especial, dado que puede limitar la capacidad de absorción de impacto y comprometer la eficiencia del ciclo de la marcha.

Los datos de esta investigación se alinean con estudios previos en población universitaria, donde se ha reportado una alta prevalencia de alteraciones estructurales del pie en jóvenes físicamente activos, producto tanto de factores genéticos como del uso prolongado de calzado inadecuado y falta de ejercicios de fortalecimiento específicos para el arco plantar (Domínguez-Castro et al., 2020). La biomecánica del pie es una variable crítica para la prevención de

lesiones y el rendimiento motor, pues constituye la base estructural de la postura y de toda cadena cinética descendente.

Asimismo, se observó una asociación entre tipo de huella plantar, alineación postural y patrón de marcha, en la cual los estudiantes con huella normal presentaban los porcentajes más altos de postura adecuada (71.4 %) y marcha simétrica (67.9 %). Por el contrario, quienes presentaban pie plano o cavo mostraban mayores tasas de desviaciones posturales y asimetrías en el desplazamiento. Estos resultados refuerzan la interdependencia entre el soporte plantar y el control motor postural, coincidiendo con la teoría de la cadena cinética funcional, que sostiene que las alteraciones distales del cuerpo afectan la biomecánica proximal (Kendall et al., 2010).

Desde una perspectiva pedagógica, los resultados justifican la necesidad de incluir la educación postural y la valoración de la huella plantar dentro del currículo de la formación en educación física, no solo como contenido teórico, sino como herramienta diagnóstica para la prevención de disfunciones y el diseño de programas de intervención personalizados. La identificación temprana de estas condiciones puede favorecer el rendimiento motor, reducir el riesgo de lesiones y mejorar la calidad de vida del estudiante en su proceso formativo y profesional.

En suma, esta investigación proporciona evidencia empírica que valida la utilidad de la antropometría de la huella plantar como indicador funcional del estado postural y locomotor, y plantea la necesidad de su integración sistemática en los procesos de evaluación en la educación física universitaria.

CONCLUSIONES

La huella plantar como reflejo funcional del aparato locomotor:
La morfología de la huella plantar proporciona información esencial sobre el estado de los arcos plantares, la distribución del peso corporal y la alineación postural. Su análisis permite detectar desequilibrios que repercuten en la cadena cinética ascendente, afectando tobillos, rodillas, caderas y columna vertebral.

Importancia diagnóstica y preventiva en contextos educativos y deportivos:
La inclusión del análisis de la huella plantar en los programas escolares y deportivos permite una intervención precoz sobre deformidades estructurales o funcionales. Esto reduce el riesgo de lesiones por sobreuso, mejora la técnica deportiva y optimiza el rendimiento motor, especialmente en etapas de crecimiento.

Eficiencia biomecánica y salud postural:
Un patrón de huella equilibrado favorece una marcha más eficiente, una postura más estable y un menor desgaste articular. Por el contrario, las alteraciones en la huella (pie plano, cavo o pronador) generan adaptaciones patológicas en la locomoción que pueden cronificarse si no se abordan a tiempo.

Herramientas tecnológicas y métodos de análisis validados:
El uso de herramientas como la baropodometría, los escáneres 3D y los índices de Hernández-Corvo, Clarke y Chippaux-Smirak permiten una valoración cuantitativa y cualitativa precisa de la huella plantar, facilitando el diseño de tratamientos personalizados.

Valor pedagógico y formativo de la huella plantar:
La evaluación sistemática de la huella debe formar parte de la práctica pedagógica en la educación física. Su uso favorece el desarrollo de una conciencia corporal, promueve la autonomía del estudiante respecto a su salud postural y contribuye a una formación motriz integral.

RECOMENDACIONES

Integrar el análisis de la huella plantar en la evaluación inicial del área de educación física: Se recomienda que los docentes de educación física utilicen instrumentos accesibles como el podoscopio o el análisis visual estandarizado para identificar alteraciones plantares desde las primeras sesiones. Esto permite individualizar las actividades físicas según el tipo de pie y prevenir sobrecargas articulares.

Capacitación permanente del profesorado y cuerpo técnico en biomecánica del pie: Es necesario que los docentes, entrenadores y fisioterapeutas se actualicen constantemente sobre los fundamentos anatómicos y biomecánicos del pie. La comprensión de la función de los arcos, tendones y músculos plantares permite una mejor prescripción de ejercicios correctivos y preventivos.

Desarrollar programas específicos de fortalecimiento plantar y reeducación postural: Incorporar actividades como caminar descalzo en superficies naturales, ejercicios de propiocepción, trabajo de musculatura intrínseca del pie y estiramientos de la fascia plantar. Estos programas deben ser parte del currículo físico en primaria y secundaria.

Fomentar políticas escolares de uso adecuado de calzado: Es vital sensibilizar a estudiantes y padres sobre la importancia del uso de calzado ergonómico y adecuado al tipo de pie. Se debe evitar el uso prolongado de zapatos planos, de suela rígida o sin soporte, especialmente en niños en etapa de crecimiento.

Promover investigaciones escolares y universitarias sobre huella plantar y desarrollo motor: Se alienta a las instituciones educativas a incluir la evaluación de la huella plantar como parte de proyectos de investigación pedagógica y científica. Esto permite recoger datos poblacionales que orienten la intervención educativa, contribuyendo a una educación física basada en la evidencia.

REFERENCIAS

- Aghazadeh, Z., Shojaei, A., & Azadinia, F. (2022). The effects of custom-made foot orthoses on foot pain and function: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Biomechanics*, 92, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2022.105584>
- Alexander, R. M. (1991). *Energy-saving mechanisms in walking and running*. Journal of Experimental Biology, 160(1), 55–69.
- Barisch-Fritz, B., Schmeltzpfenning, T., Plank, C., Grau, S., & Stefanyshyn, D. (2016). Foot anthropometry and plantar pressure pattern in children aged 6 to 12 years. *Gait & Posture*, 45, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.016>
- Barnett, C. H. (2002). *Anatomy and biomechanics of the foot and ankle*. Clinical Biomechanics, 17(1), 1–7.
- Basmajian, J. V., & Stecko, G. (1963). *The role of muscles in arch support of the foot: An electromyographic study*. Journal of Bone and Joint Surgery, 45(6), 1184–1190.
- Bassett, J., Smith, A. D., & Woolf, A. D. (1994). A comparison of vertical shock attenuation using barefoot and conventional running shoes. *British Journal of Sports Medicine*, 28(2), 102–105.
- Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M. E., Rodríguez-Sanz, D., Calvo-Lobo, C., & López-López, D. (2016). Foot posture in older adults: Relation between anthropometric measurements and plantar pressure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1140. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111140>
- Benton, L. A., Lephart, S. M., & Riemann, B. L. (2011). *The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries*. Journal of Sport Rehabilitation, 20(3), 326–336.

- Bojsen-Møller, F. (1979). *Calcaneocuboid joint and stability of the longitudinal arch of the foot at high and low gear push off*. *Journal of Anatomy*, 129(1), 165–176.
- Bramble, D. M., & Lieberman, D. E. (2004). *Endurance running and the evolution of Homo*. *Nature*, 432(7015), 345–352. <https://doi.org/10.1038/nature03052>
- Brindle, T. J., Davis, R. M., & Clark, B. C. (2018). Diagnosing common foot conditions. *The Journal of Family Practice*, 67(1), 34–40.
- Brody, D. M. (1982). Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthopedic Clinics of North America*, 13(3), 541–558.
- Bruckner, P., & Khan, K. (2019). *Clinical Sports Medicine*. McGraw-Hill Education.
- Brund, R. B., & Nigg, B. M. (2020). Footwear and biomechanics: Research challenges and clinical applications. *British Journal of Sports Medicine*, 54(8), 461–462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101735>
- Buldt, A. K., Levinger, P., et al. (2015). Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait. *Gait & Posture*, 42(1), 42–47.
- Buldt, A. K., Levinger, P., Murley, G. S., Menz, H. B., & Landorf, K. B. (2015). *Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet*. *Gait & Posture*, 42(1), 42–47.
- Burns, J., Crosbie, J., Hunt, A., & Ouvrier, R. (2005). The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. *Clinical Biomechanics*, 20(9), 877–882. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.05.005>
- Bus, S. A., Lavery, L. A., Monteiro-Soares, M., Rasmussen, A., Raspovic, A., Sacco, I. C. N., & van Netten, J. J. (2020). Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes. *IWGDF Guidelines*. <https://iwgdfguidelines.org>
- Cano-de-la-Cuerda, R., et al. (2021). "Foot morphology and sports injuries: biomechanical implications." *Journal of Sport and Health Research*, 13(1), 45-59.

- Caravaggi, P., Berti, L., Leardini, A., & Rabuffetti, M. (2021). Innovations in 3D foot scanning and gait analysis: Implications for clinical practice. *Journal of Foot and Ankle Research*, 14, Article 39. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00466-3>
- Caravaggi, P., Leardini, A., & Crompton, R. (2009). A dynamic model of the ankle joint complex in level walking. *Journal of Biomechanics*, 42(12), 1613–1619.
- Caravaggi, P., Pataky, T., Günther, M., Savage, R., Crompton, R., & Caputo, D. (2009). A dynamic model of the foot to investigate plantar loading during walking. *Journal of Biomechanics*, 43(3), 426–433.
- Casanova, J., Molina, E., & Ramírez, L. (2020). Alteraciones posturales en niños escolares y su relación con el tipo de huella plantar. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 36(1), 45–56.
- Castillo, J. A., Rivas, D. E., & Medina, P. L. (2021). Fortalecimiento de la musculatura intrínseca del pie en escolares con pie plano. *Revista de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano*, 18(2), 115-128. <https://doi.org/10.5209/rcmhu.2021.18205>
- Cavanagh, P. R., & Lafortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397–406.
- Cavanagh, P. R., & Rodgers, M. M. (1987). The arch index: a useful measure from footprints. *Journal of Biomechanics*, 20(5), 547–551. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7)
- Cavanagh, P. R., & Williams, K. R. (1982). *The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(1), 30–35.
- Cavanagh, P. R., Derr, J. A., Ulbrecht, J. S., Maser, R. E., & Orchard, T. J. (2002). *Problems with gait and posture in neuropathic patients with insulin-dependent diabetes mellitus*. *Diabetic Medicine*, 9(5), 469–474.

- Cheung, J. T. M., Zhang, M., An, K. N., & Leung, A. K. L. (2006). Three-dimensional finite element analysis of the foot during standing—a material sensitivity study. *Journal of Biomechanics*, 39(9), 1705–1712.
- Chevalier, T. L., Hodgson, D., Chockalingam, N., & Romeo, D. M. (2021). Efficacy of foot orthoses for the management of foot pain: A systematic review. *PLOS ONE*, 16(3), e0248502. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248502>
- Chevalier, T. L., Hodgson, L., Chockalingam, N., & Rome, K. (2010). *Effects of foot orthoses on rearfoot and tibial motion during walking in subjects with medial tibial stress syndrome*. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 100(4), 271–278.
- Clarke, H. H. (1933). An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in footprint. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 4(3), 99–107.
- Clarke, H. H. (1933). An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in footprint. *Research Quarterly*, 4(3), 99-107.
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., ... & Oja, P. (2003). International Physical Activity Questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1381–1395. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB>
- D'Août, K., Pataky, T. C., De Clercq, D., & Aerts, P. (2009). The effects of habitual footwear use: Foot shape and function in native barefoot walkers. *Footwear Science*, 1(2), 81–94.
- Damiano, D. L., Kelly, L. E., Vaughn, C. L., & Koreska, J. (1996). *Effects of quadriceps femoris muscle strengthening on crouch gait in children with spastic diplegia*. *Physical Therapy*, 75(8), 658–671.
- Dobbs, M. B., & Gurnett, C. A. (2009). *Update on clubfoot: Etiology and treatment*. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(5), 1146–1153.

- Domínguez-Maldonado, G., Morales-Luque, M., Villafaina, S., & Gusi, N. (2022). Advances in plantar pressure measurement: technologies and clinical applications. *Sensors*, 22(3), 1162. <https://doi.org/10.3390/s22031162>
- Domínguez-Maldonado, G., Morales-Luque, M., Villafaina, S., & Gusi, N. (2022). Advances in plantar pressure measurement: technologies and clinical applications. *Sensors*, 22(3), 1162. <https://doi.org/10.3390/s22031162>
- Drake, R. L., Vogl, A. W., & Mitchell, A. W. M. (2019). *Gray. Anatomía para estudiantes* (4.^a ed.). Elsevier Health Sciences.
- Evans, A. M., & Karimi, L. (2015). The relationship between paediatric foot posture and body mass index: Do heavier children really have flatter feet? *Journal of Foot and Ankle Research*, 8, Article 46. <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0103-1>
- Evans, A. M., & Rome, K. (2011). A review of the evidence for non-surgical interventions for flexible flat feet in children. *Pediatric Physical Therapy*, 23(2), 173–180. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e318218f14d>
- Evans, A. M., & Rome, K. (2011). A review of the evidence for non-surgical interventions for flexible flat feet in children. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 47(2), 249–267.
- Fernández-Seguín, L. M., et al. (2014). "Effectiveness of customized foot orthoses in the treatment of foot pathologies." *Gait & Posture*, 39(2), 628–632.
- Ferrari, J., Hopkinson, D. A., & Linney, A. D. (2020). Foot posture classification: A review of current methods. *Foot and Ankle Surgery*, 26(6), 667–674. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.10.006>
- Foch, E., Milner, C. E., & Zhang, S. (2015). Foot and ankle biomechanics and running-related injuries. *Current Sports Medicine Reports*, 14(6), 456–463. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000197>

- Gefen, A. (2002). *Biomechanical analysis of the three-dimensional foot structure during gait: A basic tool for clinical applications*. *Journal of Biomechanics*, 35(5), 563–569.
- Gefen, A. (2003). Three-dimensional finite element analysis of the foot during standing. *Journal of Biomechanics*, 39(9), 1705–1712.
- Gijon-Nogueron, G., Ortega-Avila, A. B., & Cervera-Marin, J. A. (2018). Plantar pressure characteristics in elite and non-elite athletes: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 62, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.012>
- González, M., & Herrero, J. (2022). *Evaluación postural aplicada al deporte y la educación física*. Editorial Médica Panamericana.
- González, R., Martínez, M., & Ríos, C. (2020). Eficacia de los ejercicios correctivos en niños con alteraciones plantares. *Revista de Salud y Movimiento*, 7(1), 33-45. <https://doi.org/10.21455/rsm.2020.71.03>
- González-Elena, M. L., et al. (2020). "Evaluación del desarrollo del arco plantar en población escolar mediante huella plantar." *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 13(1), 34-41.
- González-Elena, M. L., Gómez-Melgar, J., & Cuesta-Vargas, A. I. (2020). Foot posture and risk of injury in sport: a systematic review. *Footwear Science*, 12(1), 27–42. <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1730513>
- González-Elena, M. L., Navarro-Flores, E., & Losa-Iglesias, M. E. (2019). Ergonomía del calzado según la huella plantar: una revisión. *Revista Española de Podología*, 30(3), 129–134. <https://doi.org/10.20986/revesppod.2019.1543/2019>
- González-Muñoz, E., Cejudo, A., & Santonja-Medina, F. (2019). Reliability and validity of footprint measurement and analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 12, 1-9.
- Gray, H., & Standring, S. (2020). *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice* (42.^a ed.). Elsevier.

- Gross, M., Davlin, L. B., et al. (2002). The effect of custom foot orthoses on stance and gait patterns. *The Journal of the American Podiatric Medical Association*, 92(6), 359–367.
- Hatala, K. G., Dingwall, H. L., Wunderlich, R. E., & Richmond, B. G. (2016). The relationship between foot morphology and the mechanics of walking and running in early hominins. *Nature*, 540(7632), 357–360. <https://doi.org/10.1038/nature20130>
- Hernández Corvo, F. J. (1982). Clasificación morfológica del pie mediante la huella plantar. *Apuntes de Educación Física*, 10(1), 15-21.
- Hertel, J. (2002). *Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability*. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 364–375.
- Hijmans, J. M., Geertzen, J. H. B., Zijlstra, W., Hof, A. L., & Postema, K. (2009). *Foot and ankle proprioception in standing and walking*. *Human Movement Science*, 28(4), 556–567.
- Holowka, N. B., Wallace, I. J., & Lieberman, D. E. (2019). Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally- vs. conventionally-shod populations. *Scientific Reports*, 9(1), 3679. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40751-4>
- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (1996). *Postural orientation and equilibrium*. En L. B. Rowell & J. T. Shepherd (Eds.), *Handbook of physiology. Section 12: Exercise: Regulation and integration of multiple systems* (pp. 255–292). Oxford University Press.
- Jiménez, M., Pérez, R., & Romero, J. (2018). *Evaluación clínica del pie: métodos tradicionales y tecnológicos*. *Revista de Podología*, 29(2), 55–62.
- Jiménez-Ormeño, E., et al. (2015). "Comparison of plantar pressure distribution measured by different devices." *Sensors*, 15(6), 14031-14040.
- Jonson, S. R., & Gross, M. T. (1997). Intraexaminer and interexaminer reliability of lower extremity skeletal measures. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(4), 253–263.

- Kapandji, I. A. (2020). *Fisiología articular: Miembro inferior* (6.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Kapandji, I. A. (2021). *Fisiología articular: Esquemas comentados de mecánica humana (Tomo 2)* (7.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Kelly, L. A., Cresswell, A. G., et al. (2014). Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(93), 20131188.
- Kernozek, T. W., & Ricard, M. D. (1990). Foot placement angle and arch type: effect on rearfoot motion. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71(12), 988–991.
- Kim, M. K., Lee, H. S., & Park, J. (2021). The influence of foot type on balance performance in adults. *Journal of Human Kinetics*, 77, 59–67. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0014>
- Kosashvili, Y., Fridman, T., Backstein, D., Safir, O., & Bar Ziv, Y. (2008). The correlation between pes planus and anterior knee or intermittent low back pain. *Foot & Ankle International*, 29(9), 910–913. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0910>
- Leardini, A., Benedetti, M. G., Berti, L., Bettinelli, D., Natio, R., & Giannini, S. (2007). *Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait*. *Gait & Posture*, 25(3), 453–462.
- Lee, M., Kim, T., & Kim, J. Y. (2020). Changes in foot posture index and plantar pressure according to aging. *Journal of Physical Therapy Science*, 32(7), 440–446. <https://doi.org/10.1589/jpts.32.440>
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., Mang'Eni, R. O., & Pitsiladis, Y. (2010). *Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners*. *Nature*, 463(7280), 531–535. <https://doi.org/10.1038/nature08723>

- Linares, D., & Ortega, M. (2022). El rol del docente en la corrección de la pisada infantil. *Educación Física y Pedagogía*, 24(3), 60-71. <https://doi.org/10.18566/efp.v24n3a5>
- López-Caballero, C., Ruiz-Muñoz, D., & Galván, E. (2021). Análisis visual del pie y su relación con trastornos de la marcha en población juvenil. *Revista Iberoamericana de Ciencias del Movimiento*, 17(3), 233–245.
- López-López, D., Losa-Iglesias, M. E., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Palomo-López, P., & Calvo-Lobo, C. (2019). Footprint parameters and body composition in children: A cross-sectional study. *BMC Pediatrics*, 19, 27. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1384-5>
- López-Miñarro, P. A., & Alacid, F. (2021). Evaluación funcional de la marcha y estrategias de intervención en el ámbito escolar. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 21(83), 689-702. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.83.006>
- Mancini, M., Salarian, A., Carlson-Kuhta, P., Zampieri, C., King, L., Chiari, L., & Horak, F. B. (2011). *ISway: A sensitive, valid and reliable measure of postural control*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 8(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-21>
- Martínez, C., & Herrera, L. (2023). Protocolos escolares para la evaluación de la huella plantar. *Educación y Salud Escolar*, 12(1), 45-54. <https://doi.org/10.24265/ese.2023.v12n1.04>
- Martínez-Bautista, J., Herrera, S., & Méndez, P. (2017). *Guía para el análisis funcional del pie en entornos escolares*. Editorial Educativa.
- Martínez-Cepa, C., Escamilla-Martínez, E., & Heredia-Rizo, A. M. (2019). Prevalencia de pie plano en escolares de 6 a 9 años. *Revista Española de Podología*, 30(1), 3–9. <https://doi.org/10.20986/revesppod.2019.1540/2019>
- Martínez-Milán, A., Sánchez-Ramírez, C., & López-Pérez, A. (2022). Evaluación de la huella plantar en pacientes con daño neurológico: una revisión

sistemática. *Fisioterapia*, 44(1), 23–30.
<https://doi.org/10.1016/j.ft.2021.02.002>

Martínez-Nova, A., & Sánchez-Rodríguez, R. (2014). Valoración de la huella plantar: aplicaciones clínicas y deportivas. *Revista Española de Podología*, 25(3), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.repod.2014.04.002>

McPoil, T. G., & Cornwall, M. W. (1994). Relationship between neutral subtalar joint position and pattern of rearfoot motion during walking. *Foot & Ankle International*, 15(3), 141–145.

Menz, H. B. (1998). Alternative techniques for the clinical assessment of foot pronation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 88(3), 119–129.

Menz, H. B., Latt, M. D., Tiedemann, A., Mun San Kwan, M., & Lord, S. R. (2006). *Foot and ankle characteristics associated with falls in older people: A prospective study*. *Gerontology*, 52(6), 398–403.

Menz, H. B., Morris, M. E., & Lord, S. R. (2005). *Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people*. *The Journals of Gerontology: Series A*, 60(12), 1546–1552.

Menz, H. B., Morris, M. E., & Lord, S. R. (2017). Foot problems and functional impairment in older people. *The Journals of Gerontology: Series A*, 71(8), 1096–1101. <https://doi.org/10.1093/gerona/glv098>

Mickle, K. J., Munro, B. J., & Steele, J. R. (2011). *Foot structure in children: Is flexibility related to flat feet?*. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 101(2), 161–168.

Milner, C. E., et al. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(2), 323–328.

Montoya, S., & Suárez, J. (2021). Actividades lúdicas para el desarrollo sensoriomotor del pie en edad infantil. *Revista Motricidad Infantil*, 10(2), 22–34. <https://doi.org/10.35670/motinf.v10n2.2021.03>

- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2020). *Anatomía con orientación clínica* (8.^a ed.). Wolters Kluwer.
- Morag, E., & Cavanagh, P. R. (1999). *Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking*. *Journal of Biomechanics*, 32(4), 359–370.
- Morasso, P., & Schieppati, M. (1999). *Can muscle stiffness alone stabilize upright standing?*. *Journal of Neurophysiology*, 82(3), 1622–1626.
- Moreno, J. L., et al. (2022). "La huella plantar como herramienta de evaluación biomecánica en fisioterapia." *Fisioterapia Actual*, 18(3), 15-22.
- Mosca, V. S. (2010). Flexible flatfoot in children and adolescents. *Journal of Children's Orthopaedics*, 4(2), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s11832-010-0223-9>
- Mueller, M. J., et al. (1994). Plantar pressure characteristics in patients with diabetes mellitus and peripheral neuropathy. *Journal of Biomechanics*, 27(10), 1156–1166.
- Müller, C., Carlsohn, A., Müller, S., & Baur, H. (2016). Influence of overweight and obesity on foot shape and plantar pressure in children. *Gait & Posture*, 44, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.11.003>
- Munro, C. F., Miller, D. I., & Fuglevand, A. J. (1987). *Ground reaction forces in running: A reexamination*. *Journal of Biomechanics*, 20(2), 147–155.
- Nachbauer, W., & Nigg, B. M. (1992). Effects of arch height of the foot on ground reaction forces in running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(11), 1264–1269.
- Nester, C. J., Liu, A. M., Ward, E., Howard, D., Cocheba, J., Derrick, T., & Lewis, A. (2001). *In vitro study of foot kinematics using a dynamic cadaver model*. *Journal of Biomechanics*, 34(7), 899–908.
- Neumann, D. A. (2016). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). Elsevier Health Sciences.

- Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3.^a ed.). Elsevier.
- Nigg, B. M., & Wakeling, J. M. (2001). Impact forces and muscle tuning: A new paradigm. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(1), 37–41.
- Nigg, B. M., Baltich, J., Hoerzer, S., & Enders, H. (2012). *Running shoes and running injuries: Mythbusting and a proposal for two new paradigms: "Preferred movement path" and "comfort filter"*. *British Journal of Sports Medicine*, 49(20), 1290–1294.
- Nix, S., et al. (2010). Prevalence and predictors of hallux valgus, a randomized population study. *Foot & Ankle International*, 31(10), 933–937.
- Novacheck, T. F. (1998). *The biomechanics of running*. *Gait & Posture*, 7(1), 77–95.
- Pérez, A., & Lozano, F. (2020). Juegos motores y desarrollo plantar: una propuesta escolar. *Revista de Didáctica Corporal*, 8(1), 17-25. <https://doi.org/10.5555/rdcorp.2020.8.1.03>
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function* (2nd ed.). SLACK Incorporated.
- Picciano, A. M., Rowlands, M. S., & Worrell, T. (1993). Reliability of open and closed kinetic chain subtalar joint neutral positions and navicular drop test. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(4), 553–558.
- Pita-Fernández, S., et al. (2017). "Foot morphology and its relationship with balance and mobility in older adults." *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 40(3), 136-142.
- Pita-Fernández, S., González-Martín, C., Alonso-Tajes, F., Seoane-Pillado, T., Pertega-Díaz, S., Pose-Becerra, C., & Seijas, M. A. (2015). Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(4), LC10–LC13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12452.5807>

- Pope, R. P., Herbert, R. D., & Kirwan, J. D. (2019). Effects of a preventative exercise program on injury and fitness in Australian Army recruits. *BMJ Military Health*, 165(4), 295–300. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001054>
- Puszczalowska-Lizis, E., Bujas, P., & Omorczyk, J. (2021). Changes in foot arch height and pressure distribution during pregnancy. *Gait & Posture*, 84, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.024>
- Ramírez, J. C., Gómez, P., & Díaz, S. (2022). Implicaciones del uso de plantillas ortopédicas en el desarrollo motor infantil. *Revista Colombiana de Educación Física*, 14(1), 90-102. <https://doi.org/10.33412/rcef.2022.141.08>
- Rao, N. G., & Moudgil, R. (2018). Estimation of stature from foot print and foot outline dimensions in Haryana region. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 58, 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2018.06.010>
- Rao, S., Huang, T. H., & Yamaguchi, T. (2021). Gait analysis in patients with Parkinson's disease using plantar pressure sensors: A systematic review. *Sensors*, 21(8), 2563. <https://doi.org/10.3390/s21082563>
- Razeghi, M., & Batt, M. E. (2002). Biomechanical analysis of the cadaver foot during the stance phase. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 2–7.
- Riddiford-Harland, D. L., Steele, J. R., & Storlien, L. H. (2020). Does obesity influence foot structure in prepubescent children? *International Journal of Obesity*, 24(5), 541–544. <https://doi.org/10.1038/s41366-020-0567-1>
- Rodríguez, H., & Escudero, G. (2023). Intervención interdisciplinaria para corregir patrones de pisada en niños escolares. *Revista de Educación Física y Ciencia*, 15(2), 108-121. <https://doi.org/10.35538/refc.v15n2.2023.06>
- Rodríguez-Castaño, J. G., Salazar-Rodríguez, C., & Pérez-Jiménez, A. (2018). Análisis de la huella plantar en niños entre 4 y 7 años. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 56(3), 290–297.

- Rodríguez-Rubio, P. R., et al. (2018). "Correlación entre la huella plantar y el tipo de pisada en niños escolares." *Revista Española de Podología*, 29(1), 12-18.
- Rolian, C., Lieberman, D. E., Hamill, J., Scott, J. W., & Werbel, W. (2009). *Walking, running and the evolution of the human foot*. *Journal of Anatomy*, 214(4), 484–495.
- Roman-Liu, D. (2019). *The foot: A review of the support function in the standing and gait*. *Ergonomics*, 62(4), 501–513.
- Romero-Franco, N., et al. (2019). "Foot posture and functional performance in young athletes." *Gait & Posture*, 70, 161-166.
- Root, M. L., Orien, W. P., & Weed, J. H. (1971). *Biomechanical examination of the foot. Volume 1: Theory and practice*. Clinical Biomechanics Corp.
- Rose, G. K., Welton, E. A., & Marshall, T. (1985). The diagnosis of flat foot in the child. *Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume*, 67(1), 71–78.
- Saladin, K. S. (2018). *Anatomía y fisiología: La unidad entre forma y función* (8.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Sánchez, L., & Gómez, C. (2020). Análisis postural y tipología de pie en escolares mediante huella plantar. *Educación Física y Salud*, 12(1), 44–50.
- Sánchez-Ramírez, C., López-Pérez, A., & Martínez-Milán, A. (2020). Evaluación baropodométrica en el seguimiento postquirúrgico del pie plano infantil. *Revista Española de Podología*, 31(1), 12–18. <https://doi.org/10.20986/revesppod.2020.1576/2020>
- Sangeorzan, B. J., Mosca, V. S., & Hansen Jr, S. T. (1995). *Surgical correction of the flexible flat foot in the child: A pathoanatomic study*. *Foot & Ankle International*, 16(3), 136–144.
- Song, J., Hillstrom, H. J., Secord, D., & Levitt, J. (1996). Foot type biomechanics. Comparison of planus and rectus foot types. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 86(1), 16–23.

Standring, S. (2021). *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice* (42.^a ed.). Elsevier.

Telfer, S., Abbott, M., Steultjens, M. P., & Rafferty, D. (2019). The use of dynamic pressure data in orthotic design and evaluation: Current knowledge and future directions. *Journal of Foot and Ankle Research*, 12, Article 16. <https://doi.org/10.1186/s13047-019-0336-8>

Teyhen, D. S., Shaffer, S. W., & Goffar, S. L. (2021). Identifying plantar pressure abnormalities: A critical tool for postural control assessment. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51(5), 225–234. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.10136>

Teyhen, D. S., Stoltenberg, B. E., Collinsworth, K. M., Williams, D. G., Molloy, J. M., & Childs, J. D. (2009). Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. *Clinical Biomechanics*, 24(4), 391–396. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.01.002>

Tiberio, D. (1987). *The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: A theoretical model*. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 9(4), 160–165.

Ukoha, U., Egwu, O. A., & Anyabolu, A. E. (2015). Footprint indices in adult Igbos of South Eastern Nigeria. *International Journal of Morphology*, 33(3), 1012–1018. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000300020>

Ustaömer, A., Ozçakar, L., & Yilmaz, O. (2022). Clinical implications of foot arch variations: Evaluation using plantar pressure mapping and 3D scanning. *Clinical Biomechanics*, 94, 105652. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2022.105652>

Villanueva, G., Muñoz, M. A., & Latorre, E. (2020). Podoscopía y exploración clínica del pie: una revisión sistemática. *Revista de Podología Clínica y Biomecánica*, 15(2), 45–52.

- Wegener, C., Hunt, A. E., Vanwanseele, B., Burns, J., & Smith, R. M. (2011). *Effect of children's shoes on gait: A systematic review and meta-analysis*. Journal of Foot and Ankle Research, 4(1), 3.
- Whittle, M. W. (2007). *Gait analysis: An introduction* (4^a ed.). Butterworth-Heinemann.
- Williams, D. S., & McClay, I. S. (2000). Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy*, 80(9), 864–871.
- Winter, D. A. (1991). *The biomechanics and motor control of human gait: Normal, elderly and pathological*. University of Waterloo Press.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4^a ed.). Wiley.
- Yavuz, M., Botek, G., & Davis, B. L. (2018). Plantar shear stress in individuals with diabetes and peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(9), 1806–1812.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.03.015>
- Young, C. C., Niedfeldt, M. W., Morris, G. A., & Eerkes, K. J. (2001). *Clinical examination of the foot and ankle*. Primary Care: Clinics in Office Practice, 28(1), 105–132.
- Zamarripa, J., et al. (2021). "Biomechanical evaluation of the foot in physical education." *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 21(84), 789-802.
- Zapata, L., & Méndez, A. (2022). Estrategias pedagógicas para la reeducación postural infantil. *Cuadernos de Educación Física*, 20(3), 55-67.
<https://doi.org/10.2139/cef.v20n3.2022.04>

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

MARTHA VIRGINIA TAPIA NAVARRO

Docente Investigadora en Educación y Ciencias del Movimiento de la Universidad del Atlántico. Magister en Educación con Mención en Gerencia Educativa. Especialista en Salud Ocupacional. Fisioterapeuta con énfasis en Salud Ocupacional. Asesora y Evaluadora de Proyectos de Investigación en Pregrado, Asesora en Sistema de Vigilancia Epidemiológica ARL. Experta Temática, curso virtual Seguridad e Higiene Deportiva. Grupos de Investigación GIDEPRALS-, GIIIO_Grupo de investigación ingeniería y Organización. Coordinadora del Semillero Ciencias del Movimiento.
marthatapia@mail.uniatlantico.edu.co

PARA CITAR EL LIBRO

Contreras Jáuregui, F., A., Tapia Navarro, M., V. & Velasteguí López, P., H. (2025). LA HUELLA PLANTAR EN LA EDUCACIÓN FÍSICA: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS, APLICACIONES BIOMECÁNICAS Y PREVENCIÓN POSTURAL. Recuperado desde: <https://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial/catalog/book/35>



Las opiniones expresadas por los autores no reflejan la postura del editor de la obra. El libro es de creación original de los autores, por lo que esta editorial se deslinda de cualquier situación legal derivada por plagios, copias parciales o totales de otras obras ya publicados y la responsabilidad legal recaerá directamente en los autores del libro.

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.

CORREOS Y CÓDIGOS ORCID

Autores

 Fabián Andrés Contreras Jáuregui

 <https://orcid.org/0000-0002-1666-XXXX>

 fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co

 Martha Virginia Tapia Navarro

 <https://orcid.org/0009-0000-6941-XXXX>

 marthatapia@mail.uniatlantico.edu.co

 Pablo Homero Velasteguí López

 <https://orcid.org/0009-0000-6941-XXXX>

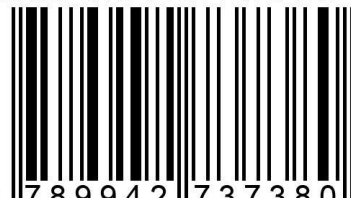
 pablovelastegui@cienciadigital.org

INNOVANDO EN EL ÁREA ACADEMICA



[DOI.ORG/10.33262/CDE.35](https://doi.org/10.33262/CDE.35)

ISBN: 978-9942-7373-8-0



9 789942 737380