

La pedigrafía: métodos de identificación en podología forense

Pedigraphy: Methods of identification in forensic podiatry

PABLO MARTÍNEZ-ESCAURIAZA PERAL¹
Colegio Oficial de Podólogos del País Vasco
ORCID: 0000-0002-3637-5934

ESTEBAN JUAN GARCÍA AGRA^{2,3}
Colexio Oficial de Podólogos de Galicia
ORCID: 0009-0002-0202-8341

CRISTINA GIL SEBASTIÁN^{2,4}
Colegio Oficial de Podólogos de Aragón
ORCID: 0009-0005-3841-8458

¹Director del Máster de Formación Permanente en "Podología Forense y Podiatría Forense - Investigación de la Escena del Crimen: Análisis Forense de Huellas de Pisadas". Jefatura de Estudios del Centro Superior de Estudios Criminológicos de la Sociedad Española de Criminología y Ciencias Forenses. email: podoforensespain@gmail.com. ²Profesor del Máster de Formación Permanente en "Podología Forense y Podiatría Forense - Investigación de la Escena del Crimen: Análisis Forense de Huellas de Pisadas" - Centro Superior de Estudios Criminológicos de la Sociedad Española de Criminología y Ciencias Forenses. ³email: oagradope@hotmail.com. ⁴email: cgilsebastian@gmail.com.

RESUMEN

En el desarrollo de la podología forense, con el análisis de huellas de pisadas, podemos cuantificar y dar visibilidad a la identidad humana, a través de patrones de la marcha mediante sistemas de análisis científicos que determinan la singularidad de la impronta de un sujeto. La pedigrafía, tanto analógica como digital, es una herramienta utilizada por el podólogo forense para abordar y respaldar diligencias judiciales, superando limitaciones y cubriendo carencias en el estudio de evidencias ante los tribunales. Este artículo destaca diversos métodos empleados en la resolución de crímenes a través de la información que aporta la pedigrafía.

PALABRAS CLAVE

podología forense, biomecánica forense, pedigrafía, huellas de pisada, perito judicial podólogo, investigación de la escena del crimen

ABSTRACT

In the field of Forensic Podiatry, through the analysis of footprints, we can quantify and bring visibility to human identity by examining gait patterns using scientific analysis systems that determine the uniqueness of an individual's imprint. Pedigraphy, both analog and digital, is a tool utilized by forensic podiatrists to address and support judicial proceedings, overcoming limitations and addressing deficiencies in the study of evidence presented in court. This article highlights various methods employed in solving crimes based on the information provided by pedigraphy.

KEYWORDS

forensic podiatry, forensic biomechanics, pedigraphy, footprints, podiatrist judicial expert, crime scene investigation



CON motivo del proceso de globalización y éxodo intercontinental continuo y reflejado en el flujo masivo de personas, incluidos delincuentes, y ante las necesidades de compartir conocimientos con un fin de aplicabilidad incursiva por parte del podólogo forense en equipos de trabajo, tanto en fuerzas y cuerpos de seguridad pública como en institutos de medicina legal y ciencias forenses, favoreciendo y acortando los tiempos en la repartición de cometidos, en la ejecución práctica y documentada de las diferentes diligencias periciales donde el pie, el calzado o la forma de caminar son relevantes para suplir esa información tan importante que por desconocimiento pasa inadvertida.

La *podología forense* o *podiatria forense*, es una disciplina médico legal que utiliza sus conocimientos teórico-prácticos en el esclarecimiento legal, tanto en casos de índole criminal como en valoración del daño corporal, donde tanto la marcha humana como el calzado o los patrones de marcha y tipos de pisadas entre otras, ofrece información relevante a los facultativos podólogos forenses especializados en la investigación de la escena del crimen.

Entre las diversas herramientas utilizadas para el estudio de las huellas de pisada, tanto en estática como en dinámica, se encuentran entre otros, las plataformas (de presiones y de fuerzas), los bancos de marcha, los podoscopios y los pedígrafos. Estos últimos, se encuentran tanto analógicos como digitales, y no sólo ofrecen información cualitativa, sino que, a través de los datos numéricos, es decir, cuantitativamente, se extraen resulta-

dos que se relacionan directamente con el sospechoso. Los datos obtenidos son sinérgicos entre todos ellos, ya que van enfocados a un mismo objetivo, no sólo diagnóstico, sino diferencial en el ámbito de las ciencias forenses, y por lo tanto, discriminatorio ante las posibles dudas o incertidumbres que puedan aparecer a lo largo del análisis de pruebas en el estudio y cotejo de la cadena de custodia preservada por la policía judicial.

Este artículo resalta y recaba información sobre los diferentes métodos utilizados y validados por la comunidad científica para la medición de las pedigrafías, y la utilización del pedígrafo como una herramienta fundamental en el ejercicio profesional de los podólogos forenses.

MATERIAL Y MÉTODOS

La pedimetría y la pedigrafía son dos términos que a menudo se usan indistintamente, pero que en realidad tienen significados diferentes. La pedigrafía es la creación de un registro gráfico de las características de la planta del pie. Se utiliza para evaluar la forma y la función de los pies, y para identificar anomalías como pies planos, pies cavos o dedos en martillo, mostrando también, la presencia de alteraciones tanto congénitas (sindactilia, braquidactilia, aracnodactilia, etc...), como adquiridas (helomas, hiperqueratosis, cicatrices, etc...). También muestra la presencia de sobrecargas. La pedigrafía se puede realizar utilizando diversos métodos, como el fotopodograma, el podograma digital y el podograma electrónico. La pedimetría es la medición y el estudio de los pies. Se utiliza para evaluar la

forma, la función y la salud de los pies. La pedimetría incluye una variedad de mediciones, como la longitud y el ancho del pie, la altura del arco del pie, la forma de los dedos y la fuerza de los músculos del pie. La pedimetría se puede realizar manualmente o con instrumentos especiales, como podómetros, podoscopios, escáneres 3D. En resumen, la pedigrafía es el registro gráfico de la planta del pie y la pedimetría es la medición de la pedigrafía.

Es el pedígrafo, un instrumento que se compone de una caja dotada en su interior de un dispositivo elástico de látex. La parte que no contacta con el pie se impregna interiormente de tinta mediante un rodillo. Entre la parte del látex y el fondo de la caja se pone una hoja de papel. Cuando apoyamos el pie sobre el látex, la parte entintada choca con el fondo de la caja donde se encuentra la hoja de papel y en esta queda registrada la huella plantar. A este registro se le conoce con el nombre de pedigrafía o sinónimamente plantigrafía. A través de este método de obtención resulta fácil observar qué tipo de huella presenta el paciente (normal, plana o cava) y las zonas de sobrecarga. Una vez se obtiene la pedigrafía, el perito podólogo forense puede trabajar con ella para obtener diferentes datos.

Para poder llevarlo a cabo es necesario reunir los siguientes elementos: Un pedígrafo, folios o cartulinas DIN-A4 o DIN-A3, tinta(s), un rodillo, una espátula punta romo marcadora perimetral, una escuadra y cartabón transparente, un testigo métrico forense, lápiz, borra, goma, bolígrafos de colores (negro, azul, verde, rojo), calculadora, pies en carga del sujeto y el podólogo forense como personal cualificado y capacitado para realizar la prueba. El perímetro del pie, debe realizarse con la espátula romo, vertical al plano horizontal tanto en la zona digital del antepié, como en el arco longitudinal externo e interno, así como en la zona talar, sin inclinación de ésta en ningún momento.

El pedígrafo analógico, es un instrumento en forma de caja con dos tapas, una superior y otra inferior. Al abrirlo queda como un libro y en el medio tiene una lámina de componente elástico que a su vez presenta dos caras, una inferior y otra superior. La cara superior será por donde el paciente apoye el pie, mientras que la inferior estará impregnada de tinta bien esparcida uniformemente mediante un rodillo. Debajo de esta



cara impregnada de tinta colocaremos un papel blanco, bajaremos la lámina e indicaremos al paciente que apoye su pie sobre la lámina, para que así su huella quede marcada sobre el folio blanco. Al apoyar el pie, la superficie entintada choca con el fondo de la caja, y la huella plantar quedará registrada sobre el papel en blanco. El pie debe apoyarse sobre la superficie uniformemente y de una vez. La distancia entre ambos pies debe ser la normal, y la posición cómoda para que la huella se marque lo mejor posible. Las zonas con más hiperpresión se marcarán con un color más oscuro, mientras que las de hipopresión se marcarán con un color más claro, o blanco.

Para la obtención de datos específicos, se realiza en estática un perímetro del pie con espátula romo en vertical y perpendicular al plano sobre la lámina de látex, y se marcan los puntos anatómicos de interés más prominentes:

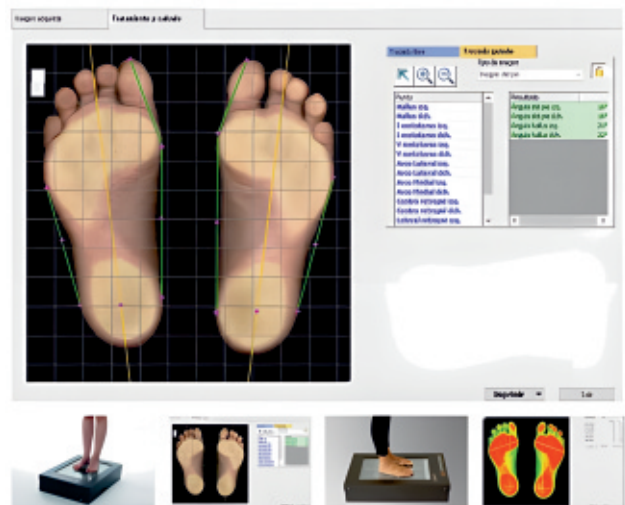
- Centro de talón.
- Centro del pulpejo frontal del 2º dedo.
- Ante y retrocapital de 1ª y 5ª cmmt.
- ALI – Escafoides–Navicular.
- Apófisis estiloides de 5º mtt.
- Apófisis de maléolo tibial y maléolo peroneal.

Existen tres tipos de pedígrafos analógicos:

- **Pedígrafos de tinta:** Estos pedígrafos utilizan una plancha de tinta para registrar la huella plantar.
- **Pedígrafos de polvo:** Estos pedígrafos utilizan un polvo especial para registrar la huella plantar.
- **Pedígrafos de papel:** Estos pedígrafos utilizan un papel especial para registrar la huella plantar.



Los pedígrafos digitales, son más modernos y ofrecen una mayor precisión. Utilizan sensores para registrar la huella plantar. La huella plantar se almacena en un ordenador y se puede analizar de forma digital. Las características principales de estos pedígrafos radican en su precisión, mayor que en los analógicos; y una mayor capacidad de almacenamiento y proceso de análisis de datos de la huella plantar. El paciente se coloca de pie sobre una superficie plana y firme. El pedígrafo se coloca debajo del pie del sujeto y registra la huella plantar del paciente. Un ejemplo gráfico es el Pedígrafo 2D – PODOSCAN 2D.



Existen tres tipos de pedígrafos digitales:

- **Pedígrafos de contacto:** Utilizan sensores que entran en contacto con la planta del pie para registrar la huella plantar.
- **Pedígrafos sin contacto:** Utilizan sensores que no entran en contacto con la planta del pie para registrar la huella plantar.
- **Pedígrafos 3D:** Registran la huella plantar en tres dimensiones.



ANÁLISIS DE LA HUELLA PLANTAR

Según la anatomía morfofisiológica y adquirida de las personas, se encuentran tres tipos de pies y por consiguiente a los resultados obtenidos tras la pedigrafía se obtienen diferentes tipos de huellas:

- **Pie normal:** Es el pie que contempla los rangos y grados de movimiento de los parámetros no alterados en referencia al resto de tipos de pies.
- **Pie cavo:** Se caracteriza por el aumento del arco longitudinal interno (ALI) del pie por la elevación de la bóveda plantar y por la aproximación de los pilares anterior y posterior del pie. Se acompaña de la verticalización de los metatarsianos y del calcáneo, garra de dedos, gran tensión de la estructura plantar y acortamiento de la musculatura dorsal. En la huella plantar, el arco longitudinal se observa más elevado, superando la inclinación angular radiológica de 120°-125°, horquilla numérica como valor de normalidad.
- **Pie plano:** Pie yatrogénico que carece de arco longitudinal interno tanto en carga (en bipedestación estática) como con el pie elevado (en descarga), lo que constituye una no aparición del arco y por causas adquiridas como congénitas, el esqueleto del pie se encuentra estructurado, como puede ser *el pie de Charcot*. El ángulo del ALI puede suponer 0° y una impedancia o alteración funcional en la marcha humana.



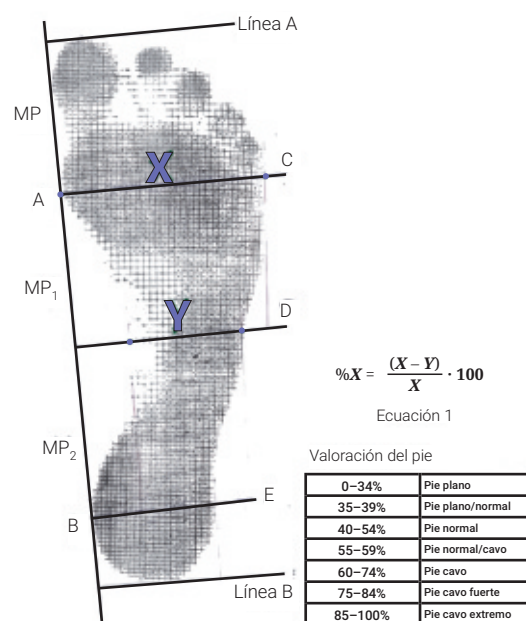
Índice Hernández Corvo

El *Índice de Hernández Corvo*, permite determinar el tipo de pie mediante un protocolo establecido, así el pie se tipifica según las medidas obtenidas a través de la imagen plantar, dando como resultado seis posibilidades que abarcan desde el pie plano hasta el pie cavo extremo. Este

índice presenta una buena precisión, tanto en la realización como en la clasificación del tipo de pie. Sobre cada huella se aplica el protocolo de valoración que se describe a continuación:

- Se traza una línea que una las dos prominencias más internas (**A** y **B**) de la huella plantar (línea **AB**) sin tener en cuenta los dedos.
- Desde la línea **AB** se traza dos líneas perpendiculares a los extremos anterior y posterior de la huella plantar (líneas **A** y **B**).
- Se traza una línea perpendicular a **AB** desde el punto **A** (línea **C**) y se obtiene el valor de la medida principal (**MP**), distancia entre líneas **A** y **C**. El valor **MP** es transportado sobre la línea **AB** las veces que sea posible y sobre cada intersección trazamos una línea perpendicular, las líneas **D** y **E**.
- Sobre el borde externo de la huella se trazan tres perpendiculares más: la primera desde la línea **B** y que corte a **E**; la segunda desde la línea **E** y que corte a **D**; la tercera desde la línea **D** y que corte a **C**. Y por último sobre el borde interno del arco plantar una línea perpendicular más que corte desde **E** a **D**.

Con estas líneas se puede determinar la anchura del metatarso (**X**) y la del arco externo plantar (**Y**), datos necesarios para aplicar la siguiente fórmula:

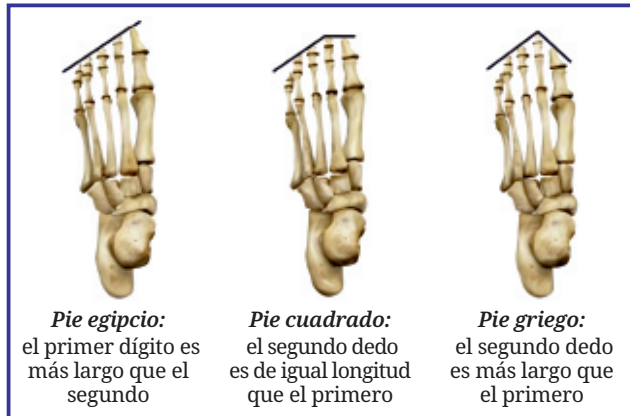


Puntos de referencia, ángulos y mediciones

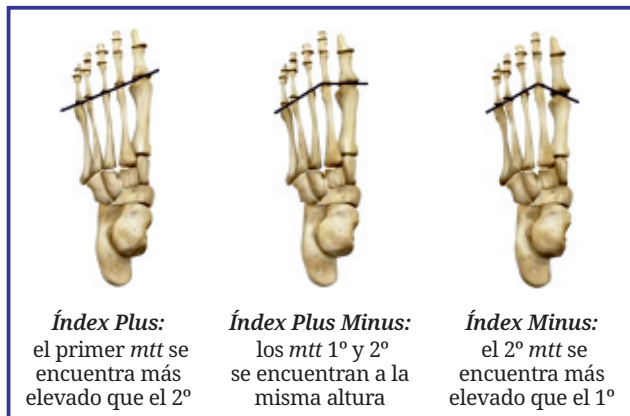
Fórmulas digital y metatarsal

La fórmula digital y metatarsal influyen en la morfología del pie, y su variabilidad condiciona el comportamiento biomecánico, el patrón de la marcha y las presiones plantares.

Podemos clasificar los pies en distintas tipologías en función de la longitud de los dedos y huesos metatarsianos.



Fórmula digital: nos muestra la terminación longitudinal de los dedos de los pies.



Fórmula metatarsal: nos muestra la terminación de los huesos metatarsianos (mtt) o cabezas metatarsales (cmtt).

Habitualmente la relación que se encuentra entre fórmula digital y fórmula metatarsal genéricamente es la siguiente, a excepción de malformaciones adquiridas y congénitas que puedan alterar la estructura ósea y morfológica del pie. Un **pie egipcio** va acompañado de una fórmula metatarsal **Índex Plus**. Un **pie griego** suele presentar una fórmula **Índex Minus**. Un **pie cuadrado** se suele asociar a una fórmula **Índex Plus Minus**.

Rockers

Es importante tener en consideración que los **rockers** o **momentos de fase de movimiento de los puntos de sobrecarga** pueden diferir entre el

sujeto está en estática o en dinámica. En cuanto a las sobrecargas clínicamente contempladas de la **biomecánica forense en podología**, se localizan el **Rocker I**, **Rocker II**, **Rocker III** y **Rocker IV**. La entresuela y el desgaste que se encuentran en la palmilla o plantilla interior del calzado por defecto, corroboran la morfología del sujeto sin estar necesariamente presente, y ofreciendo indicios previos para facilitar la búsqueda de sospechosos.

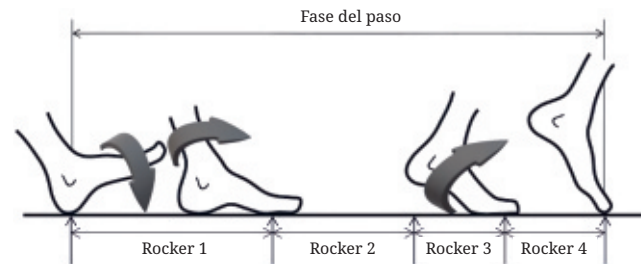


Diagrama de **rocker** funcional para análisis. Adaptado de Núñez-Trull et al., 2023, con permiso.

- **Rocker I:** El primer **rocker** de la marcha humana se refiere a la fase del paso durante la cual el talón del pie toca el suelo. En este momento, el tobillo está en una posición de dorsiflexión, lo que permite una transición suave hacia la siguiente fase de la marcha. Esta etapa es esencial para absorber el impacto y proporcionar estabilidad antes de que el pie se eleve para avanzar en el siguiente paso.
- **Rocker II:** Durante la fase de apoyo, el aumento de presión en radios centrales localizados, generalmente, 2º y 3º metatarsianos, radiológicamente visible, debido a un descenso de éstos, y compatible a la fórmula metatarsal de un índice minus, se puede observar un aumento de hiperqueratosis localizada central en la zona de apoyo y verificable en la propia pedigrafía.
- **Rocker III:** Por el contrario al **Rocker II**, en este caso, igualmente visible radiológicamente, la hiperqueratosis pasa de ser localizada a difusa, es decir, el desorden longitudinal de la morfología metatarsiana, al repartir las fuerzas en el antepié nos indica que existe un aumento de apoyo repartido en la zona de mayor generación de tejido queratósico en la primera capa de la epidermis como sustituta y en compensación a la carencia de tejido graso o adiposo que ejerce de amortiguación de los metatarsianos de radios menores.

- **Rocker IV:** En esta fase de despegue y propulsión de la marcha, encontraremos reflejado en el sustrato la denominada *huella fantasma*, lo que nos indica que el sujeto se encontraba en dinámica y no en estática, ya que hay un desplazamiento visible del primer dígito en contacto con la sustancia en que se encuentra impregnada la huella de pie desnudo o calzado en contacto con el sustrato o superficie dónde queda plasmada. El efecto fantasma es la presencia de una doble imagen. En la parte posterior del talón y en los ápices de los dedos de la impresión donde la imagen interior es más oscura y la imagen exterior es más ligero. El efecto fantasma en el talón se relaciona con una extensión hacia atrás de la grasa plantar del talón durante la fase de postura de la marcha, desde los dedos de los pies hasta el levantamiento de los dedos de los pies al inicio de la fase de balanceo de la marcha.



Fórmula Altura del Escafoides Truncada – Fórmula AET (Cowan, 1993)

Se calcula dividiendo la altura del escafoides entre la longitud truncada de la huella en centímetros, es decir, entre la longitud de la impresión plantar exceptuando los dedos. Para ello, necesitamos previamente la obtención de la huella plantar, así como el cálculo manual o el análisis fotográfico sagital del pie. Dentro de la cuantificación de esta prueba encontramos la citada por Murley (2009), aunque no existe un protocolo de clasificación para los distintos tipos de pie, la medida normal de la altura del escafoides truncada entre 0.22-0.31. Según los autores, proporciona la representación más válida del esqueleto óseo del pie de forma indirecta (Menz y Munteanu, 2005), y según Murley (2009) presenta la mayor correlación respecto a las medidas angulares tomadas por radiografía (evitando de esta forma

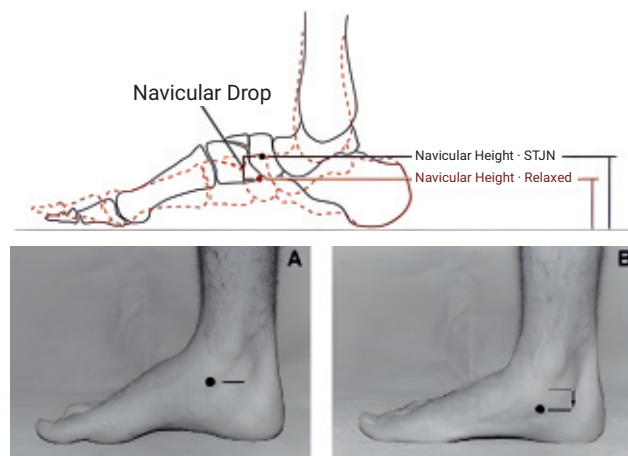
dicha exposición). Por último, Cowan (1993) registra la altura del escafoides, medida de forma manual, y su correspondencia con el tipo de pies:

$$AET = \frac{\text{Altura del escafoides}}{\text{Longitud truncada de la huella}}$$

- **Plano:** 2,72–4,08 cm.
- **Normal:** 4,09–5,08 cm.
- **Cavo:** 5,09–6,05 cm.

Según Brody, valores inferiores a 10–15mm reflejan la normalidad y valores superiores a 15mm indican anormalidad. Posteriormente, Loudon (1996), estableció la clasificación más utilizada para dicho test:

- **Normalidad:** de 6 a 9mm.
- **Anormalidad:** 10mm o más.



Índice del arco o Arch Index (Cavanagh y Rodgers, 1987). IA.

Se obtiene la proporción entre las áreas de contacto (antepié, mediopié y retropié) de las diferentes partes de la huella plantar, excluyendo los dedos. Previamente, habrá que tomar el eje axial del pie, siendo ésta la línea que va desde el centro del talón hasta lo más alto del segundo dedo. Esta medida es un predictor válido de la altura del arco interno del pie (Menz y Munteanu, 2005), permitiendo analizar incluso las huellas de pies cavos extremos, siendo uno de los parámetros más citados en la literatura. Para su cálculo, se recomienda la obtención previa de la huella plantar estática en apoyo bipodal, su digitalización y su posterior análisis mediante el

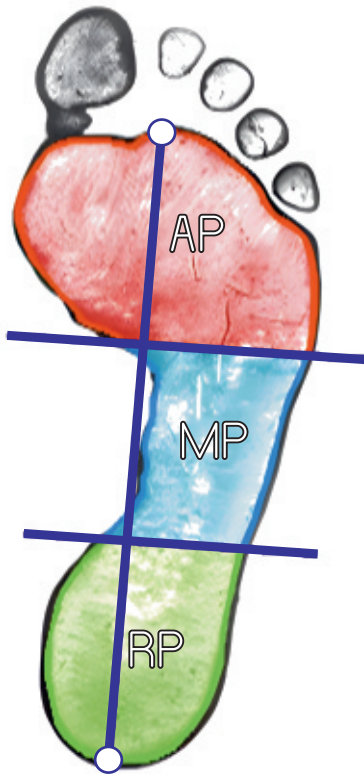
programa informático específico desarrollado por Aguado, Izquierdo y González (1997) denominado AreaCalc. Un valor menor en el índice representa un pie más cavo.

Según los autores, el resultado obtenido por la ecuación del **índice del arco** determinará el tipo de pie según los centímetros cuadrados:

- **Cavo:** cuando es menor de 0,21.
- **Normal:** entre 0,21 y 0,26.
- **Plano:** mayor de 0,26.

$$IA = \frac{MP}{AP + MP + RP}$$

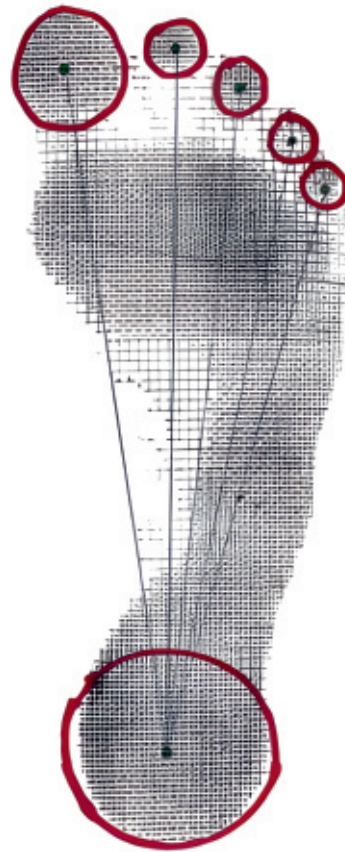
IA: índice del arco; AP: antepié; MP: mediopie; RP: retropié.



MÉTODOS DE MEDICIÓN DE HUELLAS BIDIMENSIONALES

Método centro óptico

Es un método que utiliza centros ópticos como puntos de referencia. Para ello se realiza un círculo concéntrico de la parte del talón en la huella plantar, y a continuación cinco círculos concéntricos correspondientes a los pulpejos de cada dedo reflejados en la huella plantar. A continuación, se marca el centro de cada círculo (centro óptico).

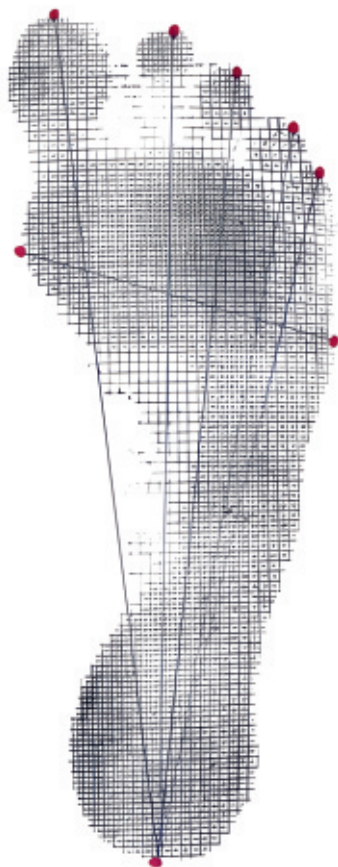


Se trazan 5 líneas desde el centro óptico del círculo del talón hasta el centro óptico del círculo del pulpejo de cada dedo del pie. Por último, se traza una línea de la parte más ancha del pie.

Cuando están todas las líneas trazadas, se procede a su medición, obteniendo datos cuantificables que se utilizan para la comparación de huellas.

Método Gunn

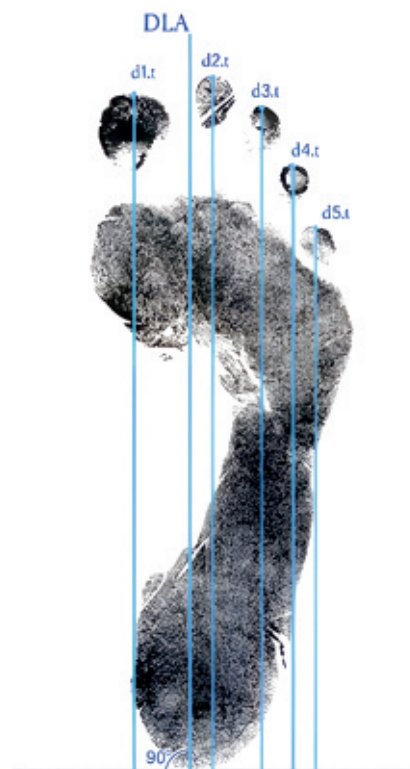
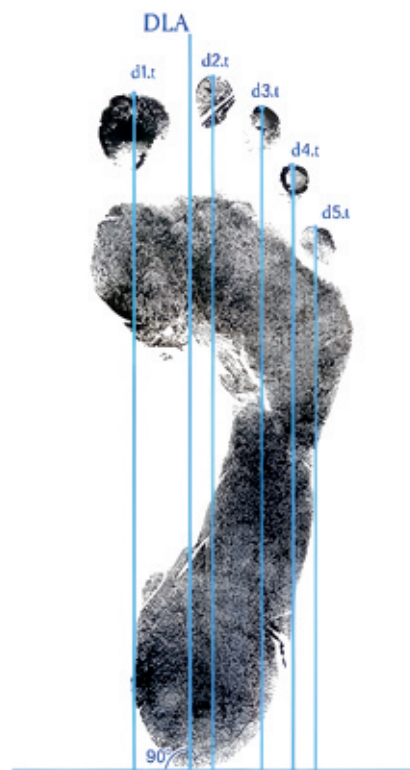
La técnica comienza con el dibujo de seis líneas. Las cinco primeras líneas se trazan desde el punto más posterior y saliente del talón hasta el punto más anterior de la punta de cada dedo. A continuación se traza una línea que sería la parte más ancha de la zona metatarsiana (desde el punto más saliente en el lado interno, al punto más saliente en el lado externo). Esta línea cruza a las otras cinco líneas. Cuando están todas las líneas trazadas, se procede a la medición de las mismas, a partir de ahí se obtienen unos datos cuantificados que se utilizan para la comparación entre huellas. Para obtener mayor fiabilidad, se pueden trazar líneas adicionales que nos aportarían un mayor número de datos. En caso de tener que comparar la pedigrafía con una huella parcial obtenida en la escena, se tomarán otros puntos de referencia.



por asesinato de O. J. Simpson y el caso del asesinato de Jon Benet Ramsey. El método también se ha utilizado para identificar víctimas de desastres naturales, como el tsunami del Océano Índico de 2004 y el terremoto de Haití de 2010.

Método Robbins

Es un método cuantificable, desarrollado en 1980 por la antropóloga forense Louise Robbins. Mide las dimensiones de 14 puntos clave en una huella o huella de calzado. Estas medidas se comparan con una base de datos de huellas conocidas o impresiones de calzado para determinar si las dos impresiones provienen de la misma fuente. El método se considera muy preciso, con una tasa de error informada de menos del 2% y muy utilizada en la resolución de casos criminales. El método utiliza mediciones precisas para comparar huellas e impresiones de calzado. Esto lo hace más objetivo y confiable que los métodos que se basan en evaluaciones subjetivas. El método tiene en cuenta la forma y estructura general de la huella o la impresión del calzado, así como las medidas individuales. Esto hace que sea más probable identificar diferencias sutiles entre las impresiones. Basado en bases de datos: el método utiliza una gran base de datos de huellas e impresiones de calzado conocidas para comparar nuevas impresiones. Esto permite identificar incluso las diferencias más pequeñas entre impresiones. El **método Robbins** se ha utilizado en una variedad de casos de alto perfil, incluido el caso

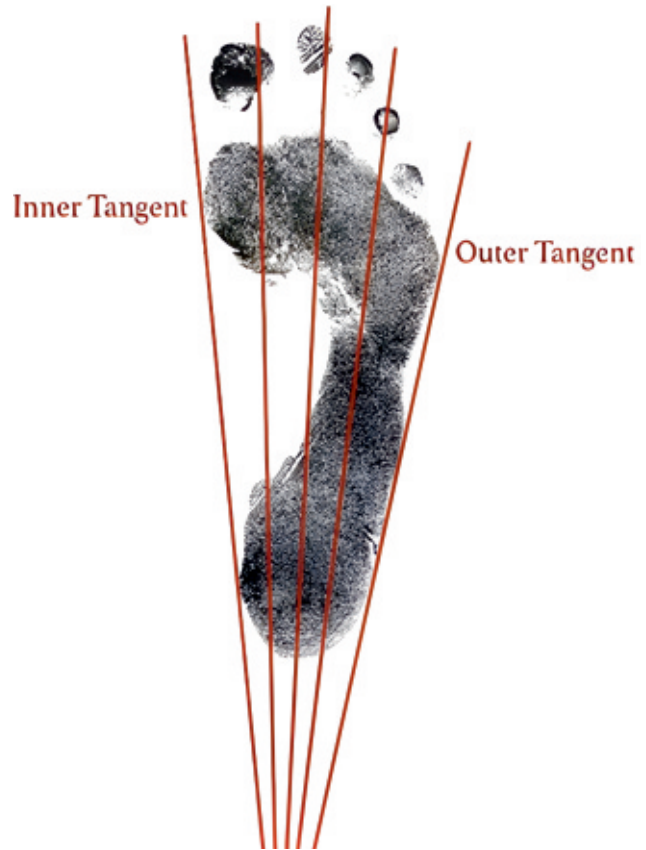


Los 14 puntos que se miden en el *método Robbins* son los siguientes:

- **Longitud del pie:** Se mide desde la punta del dedo más largo hasta el talón.
- **Anchura del pie:** Se mide en la parte más ancha del pie, generalmente a la altura de la base de los dedos.
- **Anchura del arco:** Se mide en la parte más estrecha del arco, generalmente a la altura de los metatarsianos.
- **Longitud del dedo gordo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del segundo dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del tercer dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del cuarto dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del quinto dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Anchura del dedo gordo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del segundo dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del tercer dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del cuarto dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del quinto dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.

Estos puntos se miden con un calibrador de precisión, y los datos se registran en una hoja de cálculo. Las mediciones se comparan luego con una base de datos de huellas conocidas para determinar si las dos huellas provienen de la misma fuente. Los puntos 1 a 5 miden las dimensiones generales del pie, mientras que los puntos 6 a 14 miden las dimensiones de los dedos. Los puntos 8 a 11 miden la anchura de los dedos a la altura de la articulación metatarsofalángica, que es la articulación más cercana a la punta del pie.

Método Rossi



El *Método Rossi* y el *Método Robbins* son dos métodos cuantitativos para analizar huellas y calzado. Ambos métodos utilizan mediciones precisas para comparar huellas y calzado, pero existen algunas diferencias clave entre los dos métodos:

- **Diferencias en las mediciones:** El Método del italiano Stefano Rossi mide 12 puntos en una huella, mientras que el Método Robbins mide 14 puntos. Los puntos medidos por los dos métodos son similares, pero hay algunas diferencias clave. Por ejemplo, el Método Rossi mide la anchura del arco en la parte más estrecha del arco, mientras que el Método Robbins mide la anchura del arco en la parte más estrecha del arco, generalmente a la altura de los metatarsianos.
- **Diferencias en el análisis:** El Método Rossi utiliza un análisis estadístico para comparar huellas y calzado. El Método Robbins utiliza un análisis visual y estadístico para comparar huellas y calzado. El análisis visual del Método Robbins ayuda a identificar diferencias sutiles entre huellas que pueden no ser detectadas por el análisis estadístico.

- **Diferencias en la precisión:** Ambos métodos han sido probados en estudios de laboratorio y han demostrado ser precisos. El Método Rossi tiene una precisión de identificación de aproximadamente el 99%, mientras que el Método Robbins tiene una precisión de identificación de aproximadamente el 98%. En general, el Método Robbins es un método más preciso que el Método Rossi. El Método Robbins utiliza más mediciones y un análisis más completo para comparar huellas y calzado. El Método Rossi es un método más sencillo de aprender y usar, pero puede ser menos preciso que el Método Robbins.

Los 12 puntos medidos en el Método Rossi son los siguientes:

- **Longitud del pie:** Se mide desde la punta del dedo más largo hasta el talón.
- **Anchura del pie:** Se mide en la parte más ancha del pie, generalmente a la altura de la base de los dedos.
- **Anchura del arco:** Se mide en la parte más estrecha del arco, generalmente a la altura de los metatarsianos.
- **Longitud del dedo gordo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del segundo dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del tercer dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del cuarto dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Longitud del quinto dedo:** Se mide desde la punta del dedo hasta la base de la uña.
- **Anchura del dedo gordo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del segundo dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.
- **Anchura del tercer dedo:** Se mide en la parte más ancha del dedo, generalmente a la altura de la articulación metatarsofalángica.

Para tomar las mediciones, se utiliza un calibrador de precisión. El calibrador se coloca sobre la huella y se lee la medición. Las mediciones se registran en una hoja de cálculo. Las mediciones se comparan luego con una base de datos de huellas conocidas para determinar si las dos huellas provienen de la misma fuente.

Método Reel (Charles)

Charles Reel lo descubrió en la década de 1970. Es un método más cualitativo, pero no por ello menos efectivo ya que, esto significa que se basa en la observación de características específicas de las huellas, e identifica las siguientes características de las huellas del pie y el calzado para compararlas:

- **Forma de los dedos:** El analista observa la forma general de los dedos, como la longitud, la anchura y la curvatura.
- **Anchura del arco:** El analista observa la anchura del arco, que es la parte más estrecha de la planta del pie.
- **Forma de la planta del pie:** El analista observa la forma general de la planta del pie, como la longitud, la anchura y la curvatura.
- **Características individuales:** El analista observa características individuales de las huellas, como las marcas dejadas por callos, cicatrices o deformidades.

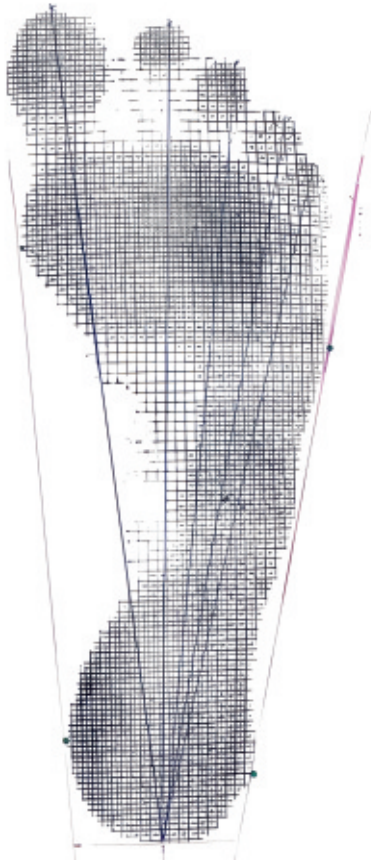
El analista compara estas características para determinar si las huellas provienen de la misma fuente. El Método Reel es un método subjetivo, por lo que la precisión del análisis depende de la experiencia y la pericia del analista. Sin embargo, el Método Reel es un método eficaz para analizar huellas y calzado y puede ser una herramienta valiosa para los investigadores forenses.

Método Reel (Sara) 2012

El método Reel, es similar al de Gunn, pero con pasos adicionales para definir el aspecto más trasero del talón. El procedimiento consiste en lo siguiente:

- Las tangentes interior y exterior de la huella se identifican y se cortan para crear un "eje central".
- Se coloca una cuadrícula sobre la imagen, que luego se gira hasta que el eje central esté alineado en paralelo con la cuadrícula.
- Se dibuja una línea horizontal (línea del talón) para atravesar el píxel más próximo del talón como se muestra en esta nueva alineación
- Donde el eje central y la línea del talón se cruzan, se dibujan cinco líneas en los vértices de cada dedo del pie.

- Se dibujan las partes más anchas del talón y la bola de la huella, como lo muestran las tangentes internas y externas.



Metodología por superposición

Es una visualización cualitativa comparativa que busca correlación de la huella sin contaminación de la original para el proceso de análisis y verificación morfológica de la encontrada en el escenario de un crimen.

En este método se traza el perímetro de la huella el cual se utilizará para la comparación de las huellas encontradas en la escena del crimen para comparar la similitud de ambas.



Método DiMaggio

Este método (2005) es una modificación del método de superposición en el cual se agregaron términos descriptivos a las diversas características morfológicas aparentes en la huella desnuda.

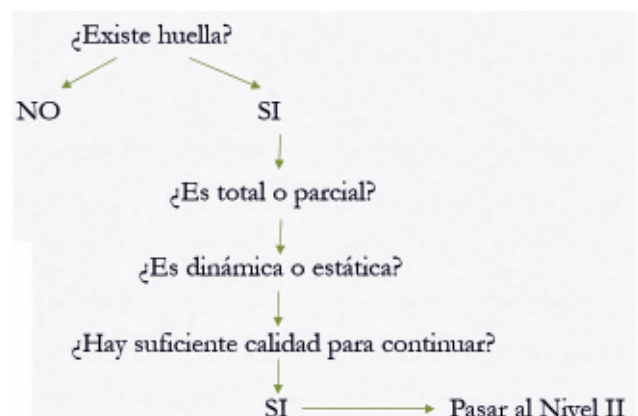


Este método va realizando un rastreo del contorno de una huella testigo colocándola sobre la huella de la escena del crimen que se está examinando, de tal manera que permite la comparación de las características de estas dos huellas para determinar la compatibilidad.

Las zonas del pie (antepié, mediopie y retropié) permiten el análisis proporcional, sobre todo en huellas plantares incompletas o parciales.

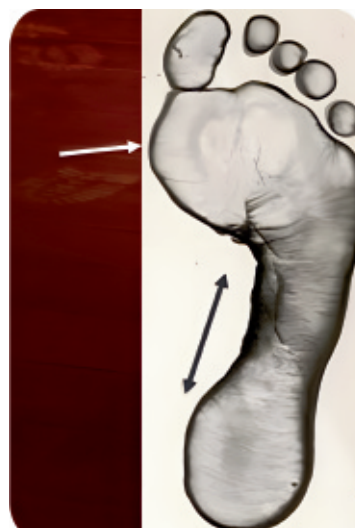
Otras características comparables son: la posición, la forma, el detalle del contorno de los dedos de los pies, la línea externa del espacio interdigital, la línea de la cresta interdigital, la línea lateral, la línea del arco y la línea del talón. También se tiene en cuenta las deformidades de los tejidos blandos, las cicatrices y las arrugas de la huella.

Nivel 1



Nivel 2 – Dedos

- Posición relativa de los dedos entre sí.
- Tamaño y longitud de los dedos.
- Forma y contorno.
- Dedos que no apoyan.
- Superficie de apoyo del dedo.



Método ACE-V DiMaggio

Assessment = Evaluación

Comparison = Comparación

Evaluation = Evaluación

Verification = Verificación

Nivel 3 – Líneas de identificación

- Dermatoglifos.
- Línea del arco.
- Línea posterior del pie.
- Línea del talón.
- Contorno del espacio interdigital.



- Análisis de la huella:
 - Contorno descalzo.
 - Longitud y anchura del pie.
 - Altura del Arco.
 - Patrón digital.
 - Zonas de presión.
 - Morfología.
 - Patrón papilar y dermatoglifos.
- Básicamente el pie se compone de tres zonas:
 - Antepié. 40% de la carga.
 - Mediopié. 30%.
 - Retropié. 30%.
- Líneas de Identificación:
 - Talón.
 - A.L.E – Arco Longitudinal Externo.
 - Arco Longitudinal Interno.

Nivel 4 – Desequilibrios morfológicos-morfoanatómicos

- Alteraciones estructurales.
- Dedos en garra.
- Hallux Valgus.
- Deformidades esqueléticas por artropatías.
- Alteraciones del arco.



Baropodometría

El uso de la baropodometría digital en estudios forenses en escenas del crimen se relaciona con los cuatro balancines de la marcha humana al proporcionar información sobre la distribución de la presión plantar durante el ciclo de la marcha. Los cuatro balancines de la marcha son el *Rocker I* del talón, el *Rocker II* de la parte media del pie, el *Rocker III* del antepié y el *Rocker IV* del dedo del pie.

La baropodometría digital permite medir y analizar de manera precisa la presión ejercida en diferentes áreas del pie durante la marcha. Esto proporciona información detallada sobre cómo se distribuye la carga en el pie y cómo se producen los movimientos de los balancines durante el ciclo de la marcha. Estos datos pueden ser útiles en la identificación de patrones de marcha específicos y en la comparación de huellas de pisadas en la escena del crimen.

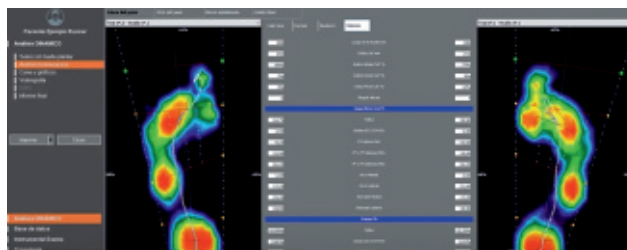
En comparación con la baropodometría analógica con tinta, la baropodometría digital ofrece varias ventajas. En primer lugar, la baropodometría digital proporciona mediciones más precisas y objetivas, ya que utiliza sensores electrónicos para capturar la distribución de la presión plantar. Esto elimina la subjetividad asociada con la interpretación de las huellas de pisadas en papel con tinta.

Además, la baropodometría digital permite una recopilación de datos más rápida y eficiente, ya que los sensores electrónicos registran automáticamente la presión plantar sin la necesidad de aplicar tinta en los pies. Esto facilita el análisis de un mayor número de huellas de pisadas en un período de tiempo más corto.

Otra diferencia importante es que la baropodometría digital permite el análisis de la marcha en tiempo real, lo que significa que se pueden obtener datos sobre la distribución de la presión plantar durante la marcha en movimiento. Esto proporciona una visión más completa y precisa de los patrones de marcha de un individuo en comparación con la baropodometría analógica, que solo puede capturar una instantánea estática de la presión plantar.

En resumen, la baropodometría digital en estudios forenses en escenas del crimen se relaciona con los cuatro balancines de la marcha humana al proporcionar información sobre la distribución de la presión plantar durante el ciclo de la marcha. En comparación con la baropodometría analógica, la baropodometría digital

ofrece mediciones más precisas, una recopilación de datos más rápida y eficiente, y la capacidad de analizar la marcha en tiempo real.



Fotopodograma

Es una impresión de la planta del pie realizada en un papel fotográfico. Descrito por Viladot (1989, 1992) nos permitirá obtener registros válidos, duraderos y de alta calidad (Aguado, Izquierdo y González, 1997). Se recoge el contorno objetivo de la porción del pie que se apoya, aportando una buena impresión de la huella plantar sin ensuciar la planta del pie con tintas.

Método-Técnica Radiofotopodograma

En 1962 Roig Puerta y Viladot describió el radiofotopodograma. Esta técnica permite obtener de manera simultánea un fotopodograma y una imagen radiográfica del pie en proyección dorso-plantar, con una técnica de radiografía bifocal. Esto es posible porque la placa radiográfica está cubierta de emulsión por ambas caras, por lo que en una de ellas queda impresa el fotopodograma y en la otra, la radiografía. Es una técnica de gran utilidad en el diseño de ortesis plantares a medida para el paciente, de tipo LeLievre o por elementos, ya que para colocar las piezas en las plantillas se toman referencias y longitudes anatómicas, que en el caso de no existir el radiofotopodograma se tomarían medidas antropológicas estándar, lo que no sería un tratamiento ortopédico totalmente a medida. Se usa por la correlación que aporta sobre zonas de hiperpresión y estructura esquelética.

Primero se estudia la huella. Se valorará el apoyo o no de todos los dedos, la forma oval o alargada del antepié. El istmo (zona que une el antepié con el retropié) normalmente tiene una anchura de un tercio del antepié; si ocupase más, sería compatible con un pie plano y si estuviese perforado o no existiese se trataría de un pie cavo. La zona de retropié debe ser de forma ovoide y nos indica cómo es el apoyo del calcáneo. Se debe trazar el eje longitudinal del pie: línea que



empieza en la parte posterior del calcáneo y pasa bien por el segundo metatarsiano, o bien por el espacio que hay entre el segundo y el tercer metatarsiano. Esta línea divide al pie en dos partes, lo que nos permitirá medir el índice de valgo de posición del calcáneo con el eje longitudinal del pie. Para obtener la huella plantar, se pincela la planta del pie con fijador y se apoya directamente sobre la placa, con lo que el hiposulfito de la solución fijadora disuelve los haluros de plata en las zonas donde el pie contacta con la emulsión. Esta maniobra se realiza con la habitación iluminada con luz roja, así se evita que la placa se vea. El haz de rayos se proyecta de forma vertical sobre la articulación cuneometatarsal interna para visualizar el metatarso y los dedos. La pierna se encontrará situada hacia atrás, lo mismo que toda la extremidad contralateral. En una segunda exposición para radiografiar el retropié, el paciente avanza la extremidad opuesta, con lo que el pie examinado permanece fijo sobre la placa, aunque este segundo disparo tiende a no realizarse por las superposiciones que pueden crear, dando artefactos no deseados. Seguidamente se lava la placa y se procede al revelado, como si se tratara de una radiografía corriente. Con este método comprobamos que la huella plantar del apoyo anterior corresponde a todas las articulaciones metatarsofalángicas. La ventaja de este método está en que a las utilidades del fotopodograma se le suma la obtención de una imagen radiográfica del pie, lo que facilita tanto el estudio independiente de cada uno de ellos, como

la superposición de la imagen radiológica con su correspondiente huella plantar. Esto permite valorar las zonas de presión con más precisión.

CONCLUSIONES

Las huellas de pie descalzo como la palmilla interior o desgaste en interior del calzado, más allá de la extracción de ADN, palinología adherida georeferenciadora de la suela del calzado, ropa (calcetines, medias, bajos del pantalón) o cierres como velcro o cordones de zapatos, toxicología, u otros, ofrecen una correspondencia morfológica del pie a estudio por el perito podólogo forense. La pedigrafía es una herramienta útil en el esclarecimiento delictivo. Es un medio rápido de obtención de la huella y puede realizarse de una manera fácil y limpia, además este método puede obtener huellas en dinámica o en estática. Se realiza de forma económica, segura y no invasiva o cruenta. Sumada esta prueba a otras realizadas como pueden ser radiografía, ecografía, resonancia magnética o tomografía computerizada entre otras, supone reforzar mediante base científica los datos inicialmente adquiridos en las diligencias periciales.

La consideración y capacitación profesional del podólogo forense en calidad de facultativo investigador de la escena del crimen, tanto en la resolución de hechos delictivos como en el ámbito criminalístico y judicial, ayuda a esclarecer los resultados inicialmente obtenidos por la policía científica y los institutos de medicina legal y de ciencias forenses. ■

RECURSOS WEB

- <https://doi.org/10.2147/RRFMS.S241264>
- <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/126131/1/133608.pdf>
- [https://www.elsevier.es/es-revista-imagen-diagnostica-308-articulo-tecnica-del-radiofotopodograma-S2171366911700270-DOI:10.1016/S2171-3669\(11\)70027-0](https://www.elsevier.es/es-revista-imagen-diagnostica-308-articulo-tecnica-del-radiofotopodograma-S2171366911700270-DOI:10.1016/S2171-3669(11)70027-0)
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2772400/>
- https://emasf2.webcindario.com/EmasF_60.pdf
- <https://www.ortomecanica.com/blog/221>
- https://www.researchgate.net/publication/350588558_Forensic_Review_Paper_on_Various_Methods_Used_in_Forensic_Podiatry

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, C. y REEL, S. (2022). The use of pedimetry in forensic science. *Journal of Forensic Science*, 67(1), 269–276.
- COUCEIRO SÁNCHEZ E. (2020). Prevalencia de patología podológica y calidad de vida en pacientes transplantados renales. [Tesis doctoral].
- FOWLER, S. (2023). *Foot Biomechanics and Clinical Applications*. Springer.
- GARCÍA GONZÁLEZ, L. A. *et al.* (2020). *Podología: diagnóstico y tratamiento*. Editorial Panamericana.
- GARCÍA-GUTIÉRREZ, J. A. *et al.* (2015). Pedigrafía: una técnica de evaluación de la pisada. *Revista de Podología*.
- GARCÍA-GÓMEZ, M. J. *et al.* (2019). Fotopodograma: una herramienta de diagnóstico no invasiva y precisa para los problemas de los pies. *Revista Española de Podología*.
- GARCÍA-GÓMEZ, J. M. y GARCÍA-GÓMEZ, M. J. (2018). El fotopodograma en la práctica clínica. *Podología Clínica*.
- GARCÍA AGRA, E. J. *et al.* (2023). Podología forense: definición, clasificación y análisis de huellas de pisadas. *Quadernos de criminología*, 63, 38–44.
- GARCÍA AGRA, E. J. y MARTÍNEZ-ESCAURIAZA PERAL, P. (2023). Aportes de la Podología forense en la investigación de la escena del crimen. *VII Seminario Nacional de Criminología*, 61, 36–45.
- KERRIGAN, D. y CAVANAGH, P. (2022). *The Foot and Ankle: Biomechanics, Pathomechanics, and Clinical Applications*. Elsevier.
- ROBBINS L. (1987). Anthropological Footprint Analysis: A New Technique for Forensic Identification. *Journal of Forensic Sciences*, 32(2), 331–339.
- MARTÍNEZ-ESCAURIAZA PERAL, P. *et al.* (2018). El podólogo forense en la escena de un crimen, una nueva perspectiva de la podología. [Número extraordinario]. *Congreso Nacional de Podología 2017*, 29(1).
- MARTÍNEZ-ESCAURIAZA PERAL, P. (2021, 2022, 2023). *Máster en Formación Permanente de Podología Forense y Podiatría Forense · Investigación de la Escena del Crimen: Análisis Forense de Huellas de Pisadas*. SECCIF-CSEC.
- MIRANDA, A. N. *et al.* (2020). *Análisis Forense de Huellas de Calzado*. Campus forense ediciones.
- NIRENBERG, M. *et al.* (2020). Chasing ghosts: An investigation of the ghosting phenomenon in footprints. *Science & Justice*, 60(5), 432–437.
- NÚÑEZ-TRULL A. *et al.* (2023). Does Lower-Limb Tendon Structure Influence Walking Gait? *Healthcare*, 11(24), 3142. <https://doi.org/10.3390/healthcare11243142>
- REEL, C. (1979). Footwear Evidence: Identification, Comparison, and Interpretation.
- REEL, S. y ALONSO, C. (2022). A comparison of the Reel and Rossi methods for footwear evidence analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 67(1), 269–276.
- REEL, S. y ALONSO, C. (2021). The importance of individual characteristics in footwear evidence analysis. *Journal of Forensic Science*, 66(6), 1614–1621.
- REEL, S. (2023). *Footwear Evidence: Analysis and Interpretation*. CRC Press.
- REEL, S. (2023). *Footwear Evidence Analysis: A Practical Guide*. CRC Press.
- RIAL RODRÍGUEZ, M. C. *et al.* (2018). *Anatomía y fisiología del aparato locomotor*. Editorial Panamericana.
- RIQUELME, J. y CUESTA, R. (2023). The role of pedimetry in the diagnosis and treatment of foot disorders. *Journal of Foot and Ankle Research*, 16(1), 1–13.
- ROSSI, S. (1988). A new method for footwear and footprint pattern identification. *Journal of Forensic Sciences*, 33(3), 561–572.
- RUIZ DE ARBOLÉS, J. J. y GARCÍA GÓMEZ, J. M. (2017). El fotopodograma como herramienta de evaluación de la marcha. *Revista Española de Medicina de la Educación Física y del Deporte*.
- SÁNCHEZ ORTIZ, M. A. *et al.* (2019). La pedigrafía en la práctica clínica. *Revista de Podología*.
- SMERECKI, C. J. y LOVEJOY, C. O. (1984). Identification via pedal morphology. *The Police Chief*, 51(4), 52–4.