



TESIS DOCTORAL

Estudio termográfico del pie y calzado en niños/as de 9 y 10 años

Marina Fontán Jiménez

PROGRAMA DE DOCTORADO: INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA APLICADA (R009)

Conformidad de la directora y codirectora en su caso:

Prof. Dra D^a. Elena Escamilla Martínez
Prof. Dra. D^a. Raquel Sánchez Rodríguez

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

2023

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO TERMOGRÁFICO DEL PIE Y CALZADO EN NIÑOS/AS DE 9 Y 10 AÑOS



PROGRAMA DE DOCTORADO:
INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA APLICADA (R009)

Marina Fontán Jiménez

PLASENCIA 2023

Directoras:

Prof. Dra D^a. Elena Escamilla Martínez Prof. Dra.
D^a. Raquel Sánchez Rodríguez

Asunto: Rtdo. Conformidad Defensa Tesis a efectos de su autorización

Destinatario: Sr. Coordinador de la Comisión Académica del Programa de Doctorado

Dra. D^a Elena Escamilla Martínez
Dra. D^a Raquel Sánchez Rodríguez

Como Directores de la Tesis doctoral titulada:

Estudio termográfico del pie y calzado en niños/as de 9 y 10 años

Cuyo autor/a es Doña Marina Fontán Jiménez de la cual se adjunta un ejemplar en formato digital (CD/DVD o pendrive) conteniendo un resumen en español, si la tesis está redactada en un idioma distinto al castellano, el documento de actividades del estudiante de doctorado y el *Acuerdo para edición electrónica y publicación en internet de tesis doctorales*, para el cumplimiento de lo establecido en el artículo 32 de la Normativa de Doctorado (DOE 28 de diciembre de 2021)

INFORMAMOS

A la Comisión Académica del Programa de Doctorado que:

- La elaboración de la Tesis ha concluido y cumple con los criterios de calidad necesarios para que el doctorando pueda optar al Título de Doctor/a.
- Que dicha tesis está redactada en el/los idioma/s Español y será defendida en el/los idioma/s: Español por lo que:

SOLICITAMOS

de la Comisión Académica del Programa de Doctorado que autorice la presentación de la Tesis al Consejo Permanente de la EDUEX

En Plasencia, a 13 de enero de 2023

Fdo: Elena Escamilla Martínez Raquel Sánchez Rodríguez

Otra documentación (si procede):

- Si la tesis es presentada al amparo de un convenio de cotutela, certificación de la/s estancia/s llevadas a cabo en la universidad extranjera, validado por la Comisión Académica (un mínimo de seis meses en la Universidad con la que se establece el convenio). En la portada de la tesis doctoral deberá figurar expresamente la cotutela entre las universidades implicadas.
- Solicitud de Mención Internacional, junto con la documentación, aprobada por la Comisión Académica.
- Solicitud de Mención Industrial, junto con la documentación, aprobada por la Comisión Académica.

AGRADECIMIENTOS

A mis directoras Dra. Elena Escamilla Martínez y Dra. Raquel Sánchez Rodríguez por su buen hacer, su paciencia y el gran trabajo realizado para conseguir que esta tesis doctoral pudiera llevarse a cabo.

A Julián Calderón que me animó a conocer la Podología en la Universidad de Extremadura. A los compañeros y amigos del Centro Universitario de Plasencia, al personal de administración y servicios, a Vicky que es mi amiga inseparable, Alfonso, Bea, Raquell, Maite, María, Mamen, Juanfran, Sonia, Ana, Patricia... mil gracias por vuestra ayuda y por los buenos ratos. A los alumnos que son los hacen que el trabajo en la Universidad sea divertido.

A mi familia, padres, hermanos y sobrinos que me han apoyado y animado a lo largo del proceso de estos años de investigación y lo que es mejor, me acompañan en el día a día.

A la familia y a la familia que uno elige: amigas y amigos. Porque todos habéis contribuido, de una forma u otra, durante el proceso hasta el conclusión de este trabajo. La lista es muy larga, por lo que, en caso de que estés leyendo esto, tu nombre está aquí.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN-----	1
2. MARCO TEÓRICO-----	4
2.1. Temperatura y calor -----	4
2.1.1. Los mecanismos de transferencia de calor -----	4
2.1.2. Cuantificación de la radiación térmica-----	5
2.1.3. Espectro electromagnético y radiación infrarroja -----	6
2.2. Temperatura corporal -----	8
2.3. Termografía -----	12
2.3.1. Termografía en el cuerpo humano -----	13
2.3.2. Breve historia de la temperatura y de la termografía infrarroja -----	15
2.3.3. Aparatos termográficos -----	19
2.3.4. Usos de la termografía -----	21
2.3.4.1. Usos generales de la termografía -----	21
2.3.4.2. Usos médicos de la termografía-----	22
2.3.4.3. Termografía en Podología -----	23
2.3.4.4. Termografía en la infancia -----	26
2.4. Calzado -----	27
2.4.1. Historia del calzado -----	27
2.4.2. Características y funciones del calzado-----	29
2.4.3. Partes y componentes del calzado -----	31
2.4.4. Calzado infantil -----	32
2.4.5. Historia del calzado deportivo-----	35
2.4.5.1. Calzado deportivo infantil -----	36
2.4.6. Investigaciones sobre la temperatura del calzado-----	39
3. OBJETIVOS-----	42
3.1. Objetivo general:-----	42
3.2. Objetivos secundarios y específicos: -----	42
4. MATERIAL Y MÉTODO -----	44
4.1. Características del estudio-----	44
4.2. Consideraciones éticas -----	44
4.3. Tamaño muestral-----	45
4.4. Características generales de la muestra -----	46
4.4.1. Criterios de inclusión y exclusión -----	46
4.5. Recogida de datos y variables estudiadas -----	47
4.5.1. Clasificación del calzado -----	48
4.5.2. Sala de toma de imágenes -----	51
4.5.3. Termohigrómetro -----	51
4.5.4. Preparación de los sujetos -----	52
4.5.5. Termómetro-----	52

4.5.6.	Cámara termográfica -----	52
4.5.7.	Toma de imágenes termográficas -----	53
4.5.8.	Báscula y tallímetro -----	56
4.6.	Tratamiento de las imágenes -----	57
4.7.	Tratamiento de los datos y análisis estadístico -----	60
5.	RESULTADOS -----	64
5.1.	Características generales del calzado escolar y deportivo -----	64
5.1.1.	Talla del calzado -----	64
5.1.2.	Calzado escolar -----	64
5.1.3.	Calzado deportivo -----	66
5.1.4.	Calzado según el sexo -----	67
5.2.	Características térmicas del pie en función del calzado usado (escolar o deportivo) -----	69
5.2.1.	Calzado escolar -----	69
5.2.2.	Calzado deportivo -----	70
5.2.3.	Comparativas de temperaturas del pie y tipo de calzado (escolar o deportivo) -----	71
5.3.	Diferencias térmicas del pie según el calzado utilizado y en función del sexo y la relación con la temperatura central -----	73
5.3.1.	Temperaturas podales en calzado escolar -----	73
5.3.2.	Temperaturas podales en calzado deportivo -----	74
5.3.3.	Relación temperaturas podales con la temperatura central -----	76
5.4.	Diferencias térmicas medidas en el calzado y según el sexo -----	80
5.4.1.	Temperatura directa en calzado escolar y deportivo -----	80
5.4.2.	Temperatura del calzado según el tipo del mismo -----	80
5.4.3.	Temperatura del calzado según el sexo -----	82
6.	DISCUSIÓN -----	86
6.1.	Características generales del calzado escolar y deportivo -----	86
6.2.	Características térmicas del pie en función del calzado usado (escolar o deportivo) -----	89
6.3.	Diferencias térmicas del pie según el calzado utilizado y según el sexo y la relación con la temperatura central -----	92
6.4.	Diferencias térmicas medidas en el calzado y según el sexo -----	94
7.	CONCLUSIONES -----	98
8.	LIMITACIONES Y FORTALEZAS DEL ESTUDIO -----	100
8.1.	Limitaciones del estudio -----	100
8.2.	Fortalezas del estudio -----	100
8.3.	Conflicto de intereses -----	100
8.4.	Líneas futuras de investigación -----	101
9.	RESUMEN Y PALABRAS CLAVE -----	104
9.1.	Resumen -----	104

9.2. Palabras clave-----	105
10. SUMMARY AND KEY WORDS-----	108
10.1. Summary -----	108
10.2. Key words-----	109
11. BIBLIOGRAFÍA -----	112
12. ANEXOS-----	128
12.1. Anexo I -----	128
12.2. Anexo II -----	130
12.3. Anexo III -----	132
12.4. Anexo IV -----	134

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Espectro infrarrojo dentro del espectro electromagnético</i>	7
<i>Figura 2. Clasificación de los factores relacionados con termografía infrarroja en humanos (60)</i>	14
<i>Figura 3. Termoscopio de Galileo (62)</i>	15
<i>Figura 4. Termómetro de Galileo moderno</i>	15
<i>Figura 5. Experimento de Herschel (65)</i>	16
<i>Figura 6. Termograma de John Herschel, 1840 (35,64)</i>	17
<i>Figura 7. Imagen termográfica</i>	20
<i>Figura 8. Cámara para teléfono móvil FLIR ONE Pro</i>	20
<i>Figura 9. Partes del calzado</i>	32
<i>Figura 10. Calzado deportivo infantil</i>	38
<i>Figura 11. Calzado colegial de piel</i>	48
<i>Figura 12. Merceditas de piel</i>	48
<i>Figura 13. Mocasín de piel</i>	49
<i>Figura 14. Náutico de piel</i>	49
<i>Figura 15. Bailarinas de piel</i>	49
<i>Figura 16. Botín de piel</i>	49
<i>Figura 17. Zapatilla de carrera “aireado” con malla</i>	50
<i>Figura 18. Bota de fútbol “no aireada” sintética</i>	50
<i>Figura 19. Zapatilla de tenis “no aireada” sintética</i>	50
<i>Figura 20. Multideporte “aireado” con tela</i>	50
<i>Figura 21. Termohigrómetro</i>	51
<i>Figura 22. Termómetro digital</i>	52
<i>Figura 23. Cámara termográfica</i>	53
<i>Figura 24. Toma de la imagen termográfica del calzado</i>	54
<i>Figura 25. Imagen termográfica del calzado</i>	54
<i>Figura 26. Toma de la imagen plantar del pie</i>	55
<i>Figura 27. Imagen termográfica plantar del pie</i>	55
<i>Figura 28. Toma de la imagen dorsal del pie</i>	56
<i>Figura 29. Imagen termográfica dorsal del pie</i>	56

Figura 30. <i>Báscula</i> -----	57
Figura 31. <i>Zonas de medición en imagen del calzado</i> -----	57
Figura 32. <i>Imagen del calzado con medición de temperaturas</i> -----	58
Figura 33. <i>Zonas de medición en imagen plantar del pie</i> -----	58
Figura 34. <i>Imagen plantar del pie con medición de temperaturas</i> -----	59
Figura 35. <i>Zonas de medición en imagen dorsal del pie</i> -----	59
Figura 36. <i>Imagen dorsal del pie con medición de temperaturas</i> -----	60
Figura 37. <i>Tipos de calzado escolar (%)</i> -----	65
Figura 38. <i>Material del corte del calzado escolar (%)</i> -----	65
Figura 39. <i>Tipos de calzado deportivo (%)</i> -----	66
Figura 40. <i>Material del corte del calzado deportivo (%)</i> -----	67
Figura 41. <i>Zapatilla carrera con palmilla elevada</i> -----	90
Figura 42. <i>Palmilla con aumento altura en la zona interior</i> -----	90
Figura 43. <i>Ventilación en calzado tipo bailarina</i> -----	92

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tallas de calzado</i> -----	64
<i>Tabla 2. Calzado escolar y material de corte</i> -----	66
<i>Tabla 3. Calzado deportivo y material de corte</i> -----	67
<i>Tabla 4. Tipo de calzado escolar según sexo</i> -----	68
<i>Tabla 5. Tipo de calzado deportivo según sexo</i> -----	68
<i>Tabla 6. Temperaturas planta del pie calzado escolar (°C)</i> -----	69
<i>Tabla 7. Temperaturas dorsales del pie calzado escolar (°C)</i> -----	69
<i>Tabla 8. Temperaturas planta del pie calzado deportivo (°C)</i> -----	70
<i>Tabla 9. Temperaturas dorsales del pie calzado deportivo (°C)</i> -----	70
<i>Tabla 10. Diferencias de temperaturas en imagen plantar del pie con calzado escolar frente a deportivo</i> -----	71
<i>Tabla 11. Diferencias de temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado escolar frente a deportivo</i> -----	72
<i>Tabla 12. Temperaturas en imagen plantar del pie con calzado escolar dependiendo del sexo</i> -----	73
<i>Tabla 13. Temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado escolar dependiendo del sexo</i> -----	74
<i>Tabla 14. Temperaturas en imagen plantar del pie con calzado deportivo según sexo</i>	75
<i>Tabla 15. Temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado deportivo según sexo</i> -	76
<i>Tabla 16. Temperaturas axilares (°C)</i> -----	76
<i>Tabla 17. Relación de temperatura axilar, calzado escolar/deportivo y sexo</i> -----	77
<i>Tabla 18. Relación temperatura axilar y temperatura podal según el tipo de calzado</i> -	78
<i>Tabla 19. Relación temperatura axilar y temperatura podal según el sexo</i> -----	79
<i>Tabla 20. Relación temperatura calzado y tipo escolar</i> -----	80
<i>Tabla 21. Relación temperaturas calzado colegial y material</i> -----	81
<i>Tabla 22. Relación temperatura calzado y tipo deportivo</i> -----	81
<i>Tabla 23. Relación temperatura calzado deportivo y material</i> -----	82
<i>Tabla 24. Diferencias de temperatura en imagen de calzado escolar y deportivo</i> -----	82
<i>Tabla 25. Diferencias de temperaturas en el calzado escolar en función del sexo</i> ----	83
<i>Tabla 26. Temperaturas en imagen del calzado deportivo según sexo</i> -----	83

ABREVIATURAS

°C	Grado/s Celsius
<i>e</i>	Emisividad
°K	Grado/s Kelvin
°	Grado/s
cm	Centímetro/s
cm ²	Centímetro/s cuadrado/s
mm ²	Milímetro/s cuadrado/s
NICE	Institute for Health and Care Excellence (Reino Unido)
SATRA	The Shoe and Allied Trade Research Association
EVA	Etil-vinil acetato
ALI	Arco Longitudinal Int ^{er} no
PRS	Sistema de registro de protocolo y resultados (en inglés)
kg	Kilogramos
IMC	Índice de masa corporal
WME	Equilibrio de humedad del agua/contenido
ALE	Arco longitudinal externo
CMT	Cabeza/s metatarsal/es
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
LWG	Leather Working Group
PU	Poliuretano
PVC	Policloruro de vinilo

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura corporal ha sido un buen indicador de la salud a lo largo de la historia. El ser humano es homeotérmico (1), es decir, debe mantener una temperatura constante en torno a los 37 °C para realizar las funciones metabólicas vitales (2). La temperatura corporal se divide en central y periférica. La central es la que tienen los órganos internos y el cerebro y debe mantenerse estable entre los 33-42 °C (3) y, por otra parte, la temperatura periférica es menor (4) y afecta a la piel, el tejido subcutáneo y los músculos. Esta es más variable y se ve influenciada por el ambiente externo (5). El mantenimiento de la temperatura central permite que las funciones del organismo se realicen correctamente y gracias a la termorregulación se consigue aumentar o disminuir esa temperatura por un proceso de retroalimentación negativa (6). En los pies el proceso que permite el aumento o disminución de la temperatura, está relacionado con el flujo sanguíneo y las anastomosis arteriovenosas que al aumentar o disminuir el volumen de sangre, facilitan o evitan la pérdida de calor y por otra parte, la temperatura se puede reducir por la producción de sudor de las glándulas sudoríparas (7).

La *termografía* es una técnica que permite conocer la temperatura corporal al detectar la radiación infrarroja que éste emite. Es una técnica eficaz, segura, no invasiva, indolora, que no requiere el contacto con el cuerpo a medir, no produce radiación ionizante y no provoca efectos secundarios o contraindicaciones (8). Con una cámara termográfica moderna se obtiene un termograma, que es la representación en dos dimensiones y en color de la distribución de la temperatura del cuerpo, o lo que es lo mismo, la reproducción del patrón térmico de la piel (9,10). Es una técnica muy eficaz para el estudio de la piel humana, ya que ésta tiene una emisividad (e) con valor de 0.98 ± 0.01 (11), que es cercana a 1, el valor que representa la mejor efectividad de un material para emitir radiación térmica. El estudio termográfico del cuerpo humano ha permitido investigar sobre la artritis (12), ayudar en el diagnóstico y *screening* del cáncer de mama (13–15) o el conocimiento de la diabetes mellitus (12). Más concretamente en el campo de la *Podología* se ha empleado para detectar puntos calientes en el pie y así detectar la inflamación (16) o zonas pre-ulcerosas (17,18), pero hay muy pocos casos en los que la termografía se haya empleado para conocer la temperatura del *pie* de los/as *niños/as*.

Se considera de interés conocer la temperatura en los/as niños/as porque es indicadora de salud, como ya se ha mencionado anteriormente, también es necesario establecer las posibles peculiaridades que se producen dependiendo de la edad (19) y del sexo (20).

Por otra parte, en la sociedad occidental habitualmente el pie se encuentra sometido a la influencia del *calzado*, que tiene funciones variadas como la protección frente al frío o a las alteraciones que pueda presentar el terreno. Además, en los últimos tiempos tiene una función que se relaciona con la moda. En cuanto al calzado que emplean los/as niños/as en España es cada vez más de tipo deportivo y menos calzado de tipo escolar, con variedad de materiales de fabricación que influirán en las características térmicas que ofrezcan y por ello afectan al confort térmico, que es la percepción mental que expresa la satisfacción de un individuo con la temperatura ambiente. Esta sensación depende de la combinación de la temperatura de la piel y la temperatura central y que se verá influenciada, entre otros factores por el calzado (21).

Siendo así, la intención final de este trabajo fue describir qué temperaturas presentan los pies de los/as niños/as de 9 y 10 años, dependiendo del calzado que empleen (escolar o deportivo) y conocer si hay variaciones en esas temperaturas que dependan del sexo. Además, valorar qué calzado resulta mejor para aislar al pie del niño/a del medio ambiente y qué material del corte del mismo mantiene la temperatura adecuada en el interior, evitando situaciones en las que se puedan desarrollar algunos microorganismos que den lugar a la aparición de infecciones. Con todo ello se busca proporcionar información que permita mejorar la calidad de vida de los/as niños/as.

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Temperatura y calor

En el campo de la física la *temperatura* es la descripción cuantitativa de la calidez o la frialdad de los objetos y está relacionada con la energía cinética de las moléculas que componen los materiales (22). Fue el físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) quien definió satisfactoriamente la temperatura de un cuerpo, como el promedio de la energía cinética de las moléculas o de los átomos que lo componen. Cuando aumenta la temperatura, las moléculas se mueven más rápido (23).

El instrumento que se emplea para medir la temperatura es el *termómetro*, que mide el intercambio de energía del mismo y el cuerpo que se quiere medir (22,24).

Para acabar de entender el concepto de temperatura debemos diferenciarlo del concepto de **calor**, que es la energía que se transfiere entre sustancias y que ocurre por la existencia de una diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. Así podemos concluir que dos objetos están en equilibrio térmico si están a la misma temperatura y dejan de intercambiar energía (22,24).

2.1.1. Los mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de calor puede realizarse de diferentes formas:

- *Conducción o conducción térmica*: consiste en la transmisión de energía en forma de calor a través de un cuerpo desde el punto de más temperatura a la de menos, gracias a la circulación de la energía. A escala microscópica es un intercambio de energía cinética entre las moléculas, en que las moléculas con menos energía la ganan al colisionar con moléculas que poseen más energía que ellas (22,24,25).
- *Convección*: es la transferencia de calor por el movimiento de la masa de un fluido de una región del espacio a otra, aunque exista vacío. La convección

natural o libre se produce cuando el movimiento se origina por la diferencia de densidades, como el aire alrededor del fuego. También existe la convección forzada, en la que el fluido circula impulsado por un ventilador o bomba (24). En el cuerpo humano la convección forzada ocurre siendo esta bomba el corazón, el cual impulsa la sangre a través de las arterias. El calor transmitido por convección desde un cuerpo a sus alrededores es aproximadamente proporcional al área del cuerpo y a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el fluido en el que se encuentre inmerso. La ley que explica este fenómeno y se cumple en todos los mecanismos de transmisión de calor, es la “ley de enfriamiento de Newton” (25).

- *Radiación*: es la transferencia de calor que depende de ondas electromagnéticas como la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta y se produce aunque haya vacío entre el cuerpo y la fuente de calor (22,25). Todos los cuerpos a temperaturas ordinarias emiten energía en forma de radiación electromagnética (26).

2.1.2. Cuantificación de la radiación térmica

Un objeto a cualquier temperatura emite radiación, también conocida como *radiación térmica*. Esa radiación depende de la temperatura y las propiedades del objeto (27).

La *emisividad* (e) es una magnitud adimensional de valor entre 0 y 1 que representa la relación entre la radiación de una superficie y la de un cuerpo radiante perfecto con área igual y que está a la misma temperatura (2,3,22,26,28). Expresado de otra forma, la emisividad es el porcentaje de energía infrarroja emitida por un objeto a una temperatura dada, comparada con la cantidad de energía infrarroja emitida por un cuerpo teóricamente perfecto a la misma temperatura (28). A cada materia se le asocia un valor de emisividad que representa la efectividad del material para emitir radiación térmica (29).

Para comprender el concepto de emisividad primero hay que describir lo que se conoce como *cuerpo negro* o *cuerpo negro ideal*, que es aquel cuya emisividad es igual a 1 y absorbe toda la radiación que incide sobre él (22,24).

La radiación emitida por cuerpos que están a temperatura ambiente se concentra en longitudes de onda mucho mayores que las correspondientes a la luz visible. Pero, a medida que aumenta la temperatura del cuerpo, crece la cantidad de energía que emite y se extiende a frecuencias cada vez mayores (y longitudes cada vez más cortas). De esa forma, cuando un cuerpo está a 600-700 °C, emite radiación en la zona del espectro visible, brillando con color rojo oscuro; a más temperatura puede llegar a brillar con color blanco (25).

Las emisividad de la piel humana tiene un valor de **0.98**, casi idéntica a un cuerpo negro (28,29), lo que hace muy adecuado el empleo de la termografía para la detección de la temperatura de la piel (2). La emisividad de la piel es independiente de la pigmentación (30,31). Como dato de interés, la piel emite radiación infrarroja con longitud de onda que oscila entre 2 y 20 μm , con un pico medio de 9-10 μm (29).

2.1.3. Espectro electromagnético y radiación infrarroja

La *onda electromagnética* se define como la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento (32). Todos los objetos emiten energía continuamente en forma de ondas electromagnéticas, debido al movimiento aleatorio de las moléculas, que cambian de dirección constantemente y por tanto, se aceleran (26,27). Lo que es lo mismo, cualquier objeto emite radiación electromagnética debido al movimiento térmico de sus moléculas (33). Las distintas ondas electromagnéticas se mueven a la velocidad de la luz y se diferencian por sus longitudes de onda y sus frecuencias. Las radiaciones de longitudes de onda más larga producen poca energía (como los rayos infrarrojos) y las de longitudes de onda corta producen gran energía (como rayos X) (26).

El conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce la radiación electromagnética es conocido como

espectro electromagnético, está limitado entre 0 e ∞ (32) y abarca la transmisión de radio, televisión, la luz visible, la radiación infrarroja y la ultravioleta, los rayos x y los rayos gamma. Los distintos tipos de ondas electromagnéticas no necesitan un medio físico para propagarse (33). Dentro del espectro electromagnético se encuentran los *rayos infrarrojos*, que tienen una longitud de onda mayor que la de la luz visible, pero menor que las microondas (34), encontrándose en el rango de 0.7 a 1000 μm (**Figura 1**) (3,17). Existen diversas clasificaciones, ya que los intervalos de longitud de onda y frecuencia pueden solaparse. A la radiación infrarroja también se la conoce como *radiación térmica*, ya que cualquier cuerpo la emite a una temperatura mayor a 0 °K (Kelvin, cero absoluto, -273.16 °C) (3,26,34). La agitación de las moléculas supone más energía cinética y eso supone la emisión de radiación infrarroja (26,34).

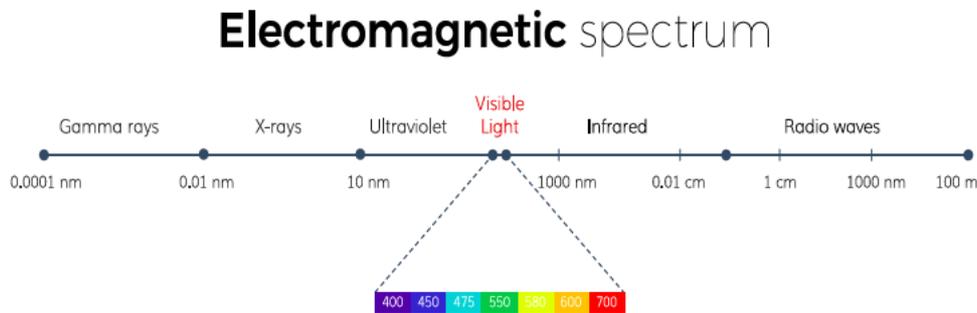


Figura 1. Espectro infrarrojo dentro del espectro electromagnético

En cuanto a las características de la radiación infrarroja, hay que decir que su propagación en materiales homogéneos es en línea recta como si fueran rayos. En ella también se aplican las propiedades de reflexión y refracción (26,35).

La radiación infrarroja o radiación térmica tiene longitudes de onda desde 0.76 μm a 1 000 μm . Este rango se subdivide en (28):

- Infrarrojo cercano: con longitudes de onda desde 0.76 μm a aproximadamente 2.5 μm .
- Infrarrojo medio: con longitudes de 2.5 a 50 μm .
- Infrarrojo lejano: con longitudes de 50 μm a 1 000 μm .

Las radiaciones de longitud de onda medias y largas son consideradas como infrarrojo térmico y son emitidas por objetos con temperaturas entre -83.15 y 726.85 °C

(17). La radiación del cuerpo humano se encuentra en el infrarrojo medio, emitiendo a temperatura normal (37 °C) radiación de longitud de onda de 12 μm (32). Las cámaras termográficas más usadas detectan la radiación en ese rango en el que se encuentran la mayoría de los cuerpos (26), por lo que es un buen sistema para conocer su temperatura.

2.2. Temperatura corporal

Se considera que el ser humano, al igual que otros mamíferos es *homeotérmico* (1), pues mantiene su temperatura constante en torno a los 37 °C (2), para que se puedan realizar las funciones metabólicas vitales. La temperatura corporal depende del lugar donde se toma, del momento del día y del nivel de actividad de la persona (23), pudiendo variar cuando se tiene hambre o sueño. Se ha comprobado que es controlada por el ritmo circadiano y es sensible al estado metabólico. Incluso hay factores psicológicos como la excitación o perturbaciones del sueño, que influyen sobre la vascularización de la piel, así como el efecto de diferentes drogas, patologías que cursan con fiebre o el cáncer (36). Las condiciones ambientales, como las temperaturas extremas, humedad y la radiación solar también pueden modificar la temperatura corporal (37).

La *termorregulación* en el cuerpo humano es el conjunto de respuestas que este produce fisiológicamente para mantener la temperatura central, a pesar de las actividades y del entorno (26). Este sistema de autorregulación que intenta mantener equilibrada la composición y propiedades del organismo se conoce como *homeostasis* (3,38) y gracias a ella se mantiene estable la temperatura de los órganos internos y el cerebro (39).

La termorregulación fisiológica se divide en dos tipos (40):

- Termorregulación refleja o autonómica, que es ajena a la voluntad. Mediante este proceso, los termorreceptores detectan los estímulos térmicos y envían la información al hipotálamo por vías aferentes.
- Termorregulación de conducta, que depende de decisiones voluntarias. Mediante este proceso, los estímulos térmicos son detectados por los mismos receptores. Las vías aferentes llevan la información a la médula espinal, al tálamo y a la corteza cerebral, lo que influye en el **confort térmico** percibido y, a su vez, en las decisiones que el individuo toma para ganar o perder calor,

como pueden ser: la vestimenta, buscar o alejarse del sol o del viento, hidratarse, cambiar la posición del cuerpo, incluso aumentar o disminuir la intensidad del ejercicio. Se denomina confort térmico a la percepción mental que expresa la satisfacción de un individuo con la temperatura ambiente. Esta sensación dependerá de la combinación de la temperatura de la piel y la temperatura central. Los factores que afectan a la sensación térmica son: la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del aire, la temperatura media radiante, la tasa metabólica, la zona geográfica, la época del año y la vestimenta (21).

En el proceso de termorregulación refleja el hipotálamo realiza funciones de control, y trabaja mediante un proceso de retroalimentación negativa con los sensores de temperatura (6). La información generada por los termorreceptores, que se encuentran en el interior del cuerpo humano cerca de los órganos y, en la periferia, bajo la dermis, llega a través del sistema nervioso al área preóptica del hipotálamo. Influyen también las señales térmicas de las regiones periféricas en las respuestas termorreguladoras (41,42). Las neuronas del área preóptica generan impulsos de baja frecuencia cuando la temperatura de la sangre baja, y de alta frecuencia cuando aumenta. Estos impulsos se propagan a dos partes del hipotálamo conocidas como centro de pérdida de calor y centro productor de calor. Cuando el sistema reconoce una disminución de la temperatura central, se mandan impulsos nerviosos al área preóptica que activan el centro productor, a través de la acción de hormonas que inician los mecanismos que permiten aumentar el calor como: vasoconstricción (que disminuye el flujo de sangre), tiritar (contracciones y relajaciones musculares) y el aumento lento de la tasa metabólica. En caso de detectarse un aumento de la temperatura central, los termorreceptores enviarán una señal nerviosa al área preóptica, que generará hormonas que inhiban el centro productor de calor y activarán el centro de pérdida de calor, lo que iniciará los mecanismos de disminución de la temperatura corporal como la vasodilatación (6) y la estimulación de las glándulas sudoríparas que, gracias al sistema nervioso simpático, aumentará la pérdida de calor por evaporación (6,23,43).

Para estudiar la relación que existe entre la temperatura y la salud del cuerpo, se divide la temperatura corporal en central, que incluye la temperatura de la cavidad abdominal, torácica y craneal, y en temperatura externa o superficial, perteneciendo esta

última a la de la piel, tejidos subcutáneos y músculos (5). La *temperatura central* debe mantenerse entre 33 y 42 °C (3), siendo mucho mayor que la externa (4). La temperatura central debe mantenerse dentro de unos límites, mientras que la *temperatura periférica* es más variable y está muy influenciada por el ambiente (5). Existe relación entre ambas temperaturas, ya que el metabolismo produce calor en el cuerpo y ese calor se distribuye mediante convección por la circulación sanguínea, llegando a la superficie del cuerpo por conducción (11). Además, hay una pequeña cantidad de calor que se pierde por el tracto respiratorio (44).

En caso de que se produzca un aumento excesivo de la temperatura se puede producir la desnaturalización de las proteínas, lo que conduciría al daño o la muerte celular. Así cuando la piel alcanza temperaturas mayores a 45 °C, el calentamiento de la misma se vuelve doloroso y se produce una quemadura, cuya gravedad dependerá del tejido que se calienta y del tiempo que dure ese calentamiento. Por otra parte, el frío también puede dañar los tejidos, ya que la solución acuosa se congela en forma de cristales de hielo de agua pura y por ello las sustancias que estaban diluidas en el líquido se concentran (42,44). Por tanto, es importante mantener una temperatura corporal adecuada, que resulta ser un buen indicador de salud (3,38).

En el cuerpo humano, la *pérdida de calor* se realiza en el 80% a través de la piel, de forma que para evitar perder calor, se produce una vasoconstricción, manteniendo la sangre caliente circulando más profundamente, y para evacuar el calor se produce la vasodilatación que aumenta el aporte sanguíneo caliente a la piel desde los tejidos profundos. Los procesos físicos que se ponen en marcha para disminuir la temperatura del cuerpo son: *conducción, convección, radiación y evaporación* (6).

- **Conducción:** es la transferencia de calor a cualquier sustancia u objeto que esté en contacto con el cuerpo, por ejemplo, ropa o joyas o las comidas o líquidos fríos que se ingieren. Es un proceso que supone una pérdida de calor relativamente pequeña (6), siendo aproximadamente el 3% del calor corporal (45).
- **Convección:** generalmente provoca muy poca pérdida de calor desde la superficie corporal, aunque hay situaciones que pueden hacer que aumente, como por ejemplo cuando salimos de la ducha y notamos corriente de aire (6). Puede suponer una pérdida de hasta el 12% del calor corporal (45).

- Radiación: el calor se irradia desde la superficie corporal en forma de rayos infrarrojos a los objetos cercanos más fríos que la piel, y al contrario desde los que están más calientes hacia la piel (6). Hasta el 60% de la pérdida de calor corporal puede realizarse por este mecanismo (45). Mientras el cuerpo está en reposo el 60% del calor del cuerpo se pierde por radiación (46).
- Evaporación: es un método de pérdida de calor corporal desde la piel, que se consigue por la estimulación de las glándulas sudoríparas. Resulta un método importante sobre todo cuando la temperatura ambiente es elevada (6). Cuando la temperatura del medio es mayor que la de la superficie corporal, aumenta la temperatura corporal y se activa el mecanismo de evaporación para que esta disminuya, dependiendo de la humedad ambiental. A mayor temperatura ambiental, menos calor podrá ser eliminado. El cuerpo humano puede llegar a perder más del 20% del calor corporal por este mecanismo (45). Durante el ejercicio físico el 80% del calor se pierde por evaporación del sudor (46).

Por otra parte, existen mecanismos de *producción de calor*. La mayor parte se genera a partir de órganos profundos como el hígado, cerebro y corazón, en músculos esqueléticos durante el ejercicio y también por la metabolización de los alimentos y la secreción de ciertas hormonas (42).

Con respecto al sistema músculo-esquelético, la producción de calor se manifiesta cuando realizamos ejercicio físico o generamos escalofríos (30). Al contrario ocurre durante el sueño en el cual hay poca producción de calor (6). En caso de que la temperatura caiga por debajo de los 37 °C se producen varias respuestas fisiológicas para conservar el calor del cuerpo y aumentar la producción de calor, siendo el mecanismo más importante la vasoconstricción y la piloerección, que permite atrapar una capa de aire y aumentar el aislamiento con el medio externo (30).

En el proceso de producción de calor el cuerpo humano cuenta también con el tejido adiposo pardo/ marrón o grasa parda. La función termorreguladora del tejido adiposo marrón disminuye en el adulto al reducirse el efecto estimulador endocrino (47). La producción de calor en el tejido adiposo marrón se debe a la gran cantidad de mitocondrias de los adipocitos (48,49).

En el caso particular de los pies, la función termorreguladora se debe al intercambio de calor que se produce por el aumento del flujo sanguíneo, las anastomosis arteriovenosas y a la sudoración producida por las glándulas sudoríparas ecrinas que producen evaporación. Por tanto, los pies son buenos radiadores, aislantes y evaporadores en individuos en reposo y desvestidos (7), lo que produce una buena termorregulación de la temperatura.

2.3. Termografía

La *termografía* es la técnica que permite la representación gráfica de la temperatura de un cuerpo a través de la detección de la radiación infrarroja que emite (2,50), se encuentra relacionada con la *termología*, que etimológicamente proviene del griego -thermos= calor, -logos= palabra, -logy= ciencia, por lo que se puede traducir como la ciencia del calor, estudio de la naturaleza y los efectos de la energía térmica (51).

La *imagen térmica infrarroja* o *termograma infrarrojo* es la representación en dos dimensiones de la distribución de la temperatura en la superficie de un objeto (51) y produce un mapa instantáneo de temperatura del objeto de estudio (52). De esta forma, la termografía representa la temperatura de un cuerpo gracias a las cámaras infrarrojas, que detectan la radiación térmica natural del mismo y pueden producir una imagen que representa la distribución de esa temperatura y cuyo tamaño dependerá del campo de visión de las lentes (38).

La termografía infrarroja es una técnica eficaz, segura, no invasiva, indolora, que se realiza sin contacto con el cuerpo a medir, que no produce radiaciones ionizantes y no tiene efectos secundarios ni contraindicaciones (8).

La precisión y fidelidad de las imágenes termográficas se ven afectadas por el objeto representado, la cámara, la calibración de la cámara y el análisis de la imagen. A su vez, influyen en la repetibilidad de las mediciones: la posición del objeto, la captura de la imagen, los protocolos y las fuentes (53).

2.3.1. Termografía en el cuerpo humano

El estudio de la temperatura corporal es importante en la historia de la humanidad, ya en el libro del *Deuteronomio* en la *Biblia*, se hizo referencia a la fiebre e inflamación y poco después Celso, en el 64 d. C., describió los cuatro indicadores de la inflamación: calor, enrojecimiento, dolor e inflamación. Un siglo después, Galeno añadió un quinto indicador: pérdida de función (13). De esta forma, la temperatura de la piel es una medición importante que refleja la presencia de enfermedades y lesiones, que al mismo tiempo nos proporciona información sobre la relación cuerpo-ambiente externo (54).

La radiación infrarroja puede ser detectada, registrada y grabada en un termograma, que nos permite conocer el *patrón térmico de la piel*. Se trata de una representación gráfica cualitativa, de alta resolución y cuantitativa, de alta sensibilidad (9,10).

Distintos investigadores han experimentado buscando el valor de la *emisividad de la piel humana*, como JD Hardy (55,56), y Steketee (57). Se ha determinado que el valor de la emisividad de la piel de los seres humanos de todas las razas es cercano a 1.00 (25,55), por lo que es muy eficiente en el intercambio de calor irradiado (12,58). En estudios posteriores, se concretó que la temperatura de la piel es de 300 K, con una emisividad que se encuentra en torno a 0.98 ± 0.01 (11), que es independiente de la longitud de onda que varía entre 3 y 14 μm (57) tiene un pico entre 9-10 μm (11,38).

Las características de inocuidad la convierten en una buena técnica para el análisis de las funciones fisiológicas relacionadas con el control de la temperatura de la piel, como la detección de neuropatía periférica y alteración vasomotora (59).

En el proceso de obtención de resultados adecuados, buenas imágenes y mediciones se hace necesario el control de la temperatura y la humedad relativa del espacio en el que se realiza la medición, al igual que el tiempo de aclimatación y la posición del cuerpo que se evaluará (8,60).

Se considera importante controlar todos los factores que puedan influir en el uso de la termografía infrarroja en el ser humano. Vista la cantidad de ellos (**Figura 2**), es

importante analizarlos y conocerlos para asegurarnos un uso adecuado de la termografía infrarroja (60).

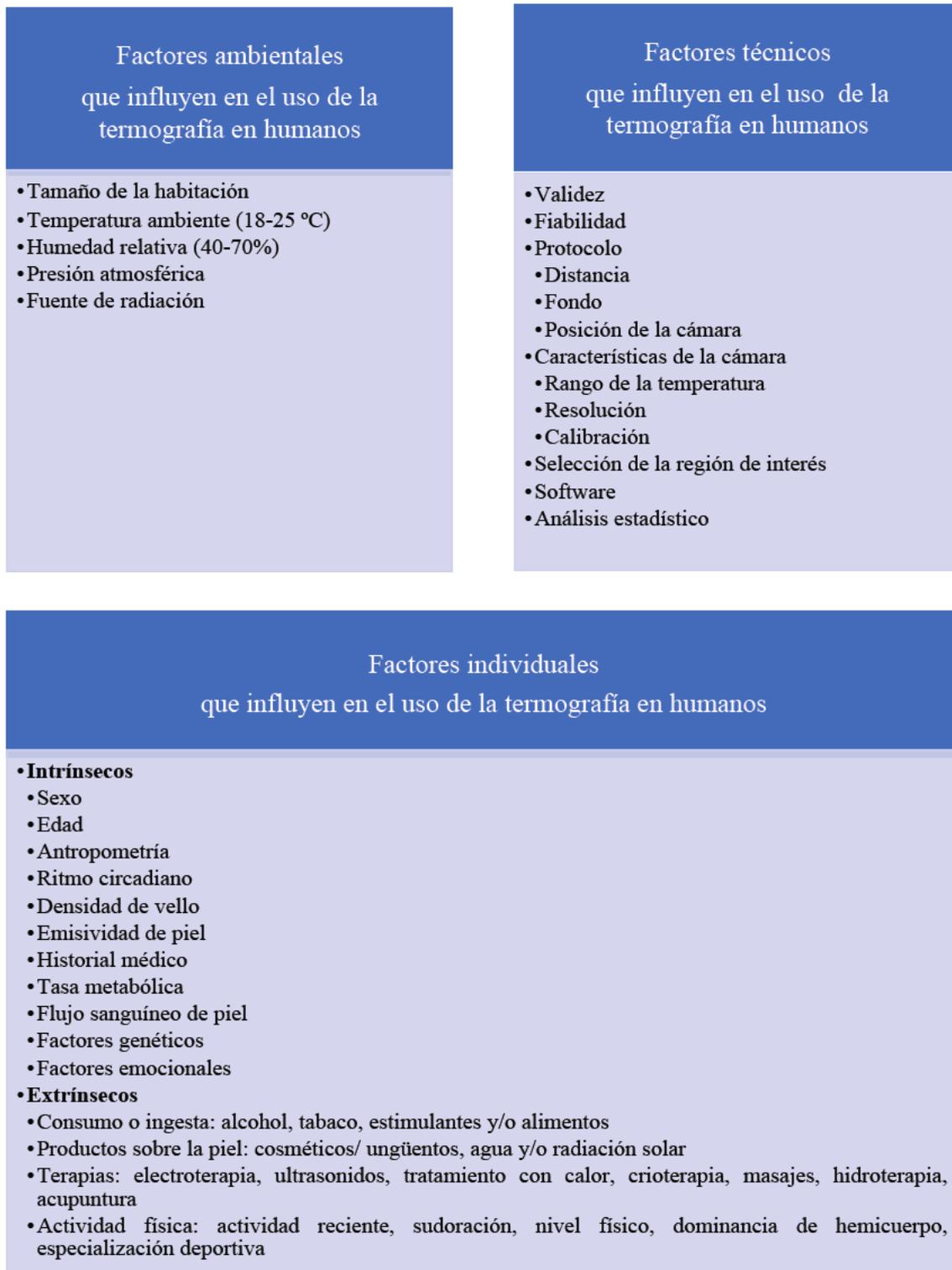


Figura 2. Clasificación de los factores relacionados con termografía infrarroja en humanos (60)

2.3.2. Breve historia de la temperatura y de la termografía infrarroja

A lo largo de la historia de la humanidad, ha cobrado importancia el estudio de la temperatura del cuerpo (23,61). Por orden cronológico, los investigadores más importantes fueron *Aristóteles* (s IV a. C.), *Hipócrates* (460-377 a. C.), *Filón de Bizancio* (250 a. C.), *Galeno* (129-216 d. C.) o *Galileo Galilei* (1564-1642) que construyó un *termoscopio* (**Figura 3**) (23,61).



Figura 3. Termoscopio de Galileo (62)

Durante los siglos XVI-XVII cabe destacar, entre los descubrimientos más importantes, la invención del termómetro clínico por *Santorio* (1561-1636); el empleo de la palabra *grado* en la escala de temperatura por *Giovanni Francesco Sagredo* (1571-1620); el uso de la palabra *termómetro* para medir los grados de temperatura por *Jean Leurechon* (1591-1670) y *Jean Batista Della Porta* que en 1593 consiguió grabar el *calor reflejado* (12). *Fernando II de Médicis*, Gran Duque de Toscana (Florencia 1610-1670) construyó hacia 1645 un tubo de vidrio sellado por sus extremos, conocido como *termómetro de Galileo* (23,61,63) (**Figura 4**).



Figura 4. Termómetro de Galileo moderno

En el transcurso de los siglos XVII-XVIII, cabe destacar a *Isaac Newton* (1642-1727), físico inglés que describió una escala de 12 grados, por similitud con las 12 pulgadas que tiene un pie, en la que se asigna el valor de 0° a la temperatura de fusión del hielo y el valor de 12° a la temperatura de una persona sana. En esta escala el punto de ebullición del agua correspondía a 34°. Así mismo fue relevante la labor de *Daniel Gabriel Fahrenheit* (1686-1736), físico alemán que inventó el termómetro de mercurio en 1724 e introdujo la *escala Fahrenheit* (13); *Anders Celsius* (1701-1744), astrónomo sueco, propuso a escala centígrada (22) que conocemos actualmente como *escala Celsius* (13). En 1750 el científico danés *Linnaeus*, propuso que se invirtiera la escala Celsius, siendo la temperatura menor 0, y 100 grados, la temperatura del agua hirviendo (12). Durante todo este período de tiempo se inventaron distintos dispositivos para detectar los cambios de temperatura (23,61).

Muy importante es el trabajo de *Friedrick William Herschel* (1738-1800), científico y astrónomo inglés, que en 1800 formó un *espectro de luz solar* (arco iris) con un prisma y utilizó un termómetro de mercurio para comprobar que unos colores eran más “calientes” que otros, realizando distintos experimentos (**Figura 5**). Denominó *infrarrojo* a la región por debajo del color rojo. Herschel fue el primero en utilizar conjuntamente un termómetro y un prisma para medir la “cantidad de calor” de cada color, lo que le convirtió en pionero de la termometría de radiación. Envío un informe a la Sociedad Real de Londres (The Royal Society London) en 1800 describiendo los rayos térmicos como calor negro. En sus siguientes experimentos, demostró que esa nueva forma de radiación podía ser reflejada y refractada bajo las condiciones adecuadas, igual que la luz (13,35,61,64,65).

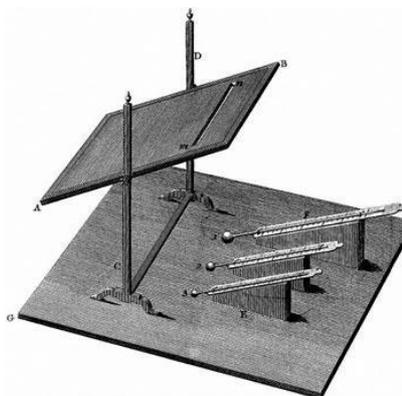


Figura 1 - Aparato utilizado por Herschel para investigar o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores prismáticas.

Figura 5. Experimento de Herschel (65)

En el siglo XIX, *John Herschel* (1792-1871) después de la muerte de su padre, consiguió hacer una imagen usando la radiación solar (12,66), y encontró que la temperatura más alta mostraba la base de color blanca y las temperaturas más frías resultaban más oscuras. A esa imagen la llamó *termograma* (**Figura 6**), que es un término que aún se emplea (12,13,35,56,66).

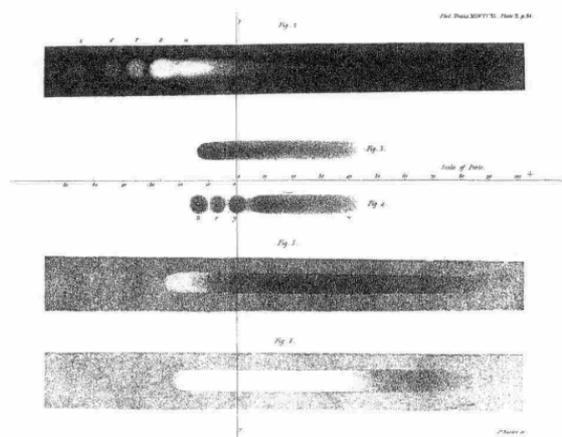


Figura 6. Termograma de John Herschel, 1840 (35,64)

Posteriormente, cabe destacar las investigaciones de *William Thomson (Lord Kelvin)* (1824-1907), físico y matemático escocés que propuso una escala conocida como primera *escala Kelvin*. Se sabe en la actualidad que la temperatura en dicha escala es una función lineal del logaritmo de la temperatura en la escala termodinámica o absoluta (61).

En 1867, el médico inglés *Thomas Clifford Allbut* (1836-1925) inventó el *termómetro clínico*, un termómetro de mercurio de pequeña longitud (unos 12 centímetros o cm) (61). Después fue *Karl Wunderlich* (1815-1877), médico alemán que publicó en 1868 un trabajo con más de un millón de registros de temperatura, de más de 25 000 pacientes con un termómetro colocado debajo de la axila, el que estableció por primera vez un rango de *temperaturas normales* de entre 36.3 y 37.5 °C. Estudió la fiebre, el curso de la temperatura y la importancia de regular y medir adecuadamente la temperatura para que pueda ser una evidencia del estado de salud del paciente (12,23,56).

El físico austriaco *Josef Stefan* (1835-1893) estudió la radiación emitida por los cuerpos y, en 1879, encontró que la radiación emitida por un cuerpo caliente es

proporcional a la cuarta potencia de su temperatura termodinámica, resultado conocido como *ley de Stefan-Boltzmann* (23,61). Posteriormente, el físico alemán *Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien* (1864-1928), en 1893, haciendo uso de un horno con un pequeño agujero como aproximación a un *cuerpo negro*, encontró experimentalmente el fundamento de los pirómetros ópticos, conocida como *ley del desplazamiento de Wien* (61). Los estudios del físico francés *Pierre Curie* (1859-1906), en 1895, sentaron los fundamentos de los termómetros magnéticos, en la *ley de Curie* (61). La publicación de *Silvanus Thompson*, en 1896, concluye que la radiación infrarroja de onda larga posee todas las propiedades físicas de la luz, es decir, se puede reflejar, refractar, dispersar, difractar y polarizar (64).

Ya en el siglo XX, *Max Karl Ernst Ludwig Planck* (1858-1947) físico alemán, postuló en 1900 la *ley de la radiación de Planck*, que supuso el comienzo de la mecánica cuántica y contiene todos los fundamentos teóricos de la termometría de radiación (61).

En 1948 tuvo lugar la primera revisión de la Escala Internacional de Temperaturas. En ella se decidió, entre otras cosas, abandonar el nombre de grado centígrado para la unidad de temperatura y reemplazarlo por el de *grado Celsius* (°C), para evitar confusiones con la centésima de grado usada en la medida de ángulos (61). El físico alemán *Rudolf Ludwig Mossbauer* (1929-2011), en 1957 descubrió la emisión y absorción resonante de rayos γ por parte de materiales sólidos radioactivos, conocido como *efecto Mossbauer* (61).

En el desarrollo de las investigaciones sobre la medición de la temperatura en 1960, empezaron a usarse los *sensores de cristal líquido* (56). Ese mismo año se desarrolló el primer *láser de rubí* por el físico *Theodore Harold Maiman* (1927-2007), que hoy en día se emplea en las más modernas técnicas de termometría (61).

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) y posteriormente se desarrolló la tecnología infrarroja y los detectores modernos, así se consiguió por ejemplo, la *visión nocturna* (35,67).

En cuanto a los hallazgos del campo de la Medicina, cabe mencionar en 1959 al *Dr. Max Cade* que, en Reino Unido, construyó un *escáner de termografía infrarroja* para

evidenciar la inflamación producida por la artritis en las articulaciones, manifestada con un aumento de la emisión de calor (58). *Horvath y Hollander*, a finales de la década de 1940, hicieron mediciones de temperatura en terapia con esteroides intraarticulares (66). Entre los años 1959 y 1962, en los hospitales Middlesex de Londres y el Hospital Real Nacional para Enfermedades Reumáticas de Bath, se realizaron las primeras *imágenes infrarrojas impresas* con el prototipo Pyroscan (56,67).

En 1968 tuvo lugar la segunda revisión de la escala de temperatura, en la que se adoptó la denominada Escala Internacional Práctica de Temperatura. A partir de aquí se expresan las temperaturas inferiores a 0 °C en Kelvin y las temperaturas superiores en grados Celsius (61).

En la década de 1970, en Bath se informatizó la termografía clínica, lo que permitió archivar las imágenes en *formato digital* y se creó la Asociación Termográfica Europea, que comenzó a protocolizar el proceso de obtención de imágenes con distintos pacientes (56). Destaca, en la década de los 90, la entrada en vigor de la actual *Escala Internacional de Temperaturas*. Además, los físicos finlandeses, *Jukka P. Pekola, Kari P. Hirvi, Juha P. Kauppinen y Mikko A. Paalanen*, abrieron las puertas de la termometría a la nanotecnología (61).

En el siglo XXI distintas investigaciones han permitido que las cámaras térmicas hayan mejorado la calidad de las imágenes y la velocidad en las capturas (56).

2.3.3. Aparatos termográficos

Las *cámaras termográficas* proporcionan una técnica fácilmente repetible, rápida, no invasiva, no ionizante, indolora y económica que permite conocer la temperatura de un cuerpo gracias a la radiación calórica que emiten (2,68–70).

Las nuevas cámaras termográficas son muy sensibles y trabajan con ordenadores cada vez más sofisticados que facilitan el análisis y el diagnóstico. La energía infrarroja que emite un objeto es detectada por la cámara que, con un sensor de imagen, convierte la información en una señal eléctrica. Esta información se convertirá en una imagen

monocromática o en color (**Figura 7**), basada en las diferencias de temperatura. Las cámaras pueden ser de imagen o de medición, siendo estas últimas las que permiten cuantificar la información. El calor de los objetos puede ser grabado y procesado con un ordenador de manera que se genera un mapa de imagen (14,71).



Figura 7. Imagen termográfica

Las cámaras de termografía infrarroja de alta resolución han evolucionado, desde las más antiguas, hasta las más pequeñas y modernas (**Figura 8**) del siglo XXI (29). Ha sido importante la mejora de los equipos termográficos también para la Medicina (17,58), -gracias al desarrollo de las lentes-, la capacidad de crear imágenes en dos dimensiones, la posibilidad de grabar y almacenar esas imágenes así como su cuantificación. Y se han tenido en cuenta distintos factores que pueden provocar alteraciones en la imagen, como la calibración y estabilización de la cámara o la influencia de la temperatura ambiente (58,66,71).



Figura 8. Cámara para teléfono móvil FLIR ONE Pro

2.3.4. Usos de la termografía

En origen los detectores infrarrojos se empezaron a desarrollar durante el siglo XX, entre otros, para detectar personas en la oscuridad (17). Posteriormente, se adaptó su uso en Medicina, en enfermedades reumáticas o cáncer de mama (67) y, con el desarrollo de las nuevas tecnologías la termografía infrarroja, se emplea en muy diversos campos.

2.3.4.1. Usos generales de la termografía

Al principio, durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) se desarrolló la tecnología para conseguir visión nocturna (35), gracias al uso **militar**, se produjo el avance de la utilización de los infrarrojos (67), por ejemplo, en la lucha contra incendios en barcos o para prevenir que terroristas tengan acceso a los circuitos optoelectrónicos que pueden guiar misiles (17,72).

En su uso **industrial** la termografía permite realizar inspecciones rutinarias para el correcto mantenimiento de fábricas, como la detección de radioactividad, el calentamiento y el secado de procesos industriales o la supervisión del funcionamiento de maquinaria, como en automovilismo (15,17). También es útil en la industria química del petróleo para conocer los niveles de líquidos y sólidos en depósitos o, en la industria del gas, para detección de fugas (67).

En **arquitectura**, la termografía es una buena herramienta para diagnosticar el estado de los edificios y evaluar su aislamiento, detectando humedades, presencia de termitas, pérdidas de calor, gases, encontrar estructuras escondidas en paredes antiguas o detección de fuegos (15,17,72).

También se usa para la **detección de personas** en distintas situaciones, como los ancianos que puedan sufrir caídas en el hogar, personas ocultas por el humo o niebla, para reconocimiento facial o para detectar la presencia de intrusos en edificios o en la oscuridad (17).

Hay muchas otras aplicaciones en **ciencias**, como astrofísica, investigación meteorológica, climatología, astronomía y telecomunicaciones (32). La termografía en la **industria alimentaria** se puede emplear para detectar fruta o verdura dañada, infecciones

fúngicas en el trigo ya recogido (17), para el estudio de alteraciones o enfermedades en vegetales, la contaminación ambiental o descubrir objetos quemados en el suelo tras un incendio (15).

La termografía infrarroja se emplea en **Veterinaria**, permitiendo conocer el estado de salud de los animales que no pueden comunicarnos la sensación de dolor (67), la detección de la mastitis en fase subclínica del ganado (73), el estudio de los cambios de temperatura que se producen en perros por la actividad física (74) y de las pezuñas del ganado, estados febriles, infecciones localizadas o estudio de cojera en caballos (17). Además, puede emplearse para la reproducción del ganado (75), incluso para el conocimiento del estado psicológico del animal en situación de estrés, así como para conocer el estado de fertilidad, bienestar y el metabolismo (76,77).

2.3.4.2. Usos médicos de la termografía

Los primeros y más importantes usos de la termografía en **Medicina** fueron en el estudio de la artritis para evidenciar la inflamación y medir e interpretar los resultados que ofrecían algunos tratamientos (12), también se empleó para el diagnóstico y *screening* del cáncer de mama (13–15). Después se han ampliado considerablemente los campos de aplicación de forma que se ha usado, por ejemplo, en alteraciones neurológicas, cirugía a corazón abierto, enfermedades vasculares, síndrome de distrofia simpático refleja, urología, detección de fiebre y monitorización de la presión sanguínea, fenómeno de Raynaud, daños producidos por la vibración, estudios sobre diabetes, enfermedades malignas (12), estudio de la enfermedad de Paget, oncología, odontología (2,3), cirugía, oftalmología, evaluación del estado psicológico (67), ortopedia, obstetricia y ginecología (3,16,17,38,78) y otros muchos como el estudio de enfermedades traumáticas y tejidos blandos o el estudio de los tejidos inflamados que rodean a implantes artificiales (15). A nivel musculoesquelético, se ha empleado para detectar puntos gatillo miofasciales (*trigger points*), inserciones tendinosas débiles y puntos sensibles en fibromialgia (79).

Complementariamente, en dermatología se emplea para detectar inflamación local en alergias, lesiones herpéticas, estudio del estrés dinámico de la piel (13), placas psoriásicas activas o escleroderma localizado. En cirugía plástica, por su parte para detectar puntos calientes que pueden ayudar a elegir el mejor lugar para extraer colgajos de perforantes (79).

En **Ciencias del deporte** el uso de la termografía se ha extendido desde los últimos diez o quince años, con el principal objetivo de prevenir y evaluar lesiones en atletas. Como ejemplos, se emplea para detectar la hipertermia en zonas lesionadas, analizar la distribución de la temperatura corporal antes, durante o después de realizar ejercicio, realizar estudios de la emisividad de la piel con sudoración, analizar cómo afecta la indumentaria en la temperatura, mejora de la técnica, etc. (8,67).

2.3.4.3. Termografía en Podología

El pie presenta unas características anatómicas y fisiológicas que lo hacen diferente. Es una estructura periférica del cuerpo que representa el 7% de la superficie corporal (80) y tiene su propia vascularización y termorregulación. Sus características físicas le permiten soportar el peso del cuerpo y las fuerzas propias de la actividad deportiva. Todo ello, gracias a la estructura ósea que forma un arco longitudinal y otro transverso. El pie posee cantidad de estructuras que dispersan calor, como las glándulas sudoríparas o el tejido óseo que, unido a la ausencia de grandes músculos en el pie, aumenta la susceptibilidad a las lesiones por frío, por ejemplo, en deportes de invierno como el esquí (81,82).

Los movimientos que controlan el pie se producen a través de músculos que se localizan en la pierna, por lo que no se liberará energía térmica en el pie cuando esos músculos se activan. El pie representa aproximadamente el 7.1-7.4% (mujeres-hombres) de la superficie total del cuerpo. La inervación del pie se produce a través de 5 nervios:

- Ramas del *nervio tibial*: *nervios calcáneo medial* y *nervios plantar medial* y *lateral*, que inervan el talón, la planta y los primeros cuatro dedos. Discurren desde la parte posterior del maléolo medial y el *nervio plantar* controla los *músculos intrínsecos del pie*.
- El *nervio peroneo profundo*, que atraviesa el dorso del pie y recibe la información de la superficie.
- *Nervio safeno*, que inerva la zona medial del tobillo y dorsal del pie.
- *Nervio sural*, que inerva la zona lateral del pie.

En cuanto a la distribución de los termorreceptores en los pies, no es homogénea, encontrándose unos 5.6 receptores de frío por centímetro cuadrado (cm^2) en el dorso y 3.4 por cm^2 en la planta. Mientras que los sensores de calor se distribuyen 0.4-1.7 por cm^2 en toda la superficie. Estos receptores de frío responden a temperaturas que varían de -5 a 43 °C y los de calor 28-48 °C (7).

La vascularización de los pies se produce a través de arterias que llegan por detrás de los maléolos: *arteria tibial posterior*, *arteria maleolar lateral* y se cruzan en el dorso del pie en la *arteria pedia dorsal*. Ésta a su vez, se divide en las *arterias dorsales medial* y *lateral*, *arqueada dorsal* y *1.ª arteria metatarsal dorsal*. Además, las *arterias 2.ª*, *3.ª* y *4.ª metatarsales dorsales* se bifurcan en dos *arterias digitales dorsales* para cada dedo y completan la vascularización de la zona dorsal del pie. En la zona plantar, la *arteria tibial posterior* se subdivide en la *arteria plantar medial* que discurre bajo el maléolo medial, que vasculariza los músculos del pie, la piel plantar en su parte medial y los tres dedos mediales. La *arteria plantar* vasculariza el calcáneo, los músculos adyacentes, zona plantar del tarso y articulaciones metatarsofalángicas y la zona lateral de la planta. A veces, se une a la *arteria dorsal pedia* formando el *arco plantar profundo*. Las *arterias plantares metatarsales* se formarán para bifurcarse en las *arterias digitales plantares*, que proporcionan el mayor aporte de sangre a los dedos.

Los capilares de la zona papilar de la piel en los pies presentan una densidad variable aproximada de unos 40-70 vasos milímetro cuadrado (mm^2). Y permiten la disipación de el calor con las anastomosis arteriovenosas, por debajo de los capilares, principalmente en la planta y en el lecho ungueal. Esas anastomosis, al dilatarse, producen un aumento muy importante del flujo sanguíneo en la piel. Por el contrario, la constricción de las arteriolas y las anastomosis reducen el aporte de sangre a las zonas acras para conservar el calor (7).

La función de las venas es mantener el volumen y presión sanguínea central. Participan en la regulación de la temperatura reduciendo el volumen de sangre en el lecho del tejido cutáneo. Además, la proximidad entre las venas y las arterias en los pies permite que la sangre sea transferida a las venas, lo que reduce la pérdida de calor. La sangre en el pie se drena desde las venas superficiales en la planta y el dorso. El retorno venoso se

ve activado por la compresión que se produce en el arco venoso plantar en bipedestación (7).

El flujo sanguíneo no suele ser estable y los cambios de temperatura afectan a los vasos cutáneos. En estado normal, las venas de la planta del pie se encuentran en vasoconstricción y, consecuentemente, hay un acúmulo de sangre venosa mínimo. Para dispersar el calor que se produce con el ejercicio físico o por el medio ambiente, se genera la vasodilatación de la región dorsal, aumentando la perspiración. La perspiración en el pie es uno de los mecanismos de disipación de calor más importantes. La planta del pie posee 467 glándulas sudoríparas por cm^2 , mientras que la zona dorsal solo 119. Por tanto, los pies pierden más agua que el resto del cuerpo, convirtiéndose en un radiador térmico cuando es necesario (81). Sung, Jao y Cheng en 2005, encontraron que la temperatura media de la planta completa del pie es más estable que la medición de subregiones, con la temperatura más alta en el arco y la más baja en los dedos menores (50).

En cuanto a la reducción del calor en los pies cobra importancia la sudoración que se produce a través de glándulas ecrinas, aunque la mayor cantidad de agua que el pie pierde es a través de la pérdida de agua transepidérmica. La pérdida de agua en la planta del pie es de 2 a 4 veces mayor que en otras superficies del cuerpo. Las glándulas sudoríparas ecrinas en el pie son 410 000 y el 77% se encuentran en la planta, que también permiten la pérdida de calor a través de la evaporación del sudor (7).

El intercambio de calor también está determinado por las propiedades físicas de los pies y el medio externo, ya sea por la producción de calor, secreción de sudor y la perfusión variable. Los calcetines y otras prendas como el calzado proporcionan aislamiento pero no un aumento de la temperatura en el pie (7).

La medición de la temperatura infrarroja del pie tiene baja reproducibilidad, especialmente en los dedos, ya que es poco estable y depende de factores como el sistema nervioso simpático, la temperatura ambiente o determinadas condiciones fisiológicas (50). En las mediciones se recomienda controlar factores extrínsecos como el consumo de alcohol, tabaco y medicación o evitar el ejercicio físico previo, así como adaptarse a la temperatura y humedad de la sala de estudio (81).

Los usos de la termografía infrarroja en el pie son muy diversos, por ejemplo para detectar puntos más calientes en el pie, que son indicadores de **inflamación**; estudio de **fracturas de estrés** (16), en **diabetes mellitus** (3), para detección de zonas pre-ulcerosas (17,18), neuropatía diabética o en el estudio de la enfermedad arterial periférica, relacionada con la medición del índice tobillo/brazo (28).

2.3.4.4. Termografía en la infancia

Se considera que la niñez comprende el espacio de la vida que discurre desde el nacimiento hasta la pubertad. Con respecto a la temperatura corporal, los niños presentan características peculiares que les hace diferentes a los adultos, incluso los niños más pequeños generalmente tienen temperaturas más altas que niños mayores, pudiendo variar desde los 36 °C por la noche a 37.8 °C después de comer (19). A la hora de examinar la temperatura corporal, se ha usado tradicionalmente la medición de la temperatura axilar, aunque con menor sensibilidad que la temperatura rectal. En la guía del Institute for Health and Care Excellence (NICE) de Reino Unido, se sugirió la medición de la temperatura axilar empleando un termómetro químico o electrónico en niños mayores de 4 semanas. Actualmente se realizan mediciones de temperatura en diversas zonas corporales como la axila, el recto, la boca, la piel, el oído (19) o el canto interno del ojo (83).

Se han encontrado estudios que afirman que los niños son más eficientes a la hora de evaporar el sudor, posiblemente por sus características relacionadas con la sudoración (densidad de glándulas, tamaño, forma y distribución), además de un buen suministro sanguíneo a la periferia (84).

En relación a las estrategias para conseguir la reducción de la temperatura corporal los niños presentan algunas diferencias con respecto a los adultos, ya que cuando hacen ejercicio en un medio cálido dependen más del intercambio de calor (conducción y convección) que de la evaporación del sudor (85), puesto que su producción es aproximadamente la mitad que la de los adultos, incluso el tamaño de una gota de sudor es más pequeña, aumentando con el proceso de maduración (86).

En estudios posteriores se ha explicado que la regulación de la temperatura de los prepúberes (9-12 años) se asemeja a la de los adultos cuando las condiciones térmicas son neutras (86). Durante la actividad física de los niños, es importante una correcta hidratación, ya que poseen un coste metabólico mayor para la realización de ejercicio, llegando a producirse una gran cantidad de calor (86,87).

Sin embargo, hay controversia al respecto, ya que algunas investigaciones demuestran que las niñas, al igual que las mujeres, están aclimatadas al calor, presentando ajustes similares tanto cardiovasculares como termorreguladores, cuando realizan ejercicio en el exterior con calor y humedad (88).

El uso de termografía con niños, dada su inocuidad, puede complementar el diagnóstico y evolución de las **lesiones musculoesqueléticas** como, por ejemplo, en las fracturas óseas o lesiones como los **hemangiomas**, debido a que existe simetría térmica en el cuerpo humano, permitiendo detectar la presencia de puntos lesionados (89–91).

En cuanto a la temperatura de los pies de los niños, en los trabajos de Cobos Moreno (2018) (20) y (2022) (92) se indica que en las zonas de interés estudiadas en la planta del pie, la media se haya en torno a los 29 °C, con diferencias significativas entre las zonas. Las temperaturas más altas se localizan bajo la primera cabeza metatarsal y las más bajas en el talón. Por otro lado, el trabajo muestra que las temperaturas en las niñas tienden a ser menores que en los niños.

2.4. Calzado

2.4.1. Historia del calzado

Existen evidencias de que el ser humano se calza desde hace 30 000 años (93). Ya en el Paleolítico Superior, período en el cual cubrían los pies con pieles para protegerse del frío más que para evitar las dificultades del terreno, hasta Grecia y Roma donde el calzado era símbolo del estatus social, el calzado ha sido representado en pinturas o encontrado entre los restos fúnebres (94,95). Actualmente, se considera un importante elemento de la vestimenta, con lo que se encuentra íntimamente relacionado con la moda (96).

Al principio, el ser humano usó hojas, después corteza de los árboles y posteriormente pieles de animales como sistema de protección del pie. En el tiempo en que el *Homo sapiens* vivía de la caza, con la piel se protegía tanto del frío como de las alteraciones del terreno. La evolución del calzado se produce por el ingenio del hombre para adaptarse al medio hostil y así caminar, correr, saltar... Si al principio el calzado tenía función de protección frente al terreno y al frío o la picadura de algún insecto o animal (97), hacia el año 10 000 el clima del occidente europeo cambia por lo que el calzado que al principio se empleó para la caza se adaptó para la agricultura, empleándose una suela a modo de segunda planta del pie (98).

En 3200 a. C., en Egipto, se encuentra el uso generalizado del calzado, ya que se empleaba una sandalia realizada con fibras vegetales y que servía para proteger el pie del calor del terreno. Después, la sandalia sirvió para distinguir el rango social, siendo el faraón el único que podía llevar suela en su calzado. Más adelante se emplearon materiales como el cuero y solo la familia imperial y los sacerdotes podrían llevar ese tipo de sandalias (97).

En Norteamérica los indios usaron mocasines de piel de gamo. Sin embargo, en China desde la dinastía de los Tang (618-907 d. C.) se usaron zapatos de tela, madera o pieles de animales. Los asirios incluyeron el tacón en su calzado, formado por una suela en ángulo decreciente, de talón a dedos, que se sujetaba al pie gracias a unas tiras de piel cruzadas que alcanzaban el tobillo. La babucha fue el calzado empleado en todo el mundo islámico a partir del siglo VII y se confeccionaba con badana o paño para las clases populares, mientras que los comerciantes o nobles las llevaron de sedas coloridas y con piedras engastadas (98).

Entre los siglos XIV a XVI, en Europa, los campesinos llevaban calzado de esparto o piel curtida de una sola pieza, mientras que la nobleza calzaba con puntera alargada, aumentando durante el renacimiento la longitud de la punta y apareciendo en esa época el talón elevado. El desarrollo de la profesión de zapatero y el uso del calzado con tacón obliga a la realización de diferentes hormas, aunque se empleó la misma horma para ambos pies, hasta que en el siglo XIX se volvió a diferenciar una horma para cada pie (97-99).

En el continente americano en el siglo XV, el calzado que usaban era el mocasín, que se caracterizaba por ser sencillo y adaptable a los diferentes terrenos, con la suela de una pieza cosida al recubrimiento del empeine. El mocasín podía decorarse con pedrería multicolor en relación a las creencias religiosas, la magia o el arte del guerrero. Curiosamente el mocasín también fue el calzado en las culturas lapona, países balcánicos o en China (98).

No fue hasta mediados del siglo XVIII cuando se produjo un aumento del consumo del calzado, a lo que respondió la revolución industrial, aumentando la producción y la productividad lo que condujo a mayores beneficios. En la segunda mitad del siglo XIX, ocurre la expansión de la producción del calzado, en el momento en el que el consumo se generaliza y llega el desarrollo de la tienda (98). En 1854 se empleó la primera máquina en la industria zapatera, que fue la máquina rodante o *rolling machine*, que reemplazó al martillo y piedra *lapstone* (97). Por otra parte, no fue hasta el siglo XX cuando se empezó a diseñar calzado de diferentes anchuras (99).

2.4.2. Características y funciones del calzado

Según Staheli y Maier el calzado no debe influir en el pie normal, solo protegerlo de las lesiones y el frío (100), para lo cual es importante en la producción del calzado la **ergonomía** y la **comodidad**, siendo necesario el conocimiento de las dimensiones del pie para posteriormente diseñar las hormas, plantillas y suelas. Así la horma se define por la anatomía del pie y determina la estética y la funcionalidad del calzado; las suelas y las plantillas garantizan el confort (101).

El calzado debe cumplir una serie de funciones entre las que destaca la **protección** frente al ambiente externo y además, debe ofrecer **confort térmico** y **mecánico**. Todo ello se consigue a través de los componentes del mismo. Así, el calzado protege al pie del medio externo, siempre que lo cubra, y según el tipo de materiales con los que se fabrique. El confort térmico permite a la vez la transpiración y el aislamiento térmico, de forma que evita la sudoración, el frío, el calor, la humedad... Para conseguirlo se debe tener en cuenta el forro interior, pudiendo emplearse la lana o similares en condiciones de mucho

frío, mientras que el forro debe absorber el sudor en caso de calor o se construirá con membranas técnicas en el calzado deportivo y de montaña. Se prefiere que el corte sea flexible y transpirable, con lo que se adaptará a las condiciones climatológicas (temperatura y humedad). La suela y la plantilla deben ser blandas y evitar el exceso de sudoración (102). El confort mecánico o sensación de comodidad al estar calzado, se consigue con una buena adaptación al pie, al movimiento y a la capacidad de amortiguación. Además, la suela debe permitir el agarre al suelo distribuyendo las presiones. El interior debe tener un buen acabado, siendo ligero y flexible (102,103). El calzado en general debe permitir la torsión, favoreciendo la estabilidad y progresión correcta de la marcha, con amplitud suficiente para recoger el pie sin oprimirlo (103).

El calzado, además, colabora con la función del pie, acomodando distintas deformidades e incluso contribuyendo en el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas. También aumenta la fricción para evitar deslizamientos, incrementa la estabilidad, disminuye el impacto al contacto con el suelo y es la base para el tratamiento con ortesis plantares (104). De esta forma, el calzado influye en el desarrollo estructural y funcional del pie (105), con lo que influye a largo plazo en la salud del mismo (106). En resumen, afecta tanto a la cinética como a la cinemática, influyendo en el movimiento humano. Los sistemas de amortiguación, elementos de estabilidad lateral, altura, dureza y geometría del tacón, son los elementos más importantes que relacionan el calzado y la biomecánica del individuo (107). Siendo así, en niños y en personas de más edad, el calzado se ha relacionado con el desarrollo musculoesquelético y con las caídas (108).

A la hora de elegir calzado hay que tener en cuenta las preferencias individuales y la estética, ya que influye en el bienestar psicológico y emocional, aunque se debe dejar el efecto de la moda en último lugar (107). Para Vernon *et al.* (2007) el **calzado saludable** debe cumplir las siguientes características (107):

1. Puntera que permita la función normal del pie.
2. Ancho y longitud suficiente.
3. Suela que permita función normal.
4. Suavidad y flexibilidad de forro y corte.
5. Tacón estable de 2.5 cm aproximadamente.
6. Interior que permita ambiente saludable, sin costuras.
7. Cuidado de las partes delicadas del pie.

8. Mantenimiento de su forma un tiempo razonable.
9. Diseño que evite resbalar.
10. Disponibilidad de información y soporte técnico del fabricante.
11. Suela externa que cumpla los criterios de The Shoe and Allied Trade Research Association (SATRA). Las suelas deben estar realizadas y diseñadas para evitar el deslizamiento. Con adaptación al suelo para aumentar el área de contacto, además de evitar que con el desgaste puedan favorecer que se resbale (109).

2.4.3. Partes y componentes del calzado

De forma general, existen diferentes tipos de calzados, según época del año y el uso al que se destine: Oxford, bota, botas de agua, botín, manolita, zueco, mule, sandalia, chancla, zapato de salón, mocasín... (104).

El calzado presenta diferentes partes (110) (**Figura 9**):

- Corte, que es la parte superior sobre la suela y no incluye ni la lengüeta ni el acolchado. Suele estar fabricado en piel que es un material duradero, transpirable y moldeable sobre las deformidades del pie. Actualmente se puede fabricar de otros materiales sintéticos (111) preparados para aumentar la transpirabilidad, como la malla aunque tiene menor durabilidad (108), materiales como el nylon que son más ligeros y frescos, o el vinilo que es más barato y proporciona peor ventilación. El color del calzado influye también en la temperatura que alcanza el pie absorbiendo más calor el calzado negro que el blanco (112).
- Lengüeta.
- Sistema de ajuste: ojales con cordones, cintas de gancho y bucle (Velcro®), hebillas...
- Plantilla interior.
- Suela exterior, que es la que entra en contacto con el suelo.
- Enfranque.
- Tacón.
- Refuerzos, que son piezas que se fijan en el lado exterior del corte para que sea más resistente.

- Contrafuerte, que es el material que da firmeza a la parte posterior del talón.
- Puntera, que es el material que refuerza el corte en la zona de los dedos.



Figura 9. Partes del calzado

2.4.4. Calzado infantil

En la edad escolar es importante que el calzado sea duradero pero a la vez flexible, suficientemente amplio, como el tipo Oxford con cordones, y debe tener una horma recta con espacio para los dedos (97).

En los niños, es importante que el calzado permita un buen *feedback* tanto sensorial como con el medio ambiente que le rodea (113). Hay autores como Wegener *et al.* (2011) que aseguran que el niño calzado camina más rápido, presentando un aumento de la actividad del tibial anterior y de la fase de apoyo de la marcha, a la vez que tiene menos movilidad del pie. En la carrera, se disminuye la velocidad de la pierna en la fase de balanceo y el impacto durante el choque, favoreciendo el apoyo de talón (114). En el estudio sobre la influencia del calzado en el pie de los niños, se ha demostrado que en aquellas comunidades que caminan descalzas se encuentran pies con buena movilidad, con aumento de la piel plantar, diferentes alturas de arco interno, ausencia de deformidades y dolor (94).

Para que la adaptación pie-calzado sea correcta, este debería tener en cuenta la amplia variedad de tipos de pies de los niños (115). De esta forma, el calzado debe tener

longitud y anchura suficiente para no comprimir el pie y en la medida de lo posible, que cumpla con las preferencias personales del niño, permitiendo un desarrollo adecuado del niño tanto físico como motor (94,103).

En la elección del calzado que mejor se ajuste al pie del niño, habitualmente los padres o cuidadores localizan el dedo más largo (que suele ser el primer dedo) en el interior del calzado (103), debiendo ser el calzado entre 5-12 mm más largo (116) y siendo más complicado evaluar el ancho del calzado (117). Se considera necesario tener en cuenta que el pie de los niños de los 5 a los 12 años crece anualmente de 0.8 a 1 cm aproximadamente (105), aunque hay autores que han publicado que el pie de los niños crece anualmente entre los 6 y los 14 años hasta 6.2 mm y, unos 4.2 mm, el de las niñas, alcanzando a los 8 años la proporción longitud-anchura de pie parecida a la de los adultos (116). Por esta razón no es adecuado diseñar el calzado de los niños disminuyendo el tamaño de los moldes de los adultos (103,115,118). El calzado de los niños debería fabricarse en función de la edad y el peso (119). Es necesario tener en cuenta también que entre los 7-14 años van apareciendo las diferencias físicas y fisiológicas entre ambos sexos, empezando la moda a tomar relevancia a la hora de elegir el calzado. En cuanto a la marcha, no es hasta los 7 años cuando se alcanza el patrón parecido al de los adultos y, hasta los 14 años, cuando se asemeja más a la marcha adulta (103).

El mal ajuste del calzado de los niños puede provocar problemas y patologías en el pie, incluso distensiones musculares y tendinosas (96) o alteraciones óseas por la presión (115). La adaptación debe ser tanto en longitud, como en anchura y altura (116). Con una buena adaptación del calzado al pie, se podrían evitar ampollas, hematomas, *hallux abductus valgus*, dolor, pies y piernas cansados (117,120) y lesiones hiperqueratósicas (93).

Por otra parte, hay que tener en cuenta el estado de salud y las actividades que realizará el niño a lo largo del día: estar sentado, de pie, caminar, correr y el ambiente en el que las actividades se realizan, ya que todo ello influirá en el ajuste del calzado (117,120).

En algunos casos pueden producirse dermatitis de contacto, pues la piel del niño puede ser sensible a componentes químicos de la goma del calzado (121). Aunque las

alergias de contacto en menores de 16 años son raras, en caso de producirse, suelen estar relacionadas con la goma, el adhesivo o los compuestos químicos empleados para el tratamiento de la piel (dicromato de potasio, colofonia, cloruro de cobalto y mezcla de mercapto) (122).

En relación a los materiales, el corte del calzado para niños puede ser de piel, sintético, de malla u otros (108). Si el corte es de piel posee más durabilidad y transpirabilidad, por lo que previene el crecimiento de hongos y se amolda mejor a deformidades en el pie sin presionarlo. El forro de tela permite que la piel mantenga sus características. Actualmente, hay materiales sintéticos que son muy absorbentes para el sudor y que son muy transpirables pero tienen menos durabilidad. En cuanto a las suelas es recomendable que sean rugosas para evitar los resbalones y lesiones posteriores (108,123).

Los componentes del calzado infantil deben cumplir una serie de requisitos (103):

- El corte debe ser, preferiblemente, de piel natural y alto sobre el empeine con cierre de Velcro®, hebillas o acordonado y con lengüeta para proteger la zona. El interior debe evitar las costuras, los refuerzos sobre el empeine o la zona de flexión de los dedos, ya que se pueden producir daños en el pie.
- La parte trasera debe ser cerrada y ajustada al talón, permitiendo estabilidad lateral y la amortiguación de impactos. El contrafuerte debe ser de material suave, para que mejore la capacidad natural de amortiguar que tiene la grasa plantar, con un material no excesivamente blando en el interior.
- La puntera debe proteger los dedos sin producir alteraciones de los mismos, preferiblemente cuadrangular con espacio suficiente para albergarlos.
- La plantilla interior debe disminuir las presiones que pueda recibir el pie a la vez que debe evitar la sudoración.
- La suela será de espesor suficiente para proteger el pie, pero debe permitir la sensibilidad y flexibilidad del pie, con dibujo en la zona exterior que agarre al firme. El tacón será bajo y amplio contribuyendo a la estabilidad de la marcha del niño.
- Su peso será ligero.

2.4.5. Historia del calzado deportivo

La **historia del calzado deportivo** comienza relacionada con la caza y la guerra, en época romana se emplearon zapatos de suela claveteada como arma contra el enemigo. Es interesante exponer que en Egipto se encontró la tumba de un niño del año 3000 a. C. con un calzado para el juego de bolos. Incluso al final de la primera era olímpica (776 a. C. a 392 d. C.) los griegos llevaban una sandalia llamada *ligula* o *kepis*. Sin embargo, entre los siglos XII y XIV, la elaboración del calzado empleaba viras, tachuelas, pieles y poco más. En el siglo XIV se empezó a usar clavos (tacos) y chapas (tapas) para el tacón y espuelas en las botas. Por otro lado, los primeros modelos de zapatillas ligeras se realizaron en el siglo XVI en Europa y los llevaron juglares y bailarines que danzaban en las cortes. Fueron las precursoras del calzado que se empleó en deportes de interior en Francia e Inglaterra, como la *plimsoll*: zapatilla de lona con protección de goma y suela de esparto. No fue hasta mediados de 1800 que comenzó una nueva era por el aumento de la práctica de deportes como béisbol, tenis, bolos, hockey, patinaje sobre ruedas, fútbol y voleibol y la mecanización de la producción del calzado deportivo. No llegó el desarrollo del sector hasta la recuperación de la Segunda Guerra Mundial y la economía y con el aumento del consumo. Actualmente, el desarrollo de nuevos materiales como el poliuretano, el polietileno y los acetatos con nuevas características tecnológicas permiten mejorar el rendimiento de los atletas (98).

Las primeras zapatillas para correr se realizaron con suela plana en 1868. Una de las primeras fábricas de calzado deportivo fue A. G. Spalding Co, en Estados Unidos, que en 1909 fabricaba zapatillas para maratón, salto de altura, carrera campo a través y carrera de vallas. La zapatilla deportiva vulcanizada de goma y tela se desarrolló en 1868 para practicar deporte en pista y, en los años 80 del siglo XX, se adaptaron a la carrera o el tenis. Debido al aumento de popularidad que experimentó el deporte entre 1850 y 1900, el diseño del calzado deportivo empezó a tener un papel importante, siendo después de la Segunda Guerra Mundial cuando el deporte se convirtió en un fenómeno social y se inició del desarrollo de la industria del calzado deportivo (98).

Ahora se considera que el **buen calzado deportivo** nació como complemento para facilitar el impulso, la amortiguación, la flexibilidad y la estabilidad del pie (98).

2.4.5.1. Calzado deportivo infantil

Debido al aumento de la actividad física, se considera que, a partir de los 7 años, toma sentido que los niños empiecen a llevar calzado deportivo (103). Este deberá proteger de las lesiones a la vez que permitirá una práctica deportiva cómoda y eficaz, también se adaptará a la complexión física y las características personales de cada usuario (124). Deberá estar pensado, diseñado y construido para la práctica del ejercicio físico en cada una de sus modalidades, ya que se adaptará al gesto deportivo, tendrá en cuenta la absorción de impactos, la transmisión de las fuerzas reactivas del suelo, etc., de ahí la importancia de la elección del calzado adecuado en función de la actividad y de la superficie (125). Además, hay que tener en cuenta factores como el sexo, el peso, la edad y el nivel deportivo del individuo, siendo importante que el tamaño del calzado deportivo sea adecuado en los niños evitando que el pie sufra compresiones (124).

Es necesario que el calzado deportivo tenga bajo peso y capacidad de evaporar el sudor y cumplir como barrera para la penetración del agua, permitiendo el confort térmico que hace más placentera la actividad física, evitando a su vez la aparición de ampollas e infecciones por hongos o bacterias. En cuanto a la suela, debe permitir el agarre para evitar las caídas, tanto en superficies secas como mojadas y en las diversas superficies posibles como asfalto, tierra, césped, madera o superficies sintéticas, por ejemplo (124). El agarre proporcionado variará también en función a la actividad, la suela estará fabricada en diferentes materiales más o menos duros y tendrá dibujos o tacos para mejorar el agarre, facilitar el giro o incluso permitir el drenaje de agua y/o barro. Aún así, será necesario que la suela flexione en la zona de los dedos y que tenga capacidad de torsión para la adecuada movilidad del pie. Además, hay que valorar la capacidad de amortiguación del calzado, para ello se emplean materiales como etil-vinil acetato (EVA) de distintas densidades, poliuretanos, espumados de caucho o cámaras de aire o gel que se ubican en la entresuela del calzado y contribuyen a la amortiguación de impactos (124). También hay que tener en cuenta la unión del corte con la media suela de forma que pueden estar montadas de tipo *slip*, en la que la parte superior es envuelta y cosida antes de ser unida a la media suela, de tipo *board* en la que la parte superior es cosida a una delgada fibra y unida directamente a la media suela, o puede haber una combinación de las dos (126,127).

Para los niños es recomendable, que el calzado deportivo se ajuste bien en la trasera, con un buen contrafuerte que incorpore entre la entresuela y la plantilla un hueco en forma de “cazoleta” que recoja la grasa plantar del talón, para potenciar su capacidad natural de amortiguación. El material de corte se recomienda que sea preferiblemente flexible y transpirable, siendo así las membranas técnicas y los forros interiores absorbentes y sin costuras. Debe tener lengüeta acolchada para evitar la presión del sistema de cierre sobre el empeine. En cuanto a la puntera, estará reforzada y tendrá amplitud para permitir la movilidad de los dedos. La plantilla influye en el confort térmico y mecánico, ya que ayuda a mantener el pie libre de sudor y a distribuir las presiones en la planta del pie, contribuyendo a la amortiguación de impactos. Para mejorar la función térmica del calzado y para reducir el sudor, se recomiendan plantillas con perforaciones bajo los dedos y el arco interno (124).

Al igual que el calzado convencional, el calzado deportivo debe adaptarse a la anatomía y al desarrollo del pie del niño. El problema es que no hay suficiente inversión por parte de los fabricantes de calzado deportivo, ya que el cliente infantil no es tan rentable como el adulto, por lo que suelen disminuir el tamaño de la horma del calzado adulto, no desarrollando hormas específicas para los niños. Esto no debería ser así, ya que de los 6 a los 10 años los niños presentan más presión en el talón y a los 8 años aproximadamente las fuerzas de reacción del suelo alcanzan el mismo nivel que en adultos. En cualquier caso, el almohadillado puede aumentar pero no debe ser excesivo ya que es necesaria la presión como estímulo para el desarrollo de los huesos y los músculos. También es necesario que presenten estabilidad en mediopié y retropié. En cuanto al sexo, se debe tener en cuenta que la horma del pie de las niñas debe ser más delgada y la del niño más voluminosa. La altura de tacón debe ir aumentando hasta los 12 mm en adultos (128). Es importante que proporcione buena tracción y estabilidad lateral para que las maniobras en el deporte no resulten lesivas (129).

Particularidades del calzado infantil, independientemente de la edad (128):

- Ajuste: es importante elegir la talla correcta para conseguir el ajuste perfecto. Se debe medir la longitud y ancho del pie para elegir el calzado.
- Cierre: tiene que ser fácil de usar y de longitud adecuada para que permita estabilidad y el pie no se deslice y se ajuste al empeine y al arco. Para ello se

recomienda que los ojales estén a 35-45° del suelo (**Figura 10**), con cordones de longitud suficiente.



Figura 10. Calzado deportivo infantil

- Material: debido a que el pie infantil pierde unos 20 gr de agua en 8 horas, incluso más al realizar ejercicio, los materiales superiores deben ser capaces de absorber la humedad y llevarla al exterior.
- Peso: debe ser reducido para no aumentar las necesidades energéticas, para lo cual se desarrollan nuevos materiales.
- Precio: no tienen porqué ser caros, puesto que no es necesario que posean sistemas antipronación, ni acolchados técnicos; además necesitan poca cantidad de material, aunque, por otro lado, los costes de producción son altos por el bajo volumen de calzado producido.

Para conseguir una elección adecuada, se proponen 10 consejos para comprar calzado deportivo en niños (128):

- 1- Compruebe el ajuste del calzado al menos una vez al mes, ya que los pies pueden crecer hasta 3 tallas al año.
- 2- El calzado debe ser aproximadamente 1.67 cm más largo que el pie.
- 3- Es mejor comprar calzado un poco más largo y ancho que corto.
- 4- La suela debe permitir la flexión en la zona del metatarso.
- 5- No es necesario que tenga tacón.
- 6- El almohadillado puede ser leve en edad escolar.

- 7- No es necesario soporte en el arco interno, ya que el aplanamiento es normal durante el desarrollo del pie.
- 8- El material del corte debe permitir ventilación suficiente.
- 9- El calzado se debe probar por la tarde, cuando el pie está más inflamado después de caminar y estar de pie todo el día, así nos aseguramos que no es pequeño.
- 10- La embocadura debe estar acolchada y no molestar en el tendón de Aquiles o el tobillo.

2.4.6. Investigaciones sobre la temperatura del calzado

Se han realizado algunos estudios que relacionan la calzado y la temperatura en su interior, así Goga en 2012 publicó que en el interior del calzado se produce un aumento de la temperatura y la humedad (130) y Shimazaki y Murata en 2015 describieron que se puede producir sensación de incomodidad e incluso lesiones o infecciones (131). Por ello, autores como Sandoval-Palomares *et al.* en 2016 recomendaron el empleo de sistemas portátiles para monitorizar la temperatura y la humedad en las zonas entre la plantilla del calzado y la planta del pie (132).

Shimazak *et al.* en 2015, indicaron que el aumento de la temperatura en algunos puntos del pie está relacionado con aumento de cargas, como ocurre bajo el primer dedo y el talón. También, que al caminar a más velocidad se producen más fuerzas de contacto, más velocidad en la fase de choque, aumento de la temperatura y aumento del metabolismo. Así relacionaron la temperatura del pie con el aislamiento y con el calor que se retiene en el interior del calzado. Por otra parte, describieron la disminución de la temperatura en la zona del empeine por convección y por la ventilación producida por el movimiento del pie. Además concluyeron que la evaporación del sudor, tiene efecto beneficioso en el arco, aunque no tanto en el ambiente térmico general del calzado (131).

En 2005, Işık publicó que, cuando el cuerpo se encuentra en un medio ambiente frío, la temperatura de los pies es menor que la del resto del cuerpo. De forma que se pueden colocar dispositivos para mantener los pies a una temperatura deseada, sin que ello afecte a la temperatura general del cuerpo (133).

Otros estudios como el de Shimazaki *et al.* en 2016, valoraron la temperatura y la aireación en relación a la percepción del confort térmico en el interior del calzado cuando el ambiente presenta temperaturas altas, concluyendo que, durante la marcha, el aumento de temperatura tiene que ver con el calor generado en el ejercicio y con el contacto del pie. Para enfriar el pie, se producen los fenómenos de radiación y evaporación pero no son suficientes durante la carrera, por lo que también se debe tener en cuenta la pérdida de calor por convección y la ventilación en el interior del calzado. Así en la zona inferior al ALI se produce un espacio que proporciona más ventilación y sirve para mejorar el enfriamiento y el confort en el calzado (80).

En cuanto a los estudios sobre los materiales que se emplean en el calzado, Chua *et al.* en 2018 publicaron que la piel en el corte es más eficiente en la transmisión del calor que el calzado deportivo, por lo que deben existir diferencias en los valores de emisividad de ambos materiales (134), aunque aún no se han descrito esos valores.

OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general:

- Determinar el patrón de temperatura del pie en una muestra de escolares de 9 y 10 años de edad, usando calzado escolar y deportivo, estableciendo diferencias según el calzado y según el sexo.

3.2. Objetivos secundarios y específicos:

- Establecer las características generales del calzado escolar y deportivo.
- Determinar las características térmicas del pie en función del calzado usado (escolar o deportivo).
- Evaluar las diferencias térmicas del pie según el calzado utilizado y en función del sexo y la relación con la temperatura central.
- Cuantificar las diferencias térmicas medidas en el calzado y según el sexo.

MATERIAL Y MÉTODO

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Características del estudio

Se realizó un estudio descriptivo, transversal, observacional y prospectivo. El estudio descriptivo tiene como objetivo establecer la frecuencia y características de un problema de salud en una población, explicando la asociación entre dos o más variables sin asumir una relación causal entre ellas y generar hipótesis razonables que deberán contrastarse posteriormente mediante estudios analíticos. Se considera un estudio transversal ya que los datos de cada sujeto representan esencialmente un momento del tiempo, sin secuencia temporal entre ellos. Es observacional puesto que no se tiene control sobre el factor de estudio de forma que se observa, mide y analiza una variable sin influir sobre ella. Por último, se considera prospectivo al iniciarse antes de que los hechos se estudien, recogiendo a medida que suceden (135).

4.2. Consideraciones éticas

El proyecto de investigación fue aprobado por la Comisión de Bioética y Bioseguridad de la Universidad de Extremadura, con número de registro: 28/2018 (**Anexo I**). Por ello se cumplen los principios éticos de respeto a la dignidad humana, confidencialidad, no discriminación y proporcionalidad entre los riesgos y los beneficios esperados, con el consentimiento de las personas implicadas o sus representantes legales, mediante un informe escrito. Así se respetan los principios fundamentales de la Declaración de Helsinki y sus revisiones posteriores para estudios en humanos, la ley 14/2007 de investigación biomédica, el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y Biomedicina, la Declaración Universal de la UNESCO sobre el genoma humano y los derechos humanos y la legislación para tal fin vigente en España y la Unión Europea.

Además, el estudio se inscribió en ClinicalTrials.gov usando el sistema de registro de protocolo y resultados (PRS, en inglés). El espacio web ha sido desarrollado por U.S. National Institutes of Health, obteniendo el identificador: NCT03989583.

Se entregó a los responsables legales de los menores un documento informativo explicando el objeto del estudio (**Anexo II**). Los tutores legales tuvieron que firmar el Consentimiento informado donde aceptaban que el menor participara en el estudio (**Anexo III**).

4.3. Tamaño muestral

Se ha tomado como referencia la variable temperatura axilar y se obtuvo el tamaño muestral para comparación de dos medias. La fórmula que se aplicó fue:

$$n = \frac{2s^2(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2}{d^2}$$

- s = Estimación de la desviación típica basándose en el estudio
- α = Error Tipo I
- β = Error Tipo II
- d = Diferencia mínima que se desea detectar

Por tanto, la ecuación final que se usó:

$$n = \frac{2s^2(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2}{d^2} = \frac{2 \cdot 0,5^2 \cdot (1,96 + 0,84)^2}{0,2^2} = 98$$

En conclusión, fueron necesarios al menos 98 casos para efectuar una comparación cumpliendo estos requisitos.

4.4. Características generales de la muestra

La muestra se compuso inicialmente de 162 participantes que cursaban estudios de 3.º y 4.º de primaria en dos colegios concertados de la localidad de Mérida (Badajoz). Se excluyó a 54 sujetos por no cumplir con los requisitos fundamentales para formar parte del estudio, por tanto, resultó una muestra de 108 individuos (61 niñas y 47 niños). Los sujetos tenían 9 y 10 años de edad, con una edad media de 9.5 ± 0.5 años, altura media 135.8 ± 6.5 cm, peso medio 33.8 ± 7.2 kilogramos (kg) e índice de masa corporal (IMC) con valor 18.7 ± 2.8 kg/m².

4.4.1. Criterios de inclusión y exclusión

Los requisitos para formar parte del presente estudio fueron: cursar 3.º o 4.º curso de Educación Primaria en los centros anteriormente descritos y presentar el consentimiento informado firmado por el tutor legal.

Se solicitó además que cumplieran unos requisitos descritos en la hoja informativa que se entregó antes de participar en el estudio (**Anexo II**):

- Evitar la aplicación de productos tópicos como cremas y pomadas ya que podían interferir en los valores de la temperatura de la piel.
- No consumir comidas pesadas, bebidas excitantes como té o café.
- No someterse a tratamientos podológicos o fisioterápicos.
- No tomar medicamentos.
- No realizar ejercicio físico intenso antes de la recogida de datos.
- No llevar calcetines que oprimieran los pies en exceso. Se recomendó no llevar leotardos ya que los calcetines resultan más fáciles de retirar.

Posteriormente, se excluyó del estudio a los sujetos que presentaron alguna alteración dérmica u otra patología que pudiera interferir en el patrón térmico del pie (Ej.: fiebre o diabetes mellitus), a los que llevaran vendaje terapéutico en el pie, calzado de tipo diferente al que se requiere para el estudio o soportes plantares, a los que no presentaran el consentimiento informado o estuvieran mucho tiempo descalzos antes de

tomar la imagen termográfica. Una vez analizadas las imágenes, fueron excluidas aquellas de calidad insuficiente.

4.5. Recogida de datos y variables estudiadas

La toma de muestras se realizó entre 30 de marzo y 23 de mayo de 2017. Se cumplimentó una hoja de recogida de datos (**Anexo IV**) de cada uno de los participantes en el estudio. En esa hoja se reflejó la fecha de nacimiento, la temperatura axilar medida con termómetro digital, la altura en centímetros, el peso medido en kilogramos y el número del calzado (que aparecía en el mismo). Se anotaron además datos como el tipo de calzado que vestía el sujeto y se registró el número de imagen termográfica que se le realizó.

En este estudio se analizaron variables biológicas y antropométricas:

- Edad (años).
- Sexo.
- Temperatura axilar (°C).
- Talla o número de calzado.
- Temperatura en la planta y el dorso del pie (°C).
- Peso (kg).
- Altura (cm).
- IMC (es una proporción expresada en Kg/m²).

Se analizaron también el tipo de calzado escolar que vestían los participantes (colegial, merceditas, mocasín, náutico, bailarinas o botín), además de las características del material (piel o sintético), los tipos de calzado deportivo (carrera, fútbol, tenis o multideporte) y el aspecto del material de corte (“aireado” o “no aireado”) y la temperatura en la zona interior del talón y en el exterior en la puntera.

En el estudio de la temperatura se considera adecuado llevar a cabo protocolos, de esta forma, Ammer (2008) expresó la importancia de la estandarización de la toma de temperaturas en el cuerpo humano, lo que contribuye a la reproducibilidad y fiabilidad de los datos (112). En la investigación que nos ocupa lo que se busca es la temperatura del

calzado y del pie en un momento concreto, lo más cercano posible al de llevar el calzado puesto, así que no se consideró necesaria la aclimatación del pie manteniéndolo descalzo antes de tomar la imagen termográfica como exponen Fernández-Cuevas *et al.* (136). Tiene sentido medir la temperatura de los pies y el calzado de esta forma ya que los niños pasan mucho tiempo sentados en las aulas sin realizar ejercicio, por lo que las temperaturas que se obtienen en el estudio reflejan esa temperatura. Reforzando esta idea, se requirió que los participantes cumplieran algunos requisitos para que no influyeran sobre la temperatura tanto de los pies como del calzado, por ejemplo, no realizaron actividad física antes de la toma de las mediciones para evitar que esta aumentara.

4.5.1. Clasificación del calzado

Se estableció una clasificación del calzado escolar en calzado de tipo colegial, merceditas, mocasín, náutico, bailarinas o botín (desde **Figura 11** a **Figura 16**). Además se tuvo en cuenta el material de corte: piel o sintético.



Figura 11. Calzado colegial de piel



Figura 12. Merceditas de piel



Figura 13. Mocasín de piel



Figura 14. Náutico de piel



Figura 15. Bailarinas de piel



Figura 16. Botín de piel

Por otra parte, el calzado deportivo se catalogó según el deporte para el que estaba diseñado: carrera, fútbol, tenis o multideporte -aquel que no se ceñía a ninguno de los casos anteriores- (de **Figura 17** a **Figura 20**) y se distinguió según fuera “aireado” o “no aireado”. Se consideró “aireado” el calzado de malla, con rejilla, perforado o de piel, ofreciendo mayor capacidad de transpiración, mientras que todo aquel calzado que estaba realizado en material sintético no perforado presentaba peor capacidad de transpiración (“no aireado”), asociando por tanto la transpiración a la aireación o ventilación. El material de fabricación del calzado deportivo fue lona, piel o sintético.



Figura 17. Zapatilla de carrera “aireado” con malla



Figura 18. Bota de fútbol “no aireada” sintética



Figura 19. Zapatilla de tenis “no aireada” sintética



Figura 20. Multideporte “aireado” con tela

4.5.2. Sala de toma de imágenes

Se emplearon salas independientes de al menos 3x4 m para llevar a cabo la toma de datos. La temperatura media de las salas, cuando se realizaron las imágenes relacionadas con el calzado escolar, fue de 23.3 ± 1.9 °C y 60 ± 5 de humedad relativa, mientras que cuando se tomaron imágenes del pie y calzado deportivo las salas presentaron una temperatura media 23.2 ± 2 °C y humedad relativa 58.6 ± 5.9 . Se evitó la oscilación de la temperatura de más de 1 °C durante la toma de muestras con el empleo de un termohigrómetro. Las salas carecían de flujo de aire, por lo que no se alteró la sensación de confort térmico.

4.5.3. Termohigrómetro

En el control de la temperatura y la humedad de la sala se empleó el **termohigrómetro Flir® MR77** (fabricado por FLIR Systems, Wilsonville, Oregón) (**Figura 21**), con un rango de detección de temperatura de infrarrojo de -20 °C a 200 °C, con precisión básica $\pm 3.5\%$. La temperatura del sensor cubre un rango de -28 a 77 °C con una precisión básica ± 2 °C. En cuanto al rango del Bluetooth cubre una distancia de 10 m. La emisividad de infrarrojo cubre el rango fijo de 0.95 y la humedad con clavija cubre el rango del 0 al 99% de WME (Equilibrio de humedad del agua/contenido) con precisión básica $\pm 5\%$.



Figura 21. Termohigrómetro

4.5.4. Preparación de los sujetos

Una vez que los participantes llegaron a la sala se sentaron en una zona en la que no se interrumpía la recogida de información. Se tomaron los datos necesarios (**Anexo IV**) y la temperatura axilar.

4.5.5. Termómetro

Para obtener la temperatura axilar se empleó un termómetro digital **Prim MT-519** (fabricado por Prim S.A., Móstoles-Madrid) (**Figura 22**), con capacidad de medir temperaturas 32 °C a 42.9 °C y precisión 35 °C a 39 °C \pm 0.1 a 0.2 °C. Se tomó la temperatura axilar con termómetro digital como reflejo de la temperatura central de los participantes, siguiendo las indicaciones de Padilla-Raygoza *et al.* (2014), que encontraron que el termómetro digital axilar presenta mejor precisión de medición de la temperatura corporal que los termómetros óptico o cutáneo (137).



Figura 22. Termómetro digital

4.5.6. Cámara termográfica

La cámara que se empleó para la toma de imágenes fue una **cámara termográfica Flir® E60bx** (fabricada por FLIR Systems, Wilsonville, Oregón) (**Figura 23**) que presenta una resolución de infrarrojo de 320x 240 píxeles y sensibilidad térmica < 0.045 °C a $+30$ °C/45 mK. Además tiene un rango de medición de la temperatura del objeto de -20 °C a $+120$ °C y precisión ± 2 °C o $\pm 2\%$ de lectura para temperatura ambiente de 10 °C a 35 °C.

La cámara se soportó sobre un trípode y la distancia que se estableció entre la cámara termográfica y el objeto de medición fue de 1 metro.



Figura 23. Cámara termográfica

4.5.7. Toma de imágenes termográficas

Se tomaron imágenes en diferentes días: un día los sujetos a estudio calzaron deportivas y, otro, zapato escolar. La captura de imágenes fue aleatoria, a unos niños se les tomó la imagen con calzado escolar o deportivo y, otro día, se hicieron con el otro tipo de calzado. Todas las imágenes fueron realizadas antes de la hora del recreo y ninguno de los participantes había practicado ejercicio físico previo a la cita.

Tras tomar la temperatura axilar, se pidió a los sujetos que se colocaran sobre una camilla, donde se les descalzó evitando tocar los pies con las manos. Se capturaron tres imágenes de cada momento y se obtuvieron las medias de las medidas.

Las primeras imágenes termográficas se tomaron con el participante sentado sobre la camilla con las rodillas extendidas. Se realizó la imagen del calzado colocado sobre una alfombra de color negro (**Figura 24** y **Figura 25**). La alfombra estaba fabricada en EVA de 1 cm de espesor y 60x60 cm de tamaño.



Figura 24. Toma de la imagen termográfica del calzado



Figura 25. Imagen termográfica del calzado

En segundo lugar, se capturó la imagen de la planta del pie, mientras el/la niño/a estaba ubicado en la camilla y mantenía las piernas extendidas. Se colocó una pantalla negra (138), para que no reflejara el calor corporal en la imagen del pie, como recomiendan Fernández-Cuevas *et al.* (136). La pantalla se confeccionó sobre una alfombra negra con orificios para introducir los tobillos (**Figura 26** y **Figura 27**).



Figura 26. Toma de la imagen plantar del pie

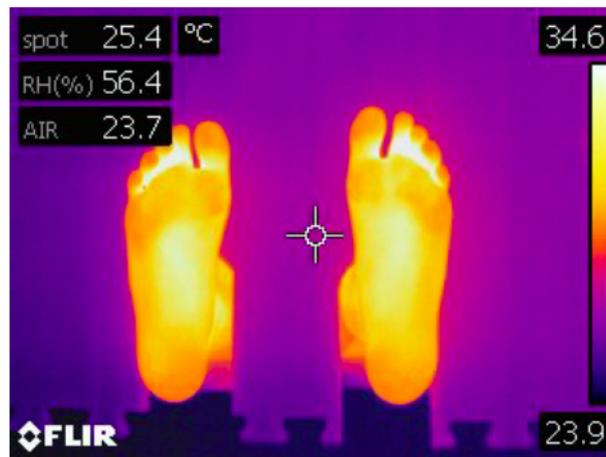


Figura 27. Imagen termográfica plantar del pie

Después se pidió al sujeto que se pusiera de pie sobre otra alfombra negra de iguales características, para lo cual no pisó el suelo y se tomó la imagen dorsal de ambos pies (**Figura 28** y **Figura 29**). Para que la posición fuera la adecuada se dibujaron contornos de los pies, permitiendo que las imágenes dorsales quedaran paralelas entre sí y separadas unos 8 cm.

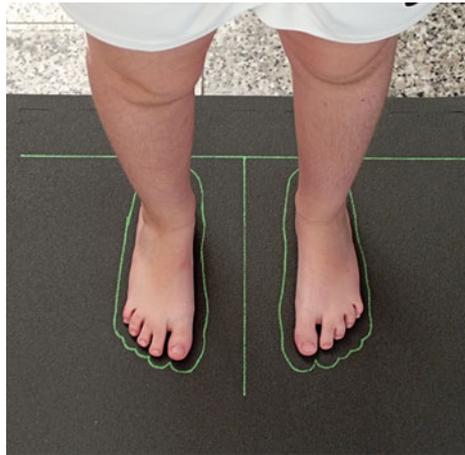


Figura 28. Toma de la imagen dorsal del pie



Figura 29. Imagen termográfica dorsal del pie

Este proceso se repitió el segundo día cuando el sujeto llevaba el otro tipo de calzado.

4.5.8. Báscula y tallímetro

El primer día, después de tomar las imágenes, se pesó y talló a los sujetos. Para ello, se empleó una báscula digital **Pegaso GIMA** modelo 27288 (**Figura 30**).



Figura 30. Báscula

4.6. Tratamiento de las imágenes

Las imágenes fueron procesadas informáticamente con el programa **FLIR Tools+**. Se establecieron diferentes áreas de estudio:

- En las imágenes del calzado se estudiaron dos áreas: talón y puntera (**Figura 31** y **Figura 32**).

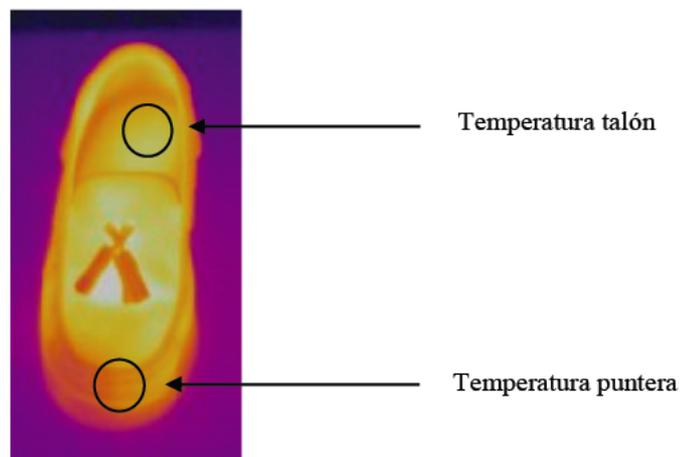


Figura 31. Zonas de medición en imagen del calzado

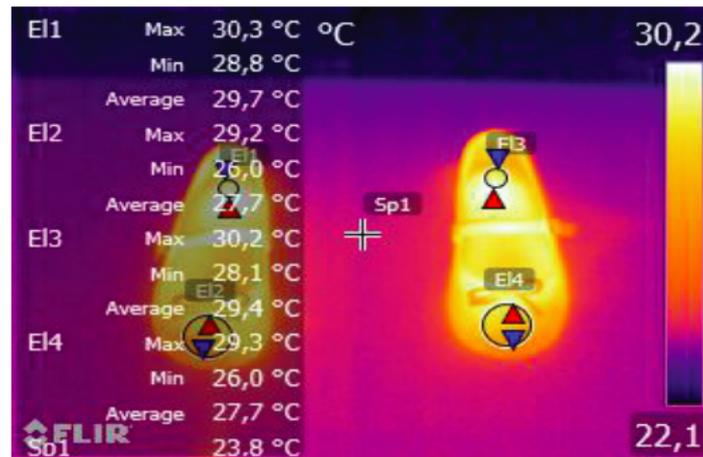


Figura 32. Imagen del calzado con medición de temperaturas

- En las imágenes plantares se establecieron 9 zonas: talón, arco longitudinal interno (ALI), arco longitudinal externo (ALE), 1.^a cabeza metatarsal (1.^a CMT), CMT centrales, 5.^a CMT, 1.^{er} dedo, 3.^{er} dedo y 5.^o dedo (Figura 33 y Figura 34).

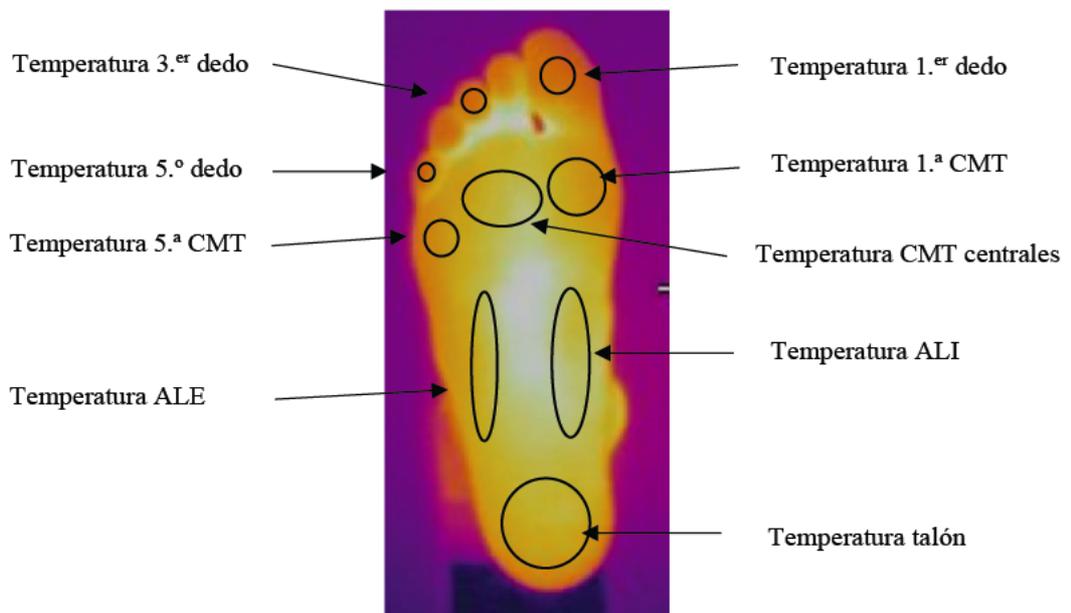


Figura 33. Zonas de medición en imagen plantar del pie

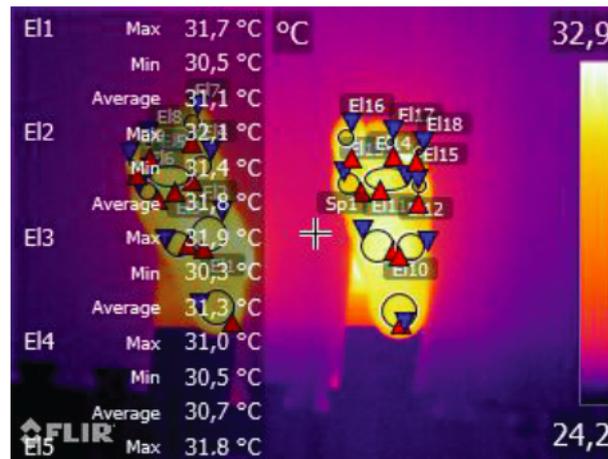


Figura 34. Imagen plantar del pie con medición de temperaturas

- En las imágenes dorsales del pie fueron 8 áreas: ALI, ALE, 1.^a CMT, CMT centrales, 5.^a CMT, zona proximal del 1.^{er} dedo, zona proximal del 3.^{er} dedo y zona proximal del 5.^o dedo, evitando las uñas que tienen emisividad desconocida aún (139) (Figura 35 y Figura 36).

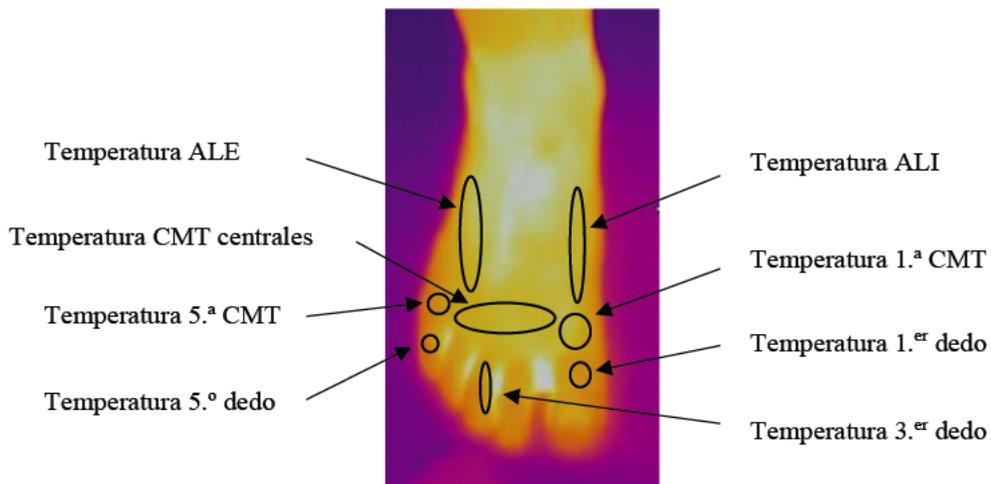


Figura 35. Zonas de medición en imagen dorsal del pie

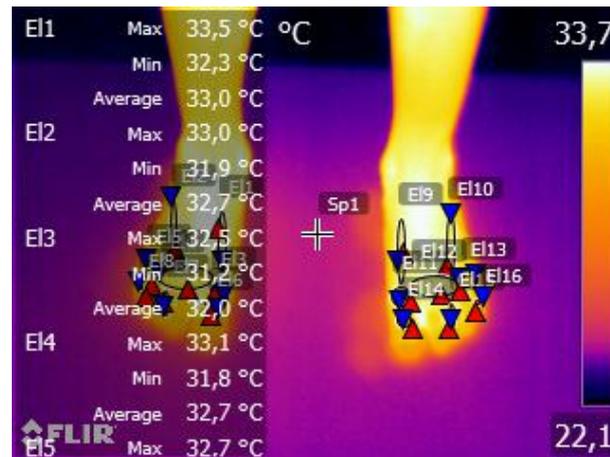


Figura 36. Imagen dorsal del pie con medición de temperaturas

Las regiones de interés se localizaron sobre marcas anatómicas del pie ya que tienen muy buena fiabilidad inter e intraevaluador (140). De cada una de las áreas de estudio, nos interesó su temperatura media. Además, se tuvieron en cuenta las temperaturas en todas las imágenes que se tomaron, cuando los sujetos llevaron calzado de calle escolar y cuando llevaron calzado deportivo.

4.7. Tratamiento de los datos y análisis estadístico

Los datos obtenidos, tanto de la hoja de “Recogida de datos” (**Anexo IV**) como de las imágenes con el programa FLIR Tools+, se incluyeron en un archivo Excel y se trataron con el programa informático IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

En este estudio, siguiendo las recomendaciones de Menz (2004) y para mantener la independencia de los datos (141), solo se tuvieron en cuenta las temperaturas relativas a los pies derechos de los sujetos, ya que está demostrada la simetría estable y reproducible de la temperatura en regiones homólogas del cuerpo en individuos sanos (18,142–144).

Para el **análisis descriptivo** se calcularon la frecuencia absoluta (N), frecuencia relativa (%), los valores medios, desviación típica (D.T.) y percentiles 25, 50 y 75 (Rango intercuartílico).

El **análisis inferencial** se utilizó para sacar conclusiones una vez planteadas hipótesis estadísticas sobre las variables a estudiar. Para este tipo de análisis se tuvo en cuenta un nivel de confianza del 95%, por lo que el p -valor experimental se ha comparado con un nivel de significación del 5%.

Para el análisis de las **variables cualitativas**, se usó el *test Chi-cuadrado* para ver si existía algún tipo de relación (dependencia) entre las variables, a través de las tablas cruzadas.

En el caso del análisis entre una **variable categórica y otra variable cuantitativa** se necesita conocer el tipo de prueba más adecuada a emplear según sea el comportamiento de los datos. Para ello se realizaron pruebas de normalidad a través del *test de Kolmogorov-Smirnov*.

Las pruebas que se llevaron a cabo en este estudio fueron:

- *Prueba T para muestras independientes*. Compara dos grupos independientes cuando los valores de las variables cumplen normalidad.
- *Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes*. Compara dos grupos independientes cuando la variable a estudiar no cumple el criterio de normalidad.
- *Prueba T para muestras relacionadas*. Compara dos grupos relacionados cuando los valores de las variables cumplen normalidad.
- *Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para muestras relacionadas*. Compara dos grupos relacionados cuando los valores de las variables no cumplen normalidad.
- *ANOVA de un factor*. Compara más de dos grupos independientes cuando la variable a estudiar cumple el criterio de normalidad.
- *Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes*. Compara más de dos grupos independientes cuando la variable a estudiar no cumple el criterio de normalidad.

Para las comparaciones entre **dos variables cuantitativas**, se utilizó el *coeficiente de correlación de Pearson* o *Rho de Spearman*, según si la variable sigue una distribución normal o no. En el caso de que las pruebas anteriores con dos grupos resultaran estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se calcula el tamaño del efecto.

RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. Características generales del calzado escolar y deportivo

5.1.1. Talla del calzado

En cuanto al tamaño del calzado escolar, la media del número que llevaban era 34 ± 2 y en el calzado deportivo 34.4 ± 2 (**Tabla 1**).

Tabla 1. Tallas de calzado

	Talla calzado escolar	Talla calzado deportivo
N Válido	108	108
Media	34	34.4
Desviación estándar	2	2
Mínimo	27	29
Máximo	38	39

5.1.2. Calzado escolar

Según la clasificación establecida para el calzado escolar, se encontró que el más usado fue el colegial, llevándolo un 39.8% de los sujetos del estudio, el siguiente fue el tipo merceditas 26.9%, náutico y mocasín con un 13% cada uno de ellos, 5.6% bailarinas y solo un 1.9% calzado tipo botín (**Figura 37**). En lo relacionado con el material de fabricación el calzado escolar fue principalmente de piel, presentando un porcentaje del 89.8%, mientras que solamente el 10.2% del calzado fue sintético (**Figura 38**).

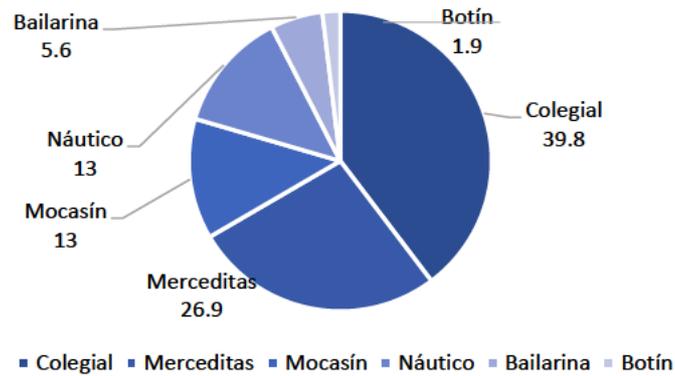


Figura 37. Tipos de calzado escolar (%)

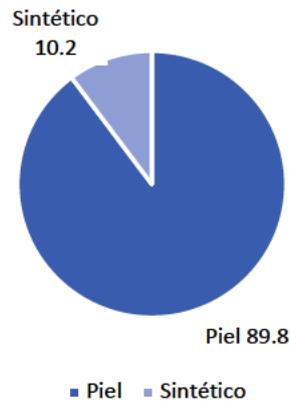


Figura 38. Material del corte del calzado escolar (%)

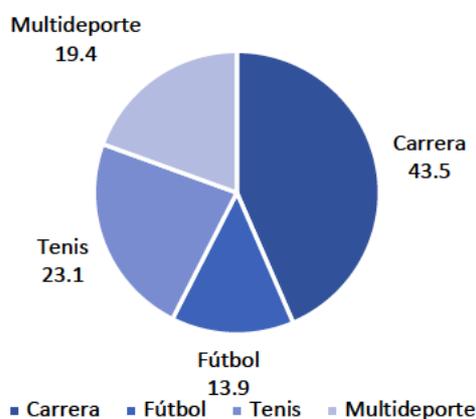
El corte del calzado colegial, merceditas, mocasín, náuticos y botín fue principalmente de piel (**Tabla 2**).

Tabla 2. Calzado escolar y material de corte

		Material de corte		Significación
		Piel	Sintético	
Tipo escolar	Colegial	41 (95.3%)	2 (4.7%)	<0.001
	Merceditas	27 (93.1%)	2 (6.9%)	
	Mocasín	13 (92.9%)	1(7.1%)	
	Náutico	14 (100%)	0	
	Bailarinas	0	6 (100%)	
	Botín	2 (100%)	0	

5.1.3. Calzado deportivo

En relación al calzado deportivo, el 43.5% de los sujetos llevaba zapatillas de carrera; el 23.1% de tenis; el 19.4% calzado de multideporte o multiusos; y el 13.9% de fútbol (**Figura 39**). En cuanto al material de corte, se encontró que el 45.4% fue material “aireado” (con rejilla o transpirable), mientras que el 54.6% fue una zapatilla “no aireada” (**Figura 40**).

**Figura 39.** Tipos de calzado deportivo (%)

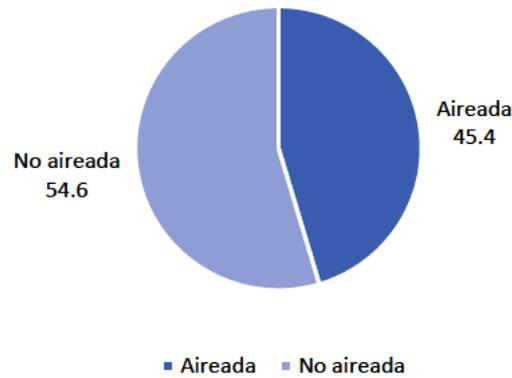


Figura 40. Material del corte del calzado deportivo (%)

En la relación del tipo de calzado deportivo con el material de corte (“aireado”/“no aireado”) se encontró que las deportivas de carrera eran “aireadas” en todos los casos, mientras que las de fútbol y tenis eran “no aireadas” (**Tabla 3**).

Tabla 3. Calzado deportivo y material de corte

		Material de corte		Significación
		“Aireado”	“No aireado”	
Tipo deportivo	Carrera	47 (100%)	0	<0.001
	Fútbol	0	15 (100%)	
	Tenis	0	25 (100%)	
	Multideporte	2 (9.5%)	19 (90.5%)	

5.1.4. Calzado según el sexo

Al tener en cuenta el sexo de los sujetos a estudio, hubo diferencias significativas en todos los tipos de calzado escolar ($p < 0.001$), encontrando que el calzado de tipo bailarinas era usado en exclusividad por las niñas, siendo el más empleado las merceditas (96.6%), seguido del mocasín (71.4%), náutico (35.7%) y colegial (27.9%). El tipo botín fue usado solo por niños, siendo el colegial el más empleado (72.1%), seguido del náutico (64.3%) y el mocasín (28.6%) (**Tabla 4**).

Tabla 4. Tipo de calzado escolar según sexo

		Sexo		Significación	
		N válido	Niña		Niño
			61 (56.5%)	47 (43.5%)	
Tipo escolar	Colegial	12 (27.9%)	31 (72.1%)	<0.001	
	Merceditas	28 (96.6%)	1 (3.4%)		
	Mocasín	10 (71.4%)	4 (28.6%)		
	Náutico	5 (35.7%)	9 (64.3%)		
	Bailarinas	6 (100%)	0		
	Botín	0	2 (100%)		

También hay una relación estadísticamente significativa ($p < 0.03$) entre todos los tipos de calzado deportivo y el sexo, de forma que las niñas usaron calzado de carrera (68.1%), multideporte (61.9%), y tenis (56%), en porcentaje mayor que los niños: carrera 31.9%, multideporte 38,1% y tenis 44%. Los niños emplearon en un 86.7% de casos zapatilla de fútbol, cuando solo el 13.3% de las niñas lo hizo.

En general, el tipo de calzado deportivo empleado era en su mayoría zapatilla de carrera, existiendo diferenciación por sexos y siendo el porcentaje significativamente superior en las niñas (68.1%) frente al de los niños (31.9%). El siguiente calzado más utilizado por los niños fue el de fútbol 86.7% frente al 13.3% de niñas (**Tabla 5**).

Tabla 5. Tipo de calzado deportivo según sexo

		Sexo		Significación	
		N válido	Niña		Niño
			61 (56.5%)	47 (43.5%)	
Tipo deportivo	Carrera	32 (68.1%)	15 (31.9%)	0.003	
	Fútbol	2 (13.3%)	13 (86.7%)		
	Tenis	14 (56%)	11 (44%)		
	Multideporte	13 (61.9%)	8 (38.1%)		

5.2. Características térmicas del pie en función del calzado usado (escolar o deportivo)

5.2.1. Calzado escolar

En la región **plantar**, tras retirar el calzado escolar, la temperatura media más alta se encontró en el ALI con un valor de 30.6 ± 2.1 °C, siendo el segundo valor más alto el del ALE con 29.6 ± 2.3 °C, seguido de las CMT centrales con 29.6 ± 2.8 °C. La zona más fría se halló en el 5.º dedo con valor 27.9 ± 2.9 °C (**Tabla 6**).

Tabla 6. Temperaturas planta del pie calzado escolar (°C)

	Talón	ALI	ALE	1.ª CMT	CMT centrales	5.ª CMT	1.ºr dedo	3.ºr dedo	5.ºr dedo
Media	28.7	30.6	29.6	29.1	29.6	28.7	28.6	28.7	27.9
Desviación estándar	2.5	2.1	2.3	2.7	2.8	2.7	3.2	3.2	2.9

En el **dorso** del pie la zona más caliente se encontró en la zona lateral con valor 31.1 ± 2.2 °C, seguido de la zona medial 30.9 ± 2.2 °C. La localización del punto más frío estuvo en el 5.º dedo con una temperatura media de 28.5 ± 2.9 °C (**Tabla 7**).

Tabla 7. Temperaturas dorsales del pie calzado escolar (°C)

	Medial	Lateral	1.ª CMT	CMT centrales	5.ª CMT	1.ºr dedo	3.ºr dedo	5.ºr dedo
Media	30.9	31.1	29.9	30.7	29.8	28.9	29.2	28.5
Desviación estándar	2.2	2.2	2.7	2.7	2.7	3.1	3.1	2.9

Al relacionar las temperaturas de las diferentes **zonas del pie** tras el uso de calzado escolar, en función del **tipo de calzado** (colegial, merceditas, mocasín, náutico, bailarinas o botín) no se hallaron diferencias significativas, ni tampoco con el **material de corte** (piel o sintético) utilizado.

5.2.2. Calzado deportivo

En la **planta** del pie, con calzado deportivo la temperatura más alta apareció en el ALI con valor medio 31.3 ± 1.3 °C, la siguiente temperatura más alta en la zona de las CMT centrales con valor 30.5 ± 1.8 °C y la tercera temperatura más alta en el ALE con valor medio 30.3 ± 1.4 °C. La temperatura más baja se localizó en el 5.º dedo siendo su media 28.5 ± 2.0 °C (**Tabla 8**).

Tabla 8. Temperaturas planta del pie calzado deportivo (°C)

	Talón	ALI	ALE	1.ª CMT	CMT centrales	5.ª CMT	1.º dedo	3.º dedo	5.º dedo
Media	29.5	31.3	30.3	29.8	30.5	29.5	29.2	29.6	28.5
Desviación estándar	1.6	1.3	1.4	1.7	1.8	1.8	2.2	2.4	2

La temperatura **dorsal** más alta se halló en la zona lateral, con un valor medio 32.1 ± 1.4 °C, seguido por la zona medial con valor de 31.9 ± 1.4 °C y el más bajo en 5.º dedo con media de 29.2 ± 2.3 °C (**Tabla 9**).

Tabla 9. Temperaturas dorsales del pie calzado deportivo (°C)

	Medial	Lateral	1.ª CMT	CMT centrales	5.ª CMT	1.º dedo	3.º dedo	5.º dedo
Media	31.9	32.1	30.8	31.7	30.5	29.7	30.1	29.2
Desviación estándar	1.4	1.4	1.9	1.7	1.8	2.2	2.2	2.3

En la comparativa de temperaturas en las **zonas del pie** teniendo en cuenta el **tipo de deportivo** (carrera, fútbol, tenis y multideporte) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, tampoco las hubo con el **material de corte** (“aireado” y “no aireado”).

5.2.3. Comparativas de temperaturas del pie y tipo de calzado (escolar o deportivo)

Al comparar las temperaturas de las imágenes de la **planta** del pie entre el **calzado escolar** y **deportivo**, resultaron con diferencias estadísticamente significativas y más elevadas en el talón con el uso del calzado deportivo 29.5 ± 1.6 °C frente al escolar 28.7 ± 2.5 °C ($p= 0.015$). También lo fueron en ALI ($p= 0.022$), ALE ($p= 0.020$), CMT centrales ($p= 0.020$) y 5.^a CMT ($p= 0.038$) (**Tabla 10**).

Tabla 10. Diferencias de temperaturas en imagen plantar del pie con calzado escolar frente a deportivo

Zona	Tipo calzado	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Escolar	28.7	2.5	29.2	27.1-30.7	0.015¹	0.235 ²
	Deportivo	29.5	1.6	29.5	28.3-30.8		
ALI	Escolar	30.6	2.1	31.2	29.6-32.2	0.022¹	0.220 ²
	Deportivo	31.3	1.3	31.5	30.5-32.3		
ALE	Escolar	29.6	2.3	29.9	28.7-31.3	0.020¹	0.223 ²
	Deportivo	30.3	1.4	30.3	29.3-31.5		
1. ^a CMT	Escolar	29.1	2.7	29.6	27.7-31.2	0.074 ¹	
	Deportivo	29.8	1.7	30	28.6-31.2		
CMT centrales	Escolar	29.6	2.8	30.4	28.4-31.8	0.020¹	0.224 ²
	Deportivo	30.5	1.8	31	29.3-32.0		
5. ^a CMT	Escolar	28.7	2.7	29.3	27.4-31.0	0.038¹	0.200 ²
	Deportivo	29.5	1.8	29.8	28.2-30.9		
1. ^{er} dedo	Escolar	28.6	3.2	29.2	27.1-31.1	0.169 ¹	
	Deportivo	29.9	2.2	29.6	27.8-31.0		
3. ^{er} dedo	Escolar	28.7	3.2	29.4	26.8-31.1	0.064 ¹	
	Deportivo	29.6	2.4	30	28.4-31.3		
5. ^o dedo	Escolar	27.9	2.9	28.5	26.2-29.8	0.106 ¹	
	Deportivo	28.5	2.0	28.6	27.1-30.1		

¹Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para muestras relacionadas

²Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

En la imagen **dorsal** del pie, presentaron diferencias estadísticamente significativas las temperaturas en la zona medial, con una media más alta 31.9 ± 1.4 °C en el calzado **deportivo** frente a 30.9 ± 2.2 °C del calzado **escolar** ($p= 0.001$), siendo

también significativas las diferencias en zona lateral ($p= 0.002$), 1.^a CMT ($p= 0.029$), CMT centrales ($p= 0.009$) y 3.^{er} dedo ($p= 0.037$) (Tabla 11).

Tabla 11. Diferencias de temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado escolar frente a deportivo

Zona	Tipo calzado	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Medial	Escolar	30.9	2.2	31.5	29.7-32.6	0.001 ¹	0.311 ²
	Deportivo	31.9	1.4	32.1	30.9-32.9		
Lateral	Escolar	31.1	2.2	31.7	30.2-32.8	0.002 ¹	0.303 ²
	Deportivo	32.1	1.4	32.3	31.3-33.0		
1. ^a CMT	Escolar	29.9	2.7	30.7	28.4-32.0	0.029 ¹	0.211 ²
	Deportivo	30.7	1.9	30.9	29.5-32.3		
CMT centrales	Escolar	30.7	2.7	31.4	29.6-32.7	0.009 ¹	0.252 ²
	Deportivo	31.7	1.7	31.8	30.7-32.9		
5. ^a CMT	Escolar	29.8	2.7	30.3	28.8-31.9	0.055 ¹	
	Deportivo	30.5	1.8	30.7	29.4-32.0		
1. ^{er} dedo	Escolar	28.9	3.1	29.7	27.1-31.3	0.065 ¹	
	Deportivo	29.7	2.2	30	28.2-31.3		
3. ^{er} dedo	Escolar	29.2	3.1	30	27.6-31.6	0.037 ¹	0.201 ²
	Deportivo	30.1	2.2	30.4	28.8-31.8		
5. ^o dedo	Escolar	28.5	2.9	29.1	26.7-31.0	0.111 ¹	
	Deportivo	29.2	2.3	29.3	27.8-30.7		

¹Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para muestras relacionadas

²Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

5.3. Diferencias térmicas del pie según el calzado utilizado y en función del sexo y la relación con la temperatura central

5.3.1. Temperaturas podales en calzado escolar

Al comparar las imágenes **plantares** de los participantes llevando calzado escolar resultaron más altas de manera significativa las temperaturas en los **niños** que en las **niñas** en todas las zonas estudiadas: talón ($p= 0.009$), ALI ($p= 0.002$), ALE ($p= 0.002$), 1.^a CMT ($p= 0.010$), CMT centrales ($p= 0.003$), 5.^a CMT ($p= 0.004$), 1.^{er} dedo ($p= 0.013$), 3.^{er} dedo ($p= 0.044$) y 5.^o dedo ($p= 0.024$) (**Tabla 12**).

Tabla 12. Temperaturas en imagen plantar del pie con calzado escolar dependiendo del sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Niña	28.1	2.7	28.6	25.5-30.5	0.009 ¹	0.250 ²
	Niño	29.5	2	29.9	28.3-31.0		
ALI	Niña	30.1	2.3	30.7	28.3-31.9	0.002 ¹	0.292 ²
	Niño	31.4	1.6	31.5	30.5-32.8		
ALE	Niña	29	2.4	29.5	26.8-31.2	0.002 ¹	0.295 ²
	Niño	30.5	1.7	30.5	29.4-31.9		
1. ^a CMT	Niña	28.4	3	29.3	26.2-31.0	0.010 ¹	0.248 ²
	Niño	30	2	30.2	28.8-31.4		
CMT centrales	Niña	28.8	3.1	29.9	26.6-31.5	0.003 ¹	0.287 ²
	Niño	30.6	1.9	30.8	29.6-32.0		
5. ^a CMT	Niña	28	2.9	28.7	25.6-30.6	0.004 ¹	0.280 ²
	Niño	29.7	2	30.1	28.4-31.3		
1. ^{er} dedo	Niña	27.8	3.6	29	25.3-30.7	0.013 ¹	0.239 ²
	Niño	29.6	2.4	30	27.6-31.5		
3. ^{er} dedo	Niña	28.1	3.6	29.2	25.5-30.9	0.044 ¹	0.194 ²
	Niño	29.6	2.5	29.7	27.4-31.5		
5. ^o dedo	Niña	27.2	3.2	28	24.7-29.7	0.024 ¹	0.216 ²
	Niño	28.8	2.3	28.8	27.0-30.7		

¹Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes

²Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

En las imágenes **dorsales** de los pies las temperaturas fueron estadísticamente superiores en los niños con calzado escolar, siendo los datos significativos en todas las zonas estudiadas. El valor más alto se encontró en la zona lateral, que presentó una

temperatura media de 32 ± 1.6 °C para **niños** y 30.5 ± 2.5 °C para **niñas**. También se observaron mayores temperaturas en niños con significación estadística en la zona medial ($p= 0.023$), 1.^a CMT ($p= 0.033$), CMT centrales ($p= 0.014$), 5.^a CMT ($p= 0.006$), 1.^{er} dedo ($p= 0.043$), 3.^{er} dedo ($p= 0.014$) y 5.^o dedo ($p= 0.024$) (**Tabla 13**).

Tabla 13. Temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado escolar dependiendo del sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Medial	Niña	30.4	2.4	31.1	28.7-32.2	0.023 ¹	0.219 ²
	Niño	31.6	1.7	31.6	30.4-32.7		
Lateral	Niña	30.5	2.5	31.3	29.0-32.4	0.002 ¹	0.295 ²
	Niño	32	1.6	32.2	31.3-33.0		
1. ^a CMT	Niña	29.3	3.1	30.6	27.5-31.8	0.033 ¹	0.205 ²
	Niño	30.7	2	31	29.3-32.0		
CMT centrales	Niña	30	3.1	31.3	28.3-32.0	0.014 ¹	0.237 ²
	Niño	31.6	1.9	31.9	30.7-32.9		
5. ^a CMT	Niña	29.1	3	30.1	27.0-31.5	0.006 ¹	0.265 ²
	Niño	30.7	2	30.9	29.6-32.1		
1. ^{er} dedo	Niña	28.2	3.5	29.3	26.1-31.3	0.043 ¹	0.195 ²
	Niño	29.8	2.2	30.2	28.2-31.5		
3. ^{er} dedo	Niña	28.4	3.4	29.5	26.4-31.3	0.014 ¹	0.236 ²
	Niño	30.2	2.2	30.3	28.5-31.9		
5. ^o dedo	Niña	27.8	3.2	28.5	25.5-30.4	0.024 ¹	0.217 ²
	Niño	29.4	2.3	29.4	27.4-31.3		

¹Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes

²Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

5.3.2. Temperaturas podales en calzado deportivo

Al comparar las temperaturas de las imágenes **plantares** de los pies llevando calzado deportivo, las temperaturas fueron mayores en los niños y se encontró que las diferencias estadísticamente significativas se localizaron en 5.^a CMT (30 ± 1.6 °C **niños**/ 29.1 ± 1.9 °C **niñas**) ($p= 0.022$), seguidamente en el ALE ($p= 0.029$), 1.^{er} dedo ($p= 0.030$) y 5.^o dedo ($p= 0.046$) (**Tabla 14**).

Tabla 14. Temperaturas en imagen plantar del pie con calzado deportivo según sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Niña	29.3	1.6	29.3	28.4-30.7	0.209 ¹	
	Niño	29.7	1.5	29.9	28.3-30.8		
ALI	Niña	31.1	1.3	31.1	30.5-32.0	0.112 ³	
	Niño	31.5	1.1	31.7	30.6-32.6		
ALE	Niña	30	1.5	30	29.2-31.2	0.029 ³	0.210 ⁴
	Niño	30.7	1.3	30.7	29.4-31.7		
1. ^a CMT	Niña	29.5	1.8	29.8	28.5-31.2	0.064 ¹	
	Niño	30.2	1.6	30.2	29.0-31.2		
CMT centrales	Niña	30.2	1.9	30.5	29.3-31.9	0.052 ²	
	Niño	30.9	1.6	31.3	29.7-32.2		
5. ^a CMT	Niña	29.1	1.9	29.3	28.1-30.8	0.022 ³	0.221 ⁴
	Niño	30	1.6	30.3	28.8-31.4		
1. ^{er} dedo	Niña	28.8	2.2	29.2	27.6-30.4	0.030 ³	0.209 ⁴
	Niño	29.7	2	30	28.6-31.4		
3. ^{er} dedo	Niña	29.2	2.4	29.6	27.9-31.0	0.089 ¹	
	Niño	30.0	2.3	30.5	28.6-31.6		
5. ^o dedo	Niña	28.1	2	28	27.0-29.8	0.046 ³	0.192 ⁴
	Niño	28.9	1.9	29	27.5-30.2		

¹Prueba T para muestras independientes

²Tamaño del efecto (d de Cohen)

³Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes

⁴Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

En las imágenes **dorsales** del pie tomadas con el calzado deportivo, se encontró que las temperaturas en los niños eran más altas y estadísticamente significativas en las zonas lateral del pie ($p= 0.040$), CMT centrales ($p= 0.019$), 5.^a CMT ($p= 0.010$), 1.^{er} dedo ($p= 0.044$) y 3.^{er} dedo ($p= 0.045$) (**Tabla 15**).

Tabla 15. Temperaturas en imagen dorsal del pie con calzado deportivo según sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Medial	Niña	31.7	1.5	32	31.1-32.7	0.329 ³	
	Niño	32.1	1.3	32.3	30.8-33.2		
Lateral	Niña	31.8	1.5	31.9	31.1-33.0	0.040 ³	0.198 ⁴
	Niño	32.4	1.2	32.7	31.5-33.1		
1.ª CMT	Niña	30.5	1.9	30.6	29.4-32.1	0.076 ¹	
	Niño	31.1	1.8	31.4	29.7-32.8		
CMT centrales	Niña	31.3	1.8	31.5	30.5-32.9	0.019 ³	0.226 ⁴
	Niño	32.1	1.6	32.4	31.1-33.5		
5.ª CMT	Niña	30.1	1.9	30.3	29.1-31.7	0.010 ³	0.249 ⁴
	Niño	31.1	1.6	31	30.2-32.4		
1.º dedo	Niña	29.3	2.3	29.5	28.0-31.2	0.044 ¹	0.399 ²
	Niño	30.2	2.1	30.5	28.6-31.8		
3.º dedo	Niña	29.7	2.2	29.8	28.6-31.6	0.045 ³	0.193 ⁴
	Niño	30.6	2.0	30.8	29.4-32.3		
5.º dedo	Niña	28.9	2.3	29	27.6-30.5	0.086 ¹	
	Niño	29.6	2.1	29.6	28.4-31.3		

¹Prueba T para muestras independientes²Tamaño del efecto (d de Cohen)³Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes⁴Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

5.3.3. Relación temperaturas podales con la temperatura central

Las temperaturas axilares tomadas a los 108 sujetos del estudio presentaron los siguientes valores: el día que llevaron calzado escolar la media fue de 36 ± 0.5 °C y el día que llevaron calzado deportivo 35.9 ± 0.4 °C (**Tabla 16**).

Tabla 16. Temperaturas axilares (°C)

	Día que llevaron calzado escolar	Día que llevaron calzado deportivo
N	108	108
Media	36	35.9
Desviación estándar	0.5	0.4
Mínimo	34.6	35
Máximo	37	36.8

La temperatura axilar con calzado escolar en niñas es significativamente menor (35.8 ± 0.4 °C) que en niños (36.1 ± 0.5 °C) ($p= 0.007$). Con calzado deportivo, la temperatura axilar también resultó estadísticamente significativa y menor en niñas (35.9 ± 0.4 °C) que en niños (36.1 ± 0.5 °C) (**Tabla 17**).

Tabla 17. Relación de temperatura axilar, calzado escolar/deportivo y sexo

Calzado	T ^a	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Escolar	Axilar	Niña	35.8	0.4	35.9	35.6-36.1	0.007 ¹	0.259 ²
	Axilar	Niño	36.1	0.5	36.1	35.8-36.6		
Deportivo	Axilar	Niña	35.9	0.4	35.9	35.6-36.1	0.006 ³	0.258 ⁴
	Axilar	Niño	36.1	0.5	36	35.9-36.4		

¹Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes

²Tamaño del efecto (*r* de Rosenthal)

³Prueba T para muestras independientes

⁴Tamaño del efecto (d de Cohen)

Los análisis realizados sobre la temperatura axilar y los pies tras llevar calzado escolar o deportivo no mostraron resultados estadísticamente significativos (**Tabla 18**).

Tabla 18. Relación temperatura axilar y temperatura podal según el tipo de calzado

		T ^a axilar				
		Calzado escolar		Calzado deportivo		
		Coefficiente de correlación	<i>p</i> ¹	Coefficiente de correlación	<i>p</i> ¹	
Pie	Plantar	Talón	-0.021	0.832	-0.094	0.335
		ALI	-0.015	0.880	-0.010	0.917
		ALE	0.011	0.909	-0.018	0.853
		1. ^a CMT	-0.043	0.656	-0.035	0.720
		CMT centrales	0.012	0.900	-0.043	0.661
		5. ^a CMT	-0.003	0.975	-0.057	0.559
		1. ^{er} dedo	-0.015	0.880	-0.042	0.669
		3. ^{er} dedo	-0.058	0.548	-0.047	0.630
		5. ^o dedo	-0.005	0.955	-0.083	0.393
	Dorsal	Medial	0.002	0.983	-0.080	0.412
		Lateral	0.016	0.871	-0.026	0.793
		1. ^a CMT	-0.025	0.801	-0.071	0.464
		CMT centrales	0.033	0.738	-0.022	0.823
		5. ^a CMT	0.001	0.992	-0.031	0.746
		1. ^{er} dedo	-0.053	0.586	-0.076	0.436
		3. ^{er} dedo	-0.004	0.968	-0.053	0.584
5. ^o dedo	-0.023	0.817	-0.133	0.171		

¹Coefficiente de correlación Rho de Spearman

No se encontraron datos estadísticamente significativos en la relación entre la temperatura axilar, la temperatura de los pies y el sexo (**Tabla 19**).

Tabla 19. Relación temperatura axilar y temperatura podal según el sexo

		T ^a axilar				
		Niña		Niño		
		Coefficiente de correlación	p ¹	Coefficiente de correlación	p ¹	
Pie	Plantar	Talón	-0.022	0.811	-0.150	0.149
		ALI	-0.054	0.557	0.003	0.979
		ALE	-0.013	0.889	-0.033	0.755
		1. ^a CMT	-0.051	0.576	-0.074	0.477
		CMT centrales	-0.026	0.780	-0.053	0.613
		5. ^a CMT	-0.033	0.715	-0.072	0.489
		1. ^{er} dedo	-0.088	0.336	-0.026	0.803
		3. ^{er} dedo	-0.049	0.591	-0.092	0.379
		5. ^o dedo	-0.029	0.748	-0.083	0.425
	Dorsal	Medial	-0.027	0.764	-0.064	0.537
		Lateral	-0.029	0.750	-0.001	0.992
		1. ^a CMT	-0.083	0.364	-0.036	0.731
		CMT centrales	-0.019	0.836	0.015	0.883
		5. ^a CMT	-0.035	0.701	-0.023	0.825
		1. ^{er} dedo	-0.073	0.423	-0.083	0.428
3. ^{er} dedo		-0.067	0.460	-0.005	0.963	
5. ^o dedo		-0.083	0.364	-0.104	0.319	

¹Coefficiente de correlación Rho de Spearman

5.4. Diferencias térmicas medidas en el calzado y según el sexo

5.4.1. Temperatura directa en calzado escolar y deportivo

Las temperaturas tomadas directamente en los calzados fueron de 27.3 ± 2.5 °C en el talón y 26.6 ± 2.5 °C en la puntera del calzado escolar. En el calzado deportivo la temperatura media en el talón fue de 26.9 ± 1.8 °C y en la puntera 25.8 ± 1.8 °C.

5.4.2. Temperatura del calzado según el tipo del mismo

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en relación a la temperatura del talón y la puntera cuando se compararon los diferentes modelos de calzado escolar (colegial, merceditas, mocasín, náutico, bailarinas, botín) (**Tabla 20**), ni al comparar los distintos materiales de corte (piel y sintético) (**Tabla 21**).

Tabla 20. Relación temperatura calzado y tipo escolar

Zona	Tipo colegial	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Colegial	27.8	2.1	28.1	26.8-29.1	0.087 ¹	
	Merceditas	27.6	2.2	27.5	26.1-29.4		
	Mocasín	26.3	3.4	26.7	23.2-28.2		
	Náutico	26.6	2.7	26.1	24.1-28.8		
	Bailarinas	25.3	1.9	25.2	23.7-26.4		
	Botín	26.7	3.5	26.7	24.2-26.7		
Puntera	Colegial	27.1	2.1	27.4	26.1-28.8	0.242 ¹	
	Merceditas	27.1	2.5	27.2	25.5-29.5		
	Mocasín	25.8	3.1	26.2	22.5-28.3		
	Náutico	25.7	2.7	25.8	23.3-28.1		
	Bailarinas	25.6	1.7	25.1	24.2-27.2		
	Botín	25.9	4.9	25.9	22.4-25.9		

¹ Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes

Tabla 21. Relación temperaturas calzado colegial y material

Zona	Material colegial	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Inter cuartilico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Piel	27.3	2.5	27.4	25.8-29.1	0.614 ¹	
	Sintético	26.9	2.3	27.6	25.0-29.1		
Puntera	Piel	26.6	2.5	26.9	25.0-28.5	0.687 ¹	
	Sintético	26.9	2.1	27.2	24.5-28.5		

¹Prueba T para muestras independientes

No se hallaron diferencias estadísticamente significativas que relacionen la temperatura del calzado (talón y puntera) con el tipo de deportivo: carrera, fútbol, tenis y multideporte (**Tabla 22**), ni con los diferentes materiales de corte : “aireado”/“no aireado” (**Tabla 23**).

Tabla 22. Relación temperatura calzado y tipo deportivo

Zona	Tipo Deportivo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Inter cuartilico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Carrera	26.9	1.8	26.9	25.7-28.4	0.871 ¹	
	Fútbol	26.6	2.1	26.6	24.9-28.3		
	Tenis	27.0	1.7	27.2	25.3-28.4		
	Multideporte	27.0	1.6	27.5	25.6-28.2		
Puntera	Carrera	25.5	1.7	25.4	24.4-26.6	0.468 ¹	
	Fútbol	26.1	1.9	25.8	25.1-27.2		
	Tenis	26.1	1.9	26.6	25.1-27.6		
	Multideporte	25.9	1.7	25.9	25.3-26.7		

¹ANOVA de un factor para muestras independientes

Tabla 23. Relación temperatura calzado deportivo y material

Zona	Material deportivo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	“Aireada”	26.9	1.8	26.9	25.7-28.3	0.902 ¹	
	“No aireada”	26.9	1.8	27.2	25.4-28.3		
Puntera	“Aireada”	25.5	1.7	25.5	24.4-26.5	0.124 ¹	
	“No aireada”	26.1	1.8	26.1	25.1-27.2		

¹Prueba T para muestras independientes

Al estudiar la relación existente entre las temperaturas del calzado **escolar** o **deportivo**, solamente presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p= 0.009$) las temperaturas medias en la puntera del calzado, que resultaron más altas 26.6 ± 2.5 °C en el escolar frente al deportivo 25.8 ± 1.8 °C (**Tabla 24**).

Tabla 24. Diferencias de temperatura en imagen de calzado escolar y deportivo

Zona	Tipo de calzado	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Escolar	27.3	2.5	27.4	25.6-29.1	0.226 ³	
	Deportivo	26.9	1.8	27	25.4-28.3		
Puntera	Escolar	26.6	2.5	27	24.8-28.5	0.009 ¹	0.250 ²
	Deportivo	25.8	1.8	25.9	24.5-27.1		

¹Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para muestras relacionadas

²Tamaño del efecto (r de Rosenthal)

³Prueba T para muestras relacionadas

5.4.3. Temperatura del calzado según el sexo

Comparando la temperatura que presentó el calzado **escolar** por sexos, la temperatura en la zona del talón y la puntera fue mayor en el calzado de los **niños** frente al de las **niñas**, siendo la diferencia estadísticamente significativa ($p= 0.001$) en el talón y la puntera ($p= 0.019$) (**Tabla 25**). Sin embargo, en el calzado **deportivo** no se encontró diferencia estadísticamente significativa alguna en las zonas analizadas (**Tabla 26**).

Tabla 25. Diferencias de temperaturas en el calzado escolar en función del sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Niña	26.6	2.7	26.7	23.9-28.4	0.001¹	0.654 ²
	Niño	28.1	1.9	28.3	26.8-29.1		
Puntera	Niña	26.2	2.7	26.7	23.9-28.4	0.019¹	0.221 ²
	Niño	27.2	1.9	27.5	26.1-28.8		

¹Prueba T para muestras independientes

²Tamaño del efecto (d de Cohen)

Tabla 26. Temperaturas en imagen del calzado deportivo según sexo

Zona	Sexo	Media (°C)	Desviación típica	Mediana (°C)	Rango Intercuartílico	p-valor	Tamaño del efecto
Talón	Niña	26.8	1.8	26.8	25.4-28.4	0.698 ¹	
	Niño	27.0	1.7	27.4	25.9-28.2		
Puntera	Niña	25.7	1.8	25.8	24.5-26.8	0.575 ¹	
	Niño	25.9	1.7	25.9	24.9-27.2		

¹Prueba T para muestras independientes

DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

6.1. Características generales del calzado escolar y deportivo

Se podría destacar que ambos colegios implicados en el estudio son centros concertados, en los que los alumnos deben llevar calzado escolar los días que usan uniforme, y deportivo, los días que practican alguna actividad física. Esto facilitó la toma de datos porque los alumnos emplean ambos tipos de calzado. En los centros públicos los escolares suelen llevar más calzado deportivo que cuando estudian en centros concertados (145). Además, hay estudios que corroboran que el uso de este tipo de calzado es mucho más frecuente (146).

En el presente trabajo se ha encontrado que la talla del calzado escolar que llevaban los participantes fue ligeramente menor que el deportivo, algo que puede ocurrir por el empleo de diferentes hormas según el fabricante del calzado. Esa variación en la horma puede encontrarse en el calzado deportivo incluso en la misma marca según el año de fabricación o el modelo (125). El calzado deportivo debe ser más amplio para permitir el correcto movimiento del pie durante las actividades deportivas, ya que se ha visto que un calzado demasiado ajustado en la población infantil impide dicho movimiento (147). En general, se recomienda que el calzado de uso infantil siempre sea más amplio para permitir el correcto crecimiento y evitar la aparición de deformidades (148).

En el estudio que nos ocupa, el calzado colegial fue el más empleado que, además, tenía el corte fabricado principalmente en piel. Los fabricantes de calzado españoles más importantes, como Pablosky®, emplean este tipo de material, que es sostenible, pues consideran que es el material que mejor garantiza la transpiración del pie. Para ellos es un subproducto del animal, incluso como garantía de calidad, emplean pieles con certificado ambiental LWG (Leather Working Group), que en el proceso de fabricación evita residuos y emisiones, a la vez que se consigue la trazabilidad del producto y una producción sostenible. Se ha podido observar que la elección de calzado de piel escolar ha sido empleado por distintos autores para sus investigaciones en población infantil (100,147). Habitualmente se considera que el calzado colegial de niño debe ser de piel

dado que presenta mayor durabilidad, transpirabilidad y adaptación a la forma del pie, por tanto, suele ser el elegido por padres y/o tutores. Además, se recomienda el empleo de pieles de calidad para evitar problemas dermatológicos como dermatitis alérgicas de contacto o dermatitis del calzado e infecciones por hongos (108). Esto es debido a que los alérgenos más comunes para el pie son los tintes, gomas, adhesivos y adornos de metal (149,150).

Aunque no ha sido el objeto del estudio, en el presente trabajo, cabe pensar que los calzados escolar y deportivo tienen diferentes tipos de suela, ya que la dureza y materiales empleados son diferentes e influyen en la movilidad del pie, principalmente en el ámbito deportivo (151). De forma general, se considera que el calzado colegial ideal es el tipo Oxford, que se caracteriza por poseer una suela de goma producida de una única pieza y con una altura de tacón no superior a 10 mm hasta los 10 años de edad (152), y en el que la unión de la piel y el corte se realiza con la técnica del pegado o cosido. Para facilitar que los niños se calcen más cómodamente, la forma de cierre se realiza con Velcro®, mejor que con cordones.

El calzado tipo merceditas y el tipo bailarinas es de uso exclusivo de niñas según nuestros resultados, presentando las bailarinas una suela más delgada con menor altura de tacón. El corte solo cubre los dedos y está muy ajustado al pie para conseguir que el zapato mantenga su posición adecuada y que permita una deambulación correcta. Por otra parte, el tipo merceditas se asemeja al calzado escolar de niño, con mejores características que la bailarina en cuanto a suela, ajuste y corte de piel, siendo más abierto en empeine que el calzado escolar de niño.

El calzado que prefieren tanto niños como niñas es el deportivo, comenzando esta moda al principio de los años 70 (153) y cada día está más presente. Dentro del calzado deportivo, se clasificó como “aireado” el calzado de malla, con rejilla, perforado o de piel, puesto que ofrecen mayor capacidad de transpiración, mientras que el “no aireado” estaba realizado en material sintético no perforado, con peor capacidad de transpiración, asociando por tanto la transpiración a la aireación o ventilación. Esto concuerda con la clasificación empleada por Barkley *et al.* (2011), en el que se habla de la importancia del corte del calzado en la transferencia del calor y lo caracterizan según esté fabricado con

algodón, piel, poliuretano (PU), policloruro de vinilo (PVC) u otras fibras sintéticas, pudiendo ser materiales delgados, gruesos o perforados para permitir el flujo de aire (154). West A. *et al.* (2019), diferenciaron el material de corte en “construcción de corte abierta” o “construcción de corte cerrada” (155). Ellis *et al.* (2022), clasificaron el corte en piel, sintético o de malla (156).

La mayoría de calzado deportivo empleado por los escolares es el calzado de carrera, que presenta unas características técnicas que lo hacen polivalente para cualquier actividad deportiva. Sin embargo, los niños emplearon en más casos calzado específico para la práctica de fútbol, algo que se puede justificar con el hecho de que en España es el deporte con mayor número de licencias federativas (157). Este calzado presenta características específicas incompatibles con otro tipo de actividad deportiva, ya que su diseño está adaptado al tipo de superficie donde se practique (hierba, pista u otros pavimentos) (111), por lo que pensamos que no debería emplearse de forma polivalente.

El calzado de carrera resulta muy cómodo y posiblemente esta sea una de las razones principales por la que su uso es tan extendido. En primer lugar, la suela presenta diferentes materiales de poco peso y diferentes densidades (158), a la vez que el piso que contacta con el suelo se puede emplear sobre cualquier superficie con buena adherencia (108,123,159). Generalmente el corte es de material de malla que es ligero y proporciona buena aireación (108), presentando refuerzos en la puntera con lo que el desgaste es menor. Por último, el sistema de sujeción puede ser de cordones o con cintas de gancho y bucle, lo que hace que sea más fácil de colocar para los niños.

En cuanto al calzado deportivo según el sexo, encontramos pocas diferencias entre niños y niñas, salvo en el color y motivos de adorno. Será en la edad adulta cuando las hormas varíen en función del sexo y se marquen las diferencias en el diseño del calzado femenino y masculino (160,161).

6.2. Características térmicas del pie en función del calzado usado (escolar o deportivo)

Hay pocos estudios que tengan en cuenta la temperatura del pie con relación al calzado, siendo menos aún los referidos a la población infantil, lo que es importante, ya que la humedad y el calor en el interior del calzado puede afectar a la salud del pie escolar. Así se debe tener en cuenta que la sensación de **confort térmico** se considera adecuada siempre que ronde los 20-33 °C (162), puesto que temperaturas mayores provocarán aumento del flujo sanguíneo, de la perspiración y de la humedad, produciendo la proliferación de microorganismos que puedan infectar el pie (131,162). Además, el exceso de la humedad puede aumentar la fricción con el calzado, lo que favorecería la formación de rozaduras y/o ampollas (155). Hay que tener en cuenta otros factores que pueden influir en el confort térmico, como la interacción del pie con el calcetín (131) y el forro (162), la suela y el calzado (163,164), siendo la función principal de este el aislamiento del medio exterior (131).

En los resultados obtenidos, las temperaturas halladas en los pies de los sujetos se encuentran dentro del rango del confort térmico anteriormente descrito. Cuando la temperatura es mayor desaparece la sensación de confort térmico, produciéndose la dilatación de los vasos sanguíneos y aumento del flujo en la piel que, como resultado, produce un incremento de carga en el sistema vascular de las extremidades inferiores (162). Por otra parte, se debe tener en cuenta que el pie es una estructura anatómica que tiene una superficie amplia en relación a su volumen y presenta poca masa muscular, por lo que tiene poca capacidad para la producción metabólica de calor (163), siendo este un tema sobre el que se podría realizar un estudio. Según Kuklane *et al.* (1998) (82), cuando el pie se expone al frío, se producen respuestas fisiológicas que pueden ser diferentes en cada individuo y, más relevantes, en el talón y los dedos de los pies. Nuestros resultados muestran que la temperatura de los dedos es generalmente menor que en el resto de los puntos del pie. Es lógico encontrar menor temperatura en los dedos que otras zonas, ya que son zonas distales o acras, que reciben menor vascularización, según disminuye su calibre al ramificarse las arterias desde el corazón (165).

En relación a la **temperatura de la planta del pie**, nuestros resultados mostraron que el valor más elevado se encontró en el ALI, tanto con el calzado escolar como con el deportivo. Esto puede explicarse, en primer lugar, a la radiación emitida por el flujo de la rama medial de la arteria tibial posterior, como indican autores como Sun, Jao y Cheng (2005) (50). En segundo lugar, se espera un incremento de temperatura en esa zona debido al menor espacio entre el arco interno y el calzado (80), ya que la mayor parte del calzado infantil, especialmente el deportivo, incorpora una elevación en la zona del arco interno en la plantilla (**Figura 41** y **Figura 42**), lo que favorece el contacto entre ambas zonas.



Figura 41. Zapatilla carrera con palmilla elevada



Figura 42. Palmilla con aumento de altura en la zona interior

Por otra parte, al **comparar las temperaturas plantares** del pie, se observó que eran mayores tras llevar el calzado deportivo, siendo las diferencias estadísticamente significativas prácticamente en todas las zonas (excepto 1.^a CMT y dedos). Esto puede deberse a la composición de las suelas del calzado deportivo, muy variada en cuanto a materiales y características técnicas, así como en diseño que facilite la estabilidad, amortiguación y la torsión del pie que se generan en la práctica deportiva. Nemati *et al.*

(2021), confirmaron que la temperatura de la planta del pie está influenciada por las propiedades térmicas y mecánicas de la suela, permitiendo la transferencia de calor y el aislamiento del medio externo (164).

En cuanto a los datos obtenidos en la **comparativa de temperaturas en el dorso** del pie, las temperaturas fueron más altas también en el calzado deportivo y en las zonas medial, lateral, 1.^a CMT, CMT centrales y 3.^{er} dedo, lo que puede deberse a que una gran cantidad de participantes emplearon calzado colegial tipo merceditas (26.9%) y tipo bailarinas (5.6%), que dejan prácticamente el dorso del pie al descubierto, lo que justificaría que las temperaturas con calzado escolar sean menores. El calzado colegial está mayoritariamente fabricado en piel (89.8%) que es además eficiente para la transmisión del calor. Sin embargo, el calzado deportivo es siempre cerrado y acordonado o con tipo Velcro®, incluso las lengüetas suelen ser voluminosas y realizadas con varios materiales, con todo ello se reduce el espacio que existe entre el dorso del pie y el calzado limitando la ventilación sobre la superficie del pie y disminuyendo la evaporación de la sudoración, como se ha expuesto anteriormente. Todo lo descrito se corrobora por el estudio de Shimazaki y Murata (2015), en el que exponen que la temperatura del dorso del pie disminuye por la convección y la ventilación que produce el pie al moverse y por la evaporación del sudor (131).

Con respecto a las temperaturas halladas en nuestro estudio en el dorso del pie, encontramos los mayores valores en la zona lateral, lo que podría deberse al contacto íntimo pie-calzado en dicha zona, a diferencia del ALI que está más elevado del suelo (80,131).

Hasta el mejor conocimiento de las autoras, no hay evidencia científica que explique la relación entre la temperatura del pie en planta o dorso con el material de corte, así como los distintos modelos de calzado escolar y deportivo entre sí.

6.3. Diferencias térmicas del pie según el calzado utilizado y según el sexo y la relación con la temperatura central

En la comparación de las temperaturas obtenidas entre el pie según el sexo los resultados indican que en la **planta del pie** los **niños** presentaron temperaturas estadísticamente significativas y superiores a las niñas cuando llevaron **calzado escolar** (**Tabla 12**), ocurriendo lo mismo en las temperaturas **dorsales** del pie (**Tabla 13**).

La menor temperatura en la zona dorsal del pie podría explicarse, como se ha mencionado en el apartado 5.2, a que un alto porcentaje del calzado empleado por las niñas fue de tipo merceditas y bailarinas, que dejan el empeine al descubierto, lo que posibilita el aireado y la ventilación en la planta (**Figura 43**).



Figura 43. Ventilación en calzado tipo bailarina

Se puede apreciar que la zona de temperatura más alta se encuentra en la zona lateral del pie (plantar y dorsal) probablemente, como se ha explicado anteriormente, esto sea debido a que en la zona lateral del pie hay menos espacio entre el pie y el calzado, con lo que se reduce la ventilación y se consigue que la temperatura en el interior del calzado se mantenga más elevada (80,131).

Con **calzado deportivo** ocurre algo semejante, las temperaturas son menores en niñas que en **niños**. En la **planta** del pie las zonas con significación estadística son menores que en el calzado colegial (ALE, 5.^a CMT, 1.^{er} dedo y 5.^o dedo) (**Tabla 14**),

mientras que en las imágenes **dorsales (Tabla 15)** presentaron resultados estadísticamente significativos la zona lateral, CMT centrales, 5.^a CMT, 1.^{er} dedo y 3.^{er} dedo. La temperatura más alta vuelve a localizarse en la zona lateral del pie, al igual que ocurría con el calzado escolar.

¿Qué explicación podría justificar la mayor temperatura en los pies de los niños con respecto a las niñas? Los participantes del presente trabajo tenían una edad comprendida entre 9 y 10 años, siendo considerados niños, ya que se estima que la adolescencia se alcanza en torno a los 12 años de edad (166), por lo que no cabría esperar variaciones de temperatura en función del sexo (167,168). Al contrario, en adultos se han encontrado diferencias en función del sexo, aunque referidas a las extremidades inferiores, no en los pies (169).

Al parecer, las diferencias térmicas corporales según el sexo se establecerían a partir de la pubertad, que se ha adelantado hacia los 10 años, según distintos autores (170–173). Lo que puede justificar las diferencias de temperatura axilar en nuestra población de estudio es que el desarrollo de la pubertad se ve influenciado no solo por la edad cronológica, sino también por la raza, etnia, condiciones ambientales, localización geográfica, nutrición e incluso la actividad física (46,174,175). También, las diferencias en la morfología de los pies de niños y niñas empiezan a establecerse entre los 8 y los 10 años, lo que podría ser un factor que influyera en la temperatura de los pies en función del sexo (119,128,176).

En el presente trabajo, asimismo se encontró que las **temperaturas axilares** eran menores en las niñas que en los **niños**, sin embargo, esto no se puede relacionar con las temperaturas halladas en los pies con los diferentes calzados, pues no existió correlación entre ambas variables, de la misma forma que no se encontró conexión entre la temperatura axilar, la temperatura de los pies y el sexo.

Está demostrada la diferente capacidad de termorregulación de los niños frente a los adultos y de los niños frente a las niñas (177–180) pero, hasta el mejor conocimiento de las autoras, no existen estudios que corroboren los datos obtenidos con respecto a la temperatura del pie en niños/as.

6.4. Diferencias térmicas medidas en el calzado y según el sexo

Antes de comenzar a discutir los resultados, nos surge la necesidad de justificar el interés de medir la temperatura en el calzado. Las zonas que se eligieron para el análisis térmico fueron el talón y la puntera. El talón, por ser la zona más vascularizada, más protegida por el calzado y por ser la zona más representativa del confort térmico. Dicho confort térmico -como se indicó en el apartado 5.2- se produce entre los 20-33 °C (162,181), aunque existe poca evidencia científica al respecto. La puntera, al contrario que el talón, fue elegida por ser la zona que alberga a los dedos, siendo esta zona la menos vascularizada del pie. También por ser una zona constante en los tipos de calzado cerrado, que son los estudiados en el presente trabajo, y lo más importante, que refleja la temperatura que el pie transmite principalmente por conducción (181).

Si nos centramos en el confort térmico, temperaturas por encima o debajo del rango anteriormente descrito, además de producir malestar, pueden desencadenar lesiones o infecciones bacterianas (131). Son muchos los factores que influyen en la temperatura del interior del calzado, como la actividad física (182), las características físicas de la persona, la construcción del calzado y sus materiales, especialmente sus propiedades térmicas, es decir, su capacidad aislante contra el frío y de difusión del calor (164).

Los datos obtenidos en esta investigación muestran que la temperatura es mayor en el calzado escolar que en el deportivo, aunque solo se obtuvieron datos estadísticamente significativos en la puntera. En el talón no se encontraron diferencias significativas entre ambos calzados, encontrando una temperatura media de 27.3 °C en el calzado escolar y de 26.9 °C en el deportivo (**Tabla 24**), y estando ambas temperaturas dentro del rango de confort térmico.

Con respecto a la puntera, el calzado escolar presentó una temperatura de 26.6 °C, mientras que en el deportivo fue de 25.8 °C, siendo estas diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 24**). Ello puede justificarse por el hecho de que el material de piel con el que estaba realizado el 89.8% del calzado escolar se comportó eficientemente en la transmisión del calor. Esto hace que la temperatura en la parte exterior del calzado sea

más alta y que el tercer dedo, que es el representativo de la puntera, pueda ver reducida su temperatura, debido a que el material del corte ha disipado el calor del interior. Este resultado confirma la hipótesis inicial en la que se presupone que el calzado fabricado con piel natural permite disipar la temperatura del pie mejor que el deportivo.

Al analizar los datos de temperatura hallados en el talón y la puntera en relación con el sexo, encontramos que, en el calzado **escolar** los **niños** presentaron mayor temperatura que las **niñas**. Lo que quiere decir que el talón del calzado del niño mantiene más la temperatura, mientras que la puntera disipa más el calor. Posiblemente esto también se explique porque la temperatura en los pies de los niños es mayor que en las niñas. Al contrario, en el calzado **deportivo** no se obtuvieron diferencias significativas en las temperaturas del talón y la puntera según el sexo. Quizá esto último podría explicarse por una mayor homogeneidad en el uso de calzado deportivo en niños y niñas y la ventilación por el diseño y materiales empleados en la confección del calzado deportivo, al contrario de lo que en un principio podríamos presuponer (80,131).

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

- Las características del calzado más empleado fueron: el calzado escolar era de tipo colegial y de piel, y el deportivo de carrera y aireado. El empleo de calzado tipo merceditas y bailarinas fue exclusivo de las niñas, mientras que los niños usaron calzado de fútbol.
- Las temperaturas en el pie tras retirar el calzado escolar y deportivo fueron más altas en el ALI en la planta del pie, mientras que en el dorso lo fueron en la zona lateral. A su vez, el punto que presentó la temperatura más baja fue el 5.º dedo en todos los casos. La distribución de temperaturas en ALI y 5.º dedo puede explicarse por la distribución vascular del pie, mientras que la de la zona lateral puede deberse al menor espacio entre el pie y el calzado. Las temperaturas fueron más altas con el calzado deportivo que con el escolar, ya que la piel del corte permite una mejor transmisión del calor.
- En relación al sexo, la temperatura central fue mayor en niños que en niñas, así como en las distintas zonas del pie, tanto con calzado escolar como con calzado deportivo, lo que podría verse condicionado por el adelanto de la edad prepuberal. La temperatura de los pies con el uso de calzado escolar o deportivo no se relacionó con la temperatura central, tampoco la temperatura central influyó en la temperatura podal en función del sexo.
- El calzado escolar presentó mayor temperatura en la puntera, lo que sugiere un comportamiento más eficiente en la transmisión de calor al exterior y una menor temperatura en el pie, siendo este tipo de calzado idóneo para la población infantil. En relación al sexo, el calzado colegial de los niños presentó mayor temperatura en las zonas analizadas. Los diferentes modelos de calzado escolar y deportivo, así como el material de fabricación no influyeron en la temperatura del calzado.

LIMITACIONES Y FORTALEZAS DEL ESTUDIO

8. LIMITACIONES Y FORTALEZAS DEL ESTUDIO

8.1. Limitaciones del estudio

Durante el proceso de redacción del trabajo hemos encontrado pocos estudios sobre el tema que nos ocupa, la termografía del pie en los niños. También ha resultado imposible conseguir datos sobre las ventas o los materiales exactos empleados en cada tipo de calzado. Tan solo Pablosky® nos envió un documento sobre los estándares de calidad que emplean en la confección del calzado, aunque hubiera resultado muy complicado incluir todos esos datos en el estudio, puesto que la variedad de calzado fue muy amplia.

Por otra parte, no se ha podido tener en cuenta el calcetín o media que emplearon los participantes, hecho que puede que influyera en los resultados. Aunque la mayoría estaban fabricados en algodón, no se podía obtener el porcentaje de fibras de cada uno de ellos.

8.2. Fortalezas del estudio

Hasta el mejor conocimiento de las autoras, no se han realizado estudios similares que relacionen la temperatura de los pies con el calzado en población infantil.

El estudio de las temperaturas en el pie y el calzado permitirá el desarrollo de tecnologías que faciliten el mantenimiento del confort térmico para los pies de la población infantil.

8.3. Conflicto de intereses

Las autoras declaran que este trabajo no ha recibido ninguna fuente de financiación externa y por tanto, no tienen conflicto de intereses.

8.4. Líneas futuras de investigación

Como línea futura de investigación nos planteamos ampliar la muestra de estudio, incluyendo otros grupos de edad para obtener datos de termorregulación más amplios en población infantil.

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

9. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

9.1. Resumen

A lo largo de la historia el estudio de la temperatura corporal ha resultado importante como muestra de la salud de los individuos. Sin embargo, actualmente no se tiene información sobre cuál es la temperatura que deben tener los pies de los/as niños/as. La termografía infrarroja es una técnica eficaz, segura, no invasiva e inocua que resulta apropiada para conocer la temperatura periférica del cuerpo humano. Por otra parte, en la sociedad moderna los pies se encuentran cubiertos por el calzado. En este contexto, se presenta este trabajo que pretende dar información sobre qué temperatura tienen los pies de los/as niños/as cuando llevan calzado escolar o deportivo y las diferencias por sexo.

Material y método: La muestra estuvo compuesta por 108 participantes (61 niñas y 47 niños) de 9.5 ± 0.5 años, a los que se tomó la temperatura central y de la planta del pie, el dorso y el calzado que llevaron (un día escolar y otro deportivo).

Resultados: Las temperaturas más altas, tanto al usar calzado colegial como deportivo, se encontraron en la zona del ALI en la planta del pie y la zona lateral en el dorso, mientras que la temperatura más baja estaba en el 5.º dedo tanto en dorso como en la planta. Las temperaturas fueron más altas en el pie cuando este llevaba calzado deportivo, en la planta en: talón ($p=0.015$), ALI ($p=0.022$), ALE ($p=0.020$), CMT centrales ($p=0.020$) y 5.ª CMT ($p=0.038$) y en el dorso: zona medial ($p=0.001$), lateral ($p=0.002$), 1.ª CMT ($p=0.029$), CMT centrales ($p=0.009$) y 3.º dedo ($p=0.037$).

Llevar calzado escolar resultó que: tanto las temperaturas centrales como podales en planta y dorso fueron mayores en los niños que en las niñas, mientras que con el calzado deportivo las temperaturas solo fueron estadísticamente significativas en la planta en: ALE ($p=0.029$), 5.ª CMT ($p=0.022$), 1.º dedo ($p=0.030$) y 5.º dedo ($p=0.046$) y en el dorso: lateral ($p=0.040$), CMT centrales ($p=0.019$), 5.ª CMT ($p=0.010$), 1.º dedo ($p=0.044$) y 3.º dedo ($p=0.045$).

En cuanto a las temperaturas medidas en el calzado, fueron mayores en la puntera del calzado escolar que en el deportivo ($p=0.009$). Con respecto al sexo, las temperaturas en el calzado colegial de los niños fueron mayores que las de las niñas en el talón ($p=0.001$) y la puntera ($p=0.019$).

Conclusiones: El calzado más usado por los escolares es colegial de piel y de carrera aireado. Las temperaturas del pie más altas se localizaron en la zona del ALI en la planta y en la zona lateral en el dorso. Las temperaturas fueron más altas llevando calzado deportivo que colegial. Los niños presentaron temperaturas mayores que las niñas. El calzado de piel es más efectivo para mantener la temperatura del pie.

9.2. Palabras clave

Niño/a, pies, calzados, termografía, podología

SUMMARY AND KEY WORDS

10. SUMMARY AND KEY WORDS

10.1. Summary

Throughout history the study of body temperature has been significant as an indication of the health of individuals. However, currently there is no information on what temperature should children's feet have. Infrared thermography is an effective, safe, non-invasive and harmless technique that is appropriate to know the peripheral temperature of the human body. On the other hand, in modern society, feet are covered by footwear. In this context, the aim of this research work is to provide with information on which temperature feet of children have when they wear school or sports shoes and differences by sex.

Material and method: The sample was composed by 108 participants (61 girls and 47 boys) of 9.5 ± 0.5 years old, who were taken central, plantar and dorsal region of feet and shoe they wore (a school day and sports day) temperatures.

Results: The highest temperatures, both when wearing school and sports shoes, were found in the internal longitudinal arch at the sole of the foot and lateral on the dorsum, while the lowest temperature was in the 5th toe both on plantar and dorsal regions. Temperatures were higher in the foot when wearing sports shoes, in the sole: heel, internal longitudinal arch, external longitudinal arch, central metatarsal heads and 5th metatarsal head, and in the dorsum: medial, lateral, 1st metatarsal head, central metatarsal heads and 3rd toe.

Wearing school footwear turned out that both central and foot temperatures on the plantar and dorsal regions were higher in boys than in girls, while wearing sports shoes temperatures were only statistically significant at the sole on: external longitudinal arch ($p=0.029$), 5th metatarsal head ($p=0.022$), 1st toe ($p=0.030$) and 5th toe ($p=0.046$) and on dorsal view: lateral ($p=0.040$), central metatarsal heads ($p=0.019$), 5th metatarsal head ($p=0.010$), 1st toe ($p=0.044$) and 3rd toe ($p=0.045$).

As for the temperatures measured in the footwear, were higher in the toecap of the school footwear than in sports ($p=0.009$). Regarding sex, temperatures in the school shoes of boys were higher than those of girls in the heel ($p=0.001$) and the toecap of the shoe ($p=0.019$).

Conclusions: Most used shoes by schoolchildren are leather in scholars and “airy” in running sport shoes. The highest foot temperatures were found in the internal longitudinal arch area at the plantar region and the lateral area at the dorsum. Temperatures were higher wearing athletic shoes than school shoes. Boys had higher temperatures than girls. Leather footwear is more effective at maintaining foot temperature.

10.2. Key words

Child, foot, shoes, thermography, podiatry.

BIBLIOGRAFÍA

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Nishanthi K, Mohanalakshmi K, Veni L, Saumya, et al. Infrared thermography based studies on the effect of age on localized cold stress induced thermoregulation in human. *Infrared Phys Technol.* 2016;76:592–602.
2. Gatt A, Formosa C, Cassar K, Camilleri KP, De Raffaele C, Mizzi A, et al. Thermographic patterns of the upper and lower limbs: Baseline data. *Int J Vasc Med.* 2015.
3. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography : A review. *Infrared Phys Technol.* 2012;55(4):221–35.
4. Petrofsky JS, Berk L, Alshammari F, Lee H, Hamdan A, Yim JE, et al. The interrelationship between air temperature and humidity as applied locally to the skin: the resultant response on skin temperature and blood flow with age differences. *Med Sci Monit.* 2012;18(4):CR201-8.
5. Lim CL, Byrne C, Lee JK. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singapore.* 2008;37(4):347–53.
6. Patton KT, Thibodeau GA. Piel y anejos. En: *Anatomía y fisiología.* 8.^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2013. p. 152–77.
7. Taylor NAS, Machado-Moreira CA, van den Heuvel AMJ, Caldwell JN. Hands and feet: physiological insulators, radiators and evaporators. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114:2037–60.
8. Viegas F, de Mello MT, Rodrigues SA, Costa CMA, Freitas L de SN, Rodrigues EL, et al. The use of thermography and its control variables: A systematic review. *Rev Bras Med do Esporte.* 2020;26(1):82–6.
9. Thermography Guidelines. Standards and protocols. [Internet]. [citado 2017 Enero 8]. Disponible en: <http://www.iact-org.org/professionals/thermog-guidelines.html>
10. Brioschi ML, Macedo JF, Macedo RDAC. Termometria cutânea: novos conceitos. *J Vasc Br.* 2003;2(2):151–60.
11. Bouzida N, Bendada A, Maldague XP. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *J Therm Biol.* 2009;34(3):120–6.

12. Ring F. The Herschel Heritage to Medical Thermography. *J Imaging*. 2016;2(2):13.
13. Ring EFJ. Progress in the measurement of human body temperature. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 1998;17(4):19–24.
14. Dey N, Ashour AS, Althoupety AS. Thermal imaging in medical science. En: *Computer Vision: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI Global; 2018. p. 1109–32.
15. Milan, Čoh M, Širok B. Use of the thermovision method in sport training. *Phys Educ Sport*. 2007;5(1):85–94.
16. DiBenedetto M, Yoshida M, Sharp M, Jones B, DiBenedetto M, Yoshida M, et al. Foot evaluation by infrared imaging. *Mil Med*. 2002;167(5):384–92.
17. Gade R, Moeslund TB. Thermal cameras and applications: A survey. *Mach Vis Appl*. 2014;25(1):245–62.
18. Macdonald A, Petrova N, Ainarkar S, Allen J, Plassmann P, Whittam A, et al. Thermal symmetry of healthy feet: A precursor to a thermal study of diabetic feet prior to skin breakdown. *Physiol Meas*. 2017;38(1):33–44.
19. Barbi E, Marzuillo P, Neri E, Naviglio S, Krauss B. Fever in Children: Pearls and Pitfalls. *Children*. 2017;4:81.
20. Cobos Moreno P. Parámetros térmicos normales en el pie en crecimiento: Evolución y cambios durante el desarrollo [trabajo final de grado]. [Plasencia]: Universidad de Extremadura; 2018.
21. Wang F, Gao C, Kuklane K, Holmér I. A review of technology of personal heating garments. *Int J Occup Saf Ergon*. 2010;16(3):387–404.
22. Sears FW, Zemansky MW, Young HD, Freedman RA. Temperatura y calor. En: *Física Universitaria*. 9.^a ed. Naucalpan de Juárez, México: Addison Wesley Longman; 1999. p. 460–98.
23. Picquart M, Carrasco Morales I. De la temperatura y su medición. *Latin-American J Phys Educ*. 2017;11(1):10.
24. Serway RA. Física. Tomo I. 4.^a ed. Mexico: McGraw- Hill Interamericana Editores, S.A.; 1997.
25. Tipler PA, Mosca G. Propiedades y procesos térmicos. En: *Física para la ciencia y la tecnología Mecánica/ Oscilaciones y ondas/ Termodinámica*. 6.^a ed. Barcelona: Reverté; 2013. p. 665–92.
26. Priego Quesada JI, Salvador Palmer R, Cibrián Ortiz de Anda RM. Physics

- principles of the infrared thermography and human thermoregulation. En: Priego Quesada JI, editor. Application of infrared thermography in sports science. Valencia: Springer International Publishing; 2017. p. 25–48.
27. Serway RA. Física. Tomo II. 4.^a ed. México: McGraw- Hill Interamericana Editores, S.A.; 1997.
 28. Bernard V, Staffa E, Mornstein V, Bourek A. Infrared camera assessment of skin surface temperature - Effect of emissivity. *Phys Medica*. 2013;29(6):583–91.
 29. Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*. 2010;10(5):4700–15.
 30. Jones BF, Plassmann P. Digital infrared thermal imaging of human skin. *IEEE Eng Med*. 2002;21(6):41–8.
 31. Sanchis Sánchez E. Estudio de la precisión de la Imagen Térmica Infrarroja en el diagnóstico de lesiones traumatológicas en la edad pediátrica [tesis doctoral en Internet]. [Valencia]: Universidad de Valencia; 2013.
 32. Javier Luque Ordoñez. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *Acta*. 2012;(62):17–31.
 33. Sears FW, Zemansky MW, Young HD, Freedman RA. Ondas electromagnéticas. En: Física Universitaria. 9.^a ed. México: Addison Wesley Longman; 1999. p. 1025–52.
 34. Tipler PA, Mosca G. Ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas. En: Física para la ciencia y la tecnología Electricidad y magnetismo/ Luz. 6.^a ed. Barcelona: Reverté; 2015. p. 1029–80.
 35. Ring EFJ. The discovery of infrared radiation in 1800. *Imaging Sci J*. 2000;48:1–8.
 36. Saxena AK, Willital GH. Infrared thermography: Experience from a decade of pediatric imaging. *Eur J Pediatr*. 2008;167(7):757–64.
 37. Marins JCB, Moreira DG, Cano SP, Quintana MS, Soares DD, De Andrade Fernandes A, et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Phys Technol*. 2014;65:30–5.
 38. Jones BF. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE Trans Med Imaging*. 1998;17(6):1019–27.
 39. Ammer K. Principles of Temperature Regulation in Man [Grundlagen der Thermoregulation des Menschen]. *Thermol Österreich*. 1993;3(1):5–7.

40. López Dávila AJ. Actualidad en termorregulación. *Pensar en Mov Rev Ciencias del Ejerc y la Salud*. 2014;12(2):1–36.
41. Romanovsky AA. Skin temperature: Its role in thermoregulation. *Acta Physiol*. 2014;210:498–507.
42. Guyton AC, Hall JE. Regulación de la temperatura corporal y fiebre. En: *Tratado de fisiología médica*. 12.^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2011. p. 867–77.
43. Priego Quesada JI, Vardasca R. Issues and Future Developments of Infrared Thermography in Sports Science. En: Priego Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Valencia: Springer International Publishing; 2017. p. 297–319.
44. Wenger CB. The Regulation of Body Temperature. En: Roades RA, Tanner GA, editores. *Medical physiology [monografía en Internet]*. 2.^a ed. [Philadelphia]: Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 527–50.
45. Avellanas Chavala M, Capella Callaved, E, Civeira Murillo E. Patología por acción del frío: Hipotermia y congelaciones. En: Gil Cebrián J, Díaz-Alersi Rosety R, Jesús Coma M, Gil Bello D, editores. *Principios de Urgencias, Emergencias y Cuidados Críticos [Internet]*. Salobreña (Granada): Alhulia editorial; 2000. p. 1592.
46. Dębiec-Bąk A, Kuligowski T, Skrzek A. Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography. *J Therm Anal Calorim*. 2020;140(1):243–51.
47. Symonds ME, Henderson K, Elvidge L, Bosman C, Sharkey D, Perkins AC, et al. Thermal imaging to assess age-related changes of skin temperature within the supraclavicular region co-locating with brown adipose tissue in healthy children. *J Pediatr*. 2012;161(5):892–8.
48. Morrison SF. Central neural control of thermoregulation and brown adipose tissue. *Auton Neurosci Basic Clin*. 2016;196:14–24.
49. Morrison SF. Central control of body temperature. *F1000Research*. 2016;5:F1000 Faculty Rev-880.
50. Sun PC, Jao SHE, Cheng CK. Assessing foot temperature using infrared thermography. *Foot Ankle Int*. 2005;26(10):847–53.
51. Ammer K. Does thermology belong to complementary medicine? *Thermol Int*. 2017;27(1):5–8.
52. Ludwig N, Formenti D, Gargano M, Alberti G. Skin temperature evaluation by

- infrared thermography: Comparison of image analysis methods. *Infrared Phys Technol.* 2014;62:1–6.
53. Ammer K. Influence of Imaging and Object Conditions on Temperature Readings from Medical Infrared Images. *Polish J Environ Stud.* 2006;15(4A):117–9.
 54. Bach AJE, Stewart IB, Minett GM, Costello JT. Does the technique employed for skin temperature assessment alter outcomes? A systematic review. *Physiol Meas.* 2015;36:R27–51.
 55. Hardy JD. The radiation of heat from the human body: III. The human skin as a black- body radiator. *J Clin Invest.* 1934;13(4):615–20.
 56. Ring EFJ. The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Phys Technol.* 2007;49(3 SPEC. ISS.):297–301.
 57. Steketee J. Spectral emissivity of skin and pericardium. *Phys Med Biol.* 1973;18(5):686–94.
 58. Ring EFJ. History of thermology and thermography: Pioneers and progress. *Thermol Int.* 2012;22(3):3–7.
 59. Tse J, Rand C, Carroll M, Charnay A, Gordon S, Morales B, et al. Determining peripheral skin temperature: Subjective versus objective measurements. *Acta Paediatr Int J Paediatr.* 2016;105(3):e126–31.
 60. Fernández-Cuevas I, Bouzas Marins JC, Arnáiz Lastras J, Gómez Carmona PM, Piñonosa Cano S, García-Concepción MÁ, et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Phys Technol.* 2015;71:28–55.
 61. Velasco Maillo S, Fernández Pineda C. Un paseo por la historia de la termometría. *Rev española física.* 2005;19(3):46–56.
 62. Galilei G. "Termoscopio". Florencia: Museo Galileo. Istituto e Museo di Storia della Scienza; 1988.
 63. García Carmona A. El termómetro de Galileo como instrumento didáctico en el aula de física. *Rev Española Física.* 2002;16(2):46–9.
 64. Ring F. The infrared radiation dilemma 1800-1840. *Thermol Int.* 2016;26(4):101–6.
 65. Oliveira RA de, Silva APB da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Rev Bras Ensino Fis.* 2014;36(4):1–11.
 66. Ring EFJ. The historical development of thermal imaging in medicine. *Rheumatology.* 2004;43(6):800–2.

67. Priego Quesada JI, Cibrián Ortiz de Anda RM, Pérez- Soriano P, Salvador Palmer R. Introduction: historical perspective of infrared thermography and its application in sports science. En: Priego Quesada JI, editor. Application of infrared thermography in sports science. Valencia: Springer International Publishing; 2017. p. 1–23.
68. Fernández-Cuevas I, Arnaiz- Lastras J, Gómez Carmona P, Sillero-Quintana M. Validity, reliability, and reproducibility of skin temperature in healthy subjects using infrared thermography. En: Humbert P, Fanian F, Mibach HI, Agache A, editores. Agache's measuring the skin: Non- invasive investigations, physiology, normal constants. Switzerland: Springer; 2015. p. 1-7.
69. Oliveira J, Vardasca R, Pimenta M, Gabriel J, Torres J. Use of infrared thermography for the diagnosis and grading of sprained ankle injuries. *Infrared Phys Technol.* 2016;76:530–41.
70. Magalhães MF, Dibai-Filho AV, De Oliveira Guirro EC, Girasol CE, De Oliveira AK, Dias FRC, et al. Evolution of skin temperature after the application of compressive forces on tendon, muscle and myofascial trigger point. *PLoS One.* 2015;10(6):8–15.
71. Ng EYK, Acharya RU. Remote-Sensing Infrared Thermography: Reviewing the Applications of Indoor Infrared Fever-Screening Systems. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2009;28(1):76–83.
72. Szajewska A. Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology. *Procedia Eng.* 2017;172:1067–72.
73. Sinha R, Bhakat M, Mohanty TK, Ranjan A, Kumar R, Lone SA, et al. Infrared thermography as non-invasive technique for early detection of mastitis in dairy animals -A review. *Asian J dairy food Res.* 2018;37(1):1–6.
74. Rizzo M, Arfuso F, Alberghina D, Giudice E, Giancesella M, Piccione G. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *J Therm Biol.* 2017;69:64–8.
75. Talukder S, Thomson PC, Kerrisk KL, Clark CEF, Celi P. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology.* 2015;83(4):739–48.
76. LokeshBabu DS, Vasant PJ, Jeyakumar S, Manimaran A, Kumaresan A, Pushpadass HA, et al. Monitoring foot surface temperature using infrared thermal

- imaging for assessment of hoof health status in cattle: A review. *J Therm Biol.* 2018;78:10–21.
77. Stelletta C, Giancesella M, Vencato J, Fiore E, Morgante M. Thermographic applications in veterinary medicine. En: Prakash DR V, editor. *Infrared thermography.* 2012. p. 117–40.
78. Izhevsk U. Thermology is the basis of medicine since ancient times. *Thermol Int.* 2017;27(2):78–9.
79. Ammer K. Repeatability of identification of hot spots in thermal images is influenced by image processing. *Thermol Int.* 2011;21(2):40–6.
80. Shimazaki Y, Matsutani T, Satsumoto Y. Evaluation of thermal formation and air ventilation inside footwear during gait: The role of gait and fitting. *Appl Erg.* 2016;55:234–40.
81. Gil-Calvo M, Jimenez Perez I, Pérez-Soriano P, Priego Quesada JI. Foot temperature assessment. En: Priego Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science.* Valencia: Springer International Publishing; 2017. p. 235–63.
82. Kuklane K, Geng Q, Holmér I. Effect of footwear insulation on thermal responses in the cold. *Int J Occup Saf Ergon.* 1998;4(2):137–52.
83. Ring EFJ, Jung A, Zuber J, Rutowski P, Kalicki B, Bajwa U. Detecting fever in Polish children by infrared thermography. En: 9th International Conference on Quantitative Infrared Thermography. Krakov- Poland; 2008. p. 35–8.
84. Inbar O, Morris N, Epstein Y, Gass G. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp Physiol.* 2004;89(6):691–700.
85. Falk B, Dotan R. Children's thermoregulation during exercise in the heat - A revisit. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33(2):420–7.
86. Morrison SA, Sims ST. Thermoregulation in children: Exercise, heat stress & fluid balance. *Ann Kinesiol.* 2014;5(1):41–55.
87. Rowland T, Saltin B. Thermoregulation during exercise in the heat in children : old concepts revisited. *J Appl Physiol.* 2008;105:718–24.
88. Rivera-Brown AM, Rowland TW, Ramírez-Marrero FA, Santacana G, Vann A. Exercise tolerance in a hot and humid climate in heat-acclimatized girls and women. *Int J Sports Med.* 2006;27(12):943–50.
89. Sanchis-Sánchez E, Salvador-Palmer R, Codoñer-Franch P, Martín J, Vergara-

- Hernández C, Blasco J, et al. Infrared thermography is useful for ruling out fractures in paediatric emergencies. *Eur J Pediatr*. 2015;174(4):493–9.
90. Mohammed JA, Balma-Mena A, Chakkittakandiyil A, Matea F, Pope E. Infrared thermography to assess proliferation and Involution of infantile hemangiomas A prospective cohort study. *JAMA Dermatol*. 2014;150(9):964–9.
91. Blasco JM, Sanchis-Sánchez E, Martín JD, Sanchis E, Salvador-Palmer R, Cibrián R. A Matlab based interface for infrared thermographic diagnosis of pediatric musculoskeletal injuries. *Infrared Phys Technol*. 2016;76:500–3.
92. Cobos Moreno P, Astasio Picado A, Martínez Quintana R, Gómez Martín B. Infrared Clinical Thermography: Normal Foot Growth Parameters. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2022;112(4):e1–22.
93. Buldt AK, Menz HB. Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: A systematic search and narrative review of the literature. *J Foot Ankle Res*. 2018;11(43).
94. Staheli LT. Shoes for children: a review. *Pediatrics*. 1991;88(2):371–5.
95. Kurup H V., Clark CIM, Dega RK. Footwear and orthopaedics. *Foot Ankle Surg*. 2012;18(2):79–83.
96. Noviani AD, Widyanti A. Integrating anthropometry approach and kansei engineering in the design of children shoe. *Leather Footwear J*. 2018;18(4):295–306.
97. Gould N. Footwear. En: Jahss MH, editor. *Disorders of the foot and ankle: Medical and surgical management*. Philadelphia: Saunders; 1982. p. 2879–920.
98. Laguna Platero A, Martínez Gallego FA. *Historia del calzado deportivo*. Valencia: Federico Domenech; 1992.
99. Notty Bumbo P. Utilizing footwear as a therapeutic modality. En: Valmassy R, editor. *Clinical biomechanics of the lower extremities*. Saint Louis: Mosby; 1995. p. 349–66.
100. Wolf S, Simon J, Patikas D, Schuster W, Armbrust P, Döderlein L. Foot motion in children shoes-A comparison of barefoot walking with shod walking in conventional and flexible shoes. *Gait Posture*. 2008;27(1):51–9.
101. Gómez Echeverry LL, Velásquez Restrepo SM, Castaño Rivera P, Valderrama Mejía S, Ruiz Molina MA. La antropometría y la baropodometría como técnicas de caracterización del pie y herramientas que proporcionan criterios de ergonomía y confort en el diseño y fabricación de calzado: una revisión sistemática.

- Prospectiva. 2018;16(1):7–17.
102. Instituto de Biomecánica de Valencia. El pie calzado. Guía para el asesoramiento en la selección del calzado saludable. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia; 2002.
 103. Instituto de Biomecánica de Valencia. El pie calzado. Guía para el asesoramiento en la selección del calzado infantil. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia; 1999.
 104. Mcpoil TG. Footwear. *Phys Ther*. 1988;68(12):1857–65.
 105. Price C, Haley M, Williams A, Nester C, Morrison SC. Professional appraisal of online information about children's footwear measurement and fit: readability, usability and quality. *J Foot Ankle Res*. 2020;13:2.
 106. Morrison SC, Price C, McClymont J, Nester C. Big issues for small feet: Developmental, biomechanical and clinical narratives on children's footwear. *J Foot Ankle Res*. 2018;11(1):39.
 107. Frederick EC. Kinematically mediated effects of sport shoe design: A review. *J Sports Sci*. 1986;4(3):169–84.
 108. Barton CJ, Bonanno D, Menz HB. Development and evaluation of a tool for the assessment of footwear characteristics. *J Foot Ankle Res*. 2009;2(1):10.
 109. Vernon W, Borthwick AM, Walker J, Hardy B, Dunning D, Denton C, et al. Expert Group criteria for the recognition of healthy footwear. *Br J Pod*. 2007;10(4):127–33.
 110. Access2Markets Clasificar calzado [Internet]. [citado 2021 Feb 27]. Disponible en: <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/es/content/clasificar-calzado>
 111. Abián Vicén J, del Coso Garrigós J, González Millán C, Salinero Martín JJ. La biomecánica y la tecnología aplicadas al calzado deportivo. Madrid: IM&C; 2013. 60 p.
 112. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermol Int*. 2008;18(4):136–44.
 113. Hettigama IS, Punchihewa HKG, Heenkenda NK. Ergonomic footwear for Sri Lankan primary schoolchildren: A review of the literature. *Work*. 2016;55:285–95.
 114. Wegener C, Hunt AE, Vanwanseele B, Burns J, Smith RM. Effect of children's shoes on gait: A systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res*. 2011;4(1):3.

115. Mauch M, Grau S, Krauss I, Maiwald C, Horstmann T. A new approach to children's footwear based on foot type classification. *Ergonomics*. 2009;52(8):999–1008.
116. González Elena ML, Córdoba-Fernández A. Footwear fit in schoolchildren of southern Spain: A population study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20:208.
117. Witana CP, Feng J, Goonetilleke RS. Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. *Ergonomics*. 2004;47(12):1301–17.
118. Xu M, Li JX, Hong Y, Wang L. Foot type classification for Chinese children and adolescents. *Kinesiology*. 2019;51(1):127–32.
119. Jiménez-Ormeño E, Aguado X, Delgado-Abellán L, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in normal-weight, overweight, and obese schoolchildren. *Eur J Pediatr*. 2013;172(5):645–52.
120. Goonetilleke RS, Luximon A, Tsui KL. The Quality of Footwear Fit: What we know, don't know and should know. En: *Proceedings of the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Association, "Ergonomics for the New Millennium."* 2000. p. 515–8.
121. Roul S, Ducombs G, Leaute-Labreze C, Labbe L, Taïeb A. Footwear contact dermatitis in children. *Contact Dermatitis*. 1996;35(6):334–6.
122. Gámez L, Reig I, Martí N, Revert Á, Jordá E. Allergic contact dermatitis to footwear in children. *Actas Dermosifiliogr*. 2011;102(2):154–5.
123. Baker MD, Bell RE. The role of footwear in childhood injuries. *Pediatr Emerg Care*. 1991;7(6):353–5.
124. Instituto de Biomecánica de Valencia. El pie calzado. Guía para el asesoramiento en la selección del calzado deportivo. *El pie Calzado*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia; 1999.
125. Denton JA. Athletic shoes. En: Valmassy R, editor. *Clinical biomechanics of the lower extremities*. Saint Louis: Mosby; 1995. p. 453–63.
126. Yamashita MH. Evaluation and selection of shoe wear and orthoses for the runner. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2005;16:801–29.
127. Michaud TC. Orthotic dispensing, shoe gear, and clinical problem-solving. En: Michaud TC, editor. *Foot orthoses and other forms of conservative foot care*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1993. p. 223–35.
128. Walther M, Herold D, Sinderhauf A, Morrison R. Children sport shoes-A

- systematic review of current literature. *Foot Ankle Surg.* 2008;14(4):180–9.
129. Lake MJ. Determining the protective function of sports footwear. *Ergonomics.* 2000;43(10):1610–21.
 130. Goga H. Comparison of bacterial DNA profiles of footwear insoles and soles of feet for the forensic discrimination of footwear owners. *Int J Legal Med.* 2012;126:815–23.
 131. Shimazaki Y, Murata M. Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear. *Appl Ergon.* 2015;49:55–62.
 132. Sandoval-Palomares J de J, Yáñez-Mendiola J, Gómez-Espinosa A, López-Vela JM. Portable System for Monitoring the Microclimate in the Footwear-Foot Interface. *Sensors.* 2016;16(7):1059.
 133. Işık H. Design and construction of Thermoelectric Footwear Heating System for illness feet. *J Med Syst.* 2005;29(6):627–31.
 134. Chua JHJ, Dyer AG, Garcia JE. Hot shoes in the room: Authentication of thermal imaging for quantitative forensic analysis. *J Imaging.* 2018;4(21).
 135. Argimon Pallás JM, Jiménez Villa J. Métodos de investigación clínica y epidemiológica. 3.^a ed. Madrid: Elsevier; 2005.
 136. Fernández- Cuevas I, Arnáiz Lastras J, Escamilla Galindo V, Gómez Carmona P. Infrared thermography for the detection of injury in sports medicine. En: Priego Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science.* Valencia: Springer International Publishing; 2017. p. 81–109.
 137. Padilla-Raygoza N, Ruiz-Paloalto ML, Díaz-Guerrero R, Olvera-Villanueva G, Maldonado A, Raygoza-Mendoza M del P. Correlación de mediciones de temperatura corporal con 3 termómetros: Óptico, cutáneo y digital, en niños mexicanos. *Enferm Clin.* 2014;24(3):175–82.
 138. Quintana MS, Cuevas IF, Arnáiz-Lastras J, Marins J. Protocol for thermographic assessment in humans. Pre-Congress XIII EAT Congress. Madrid; 2015.
 139. Sundqvist KL. Evaluation of hand skin temperature-Infrared thermography in combination with cold stress tests. Luleå University of Technology; 2017.
 140. Seixas A, Pimenta I, Ammer K, Carvalho R, Vilas-Boas JP, Mendes J, et al. Inter-rater and intra-rater repeatability of the placement of regions of interest based in anatomical landmarks of the foot. *Thermol Int.* 2019;29(2):66–7.
 141. Menz HB. Two feet, or one person? Problems associated with statistical analysis of paired data in foot and ankle medicine. *Foot.* 2004;14:2–5.

142. Uematsu S, Edwin DH, Jankel WR, Kozikowski J, Trattner M. Quantification of thermal asymmetry. *J Neurosurg.* 1988;69(4):552–5.
143. Vardasca R, Ring EFJ, Plassmann P, Jones CD. Thermal Symmetry on Extremities of Normal Subjects. *Thermol Int.* 2012;22:53–60.
144. Niu HH, Lui PW, Hu JS, Ting CK, Yin YC, Lo YL, et al. Thermal symmetry of skin temperature: Normative data of normal subjects in Taiwan. *Chinese Med J.* 2001;64(8):459–68.
145. González Elena ML. ¿Se ajusta el calzado al pie en la población escolar? Estudio con fines preventivos [tesis doctoral]. [Sevilla]: Universidad de Sevilla; 2015.
146. Puszczalowska-Lizis E, Zarzyczna P, Mikulakova W, Migala M, Jandzis S. Influence of footwear fitting on feet morphology in 9 year old girls. *BMC Pediatr.* 2020;20:349.
147. Matthias E, Banwell HA, Arnold JB. Children’s school footwear: The impact of fit on foot function, comfort and jump performance in children aged 8 to 12 years. *Gait Posture.* 2021;87:87–94.
148. Puszczalowska-Lizis E, Lukasiewicz A, Lizis S, Omorczyk J. The impact of functional excess of footwear on the foot shape of 7-year-old girls and boys. *PeerJ.* 2021;9:e11277.
149. Adeniran V, Cherian A, Cho JO, Febrian C, Kim ET, Siwy T, et al. Shoe Dermatitis. *Clin Podiatr Med Surg.* 2021;38(4):561–8.
150. Matthys E, Zahir A, Ehrlich A. Shoe allergic contact dermatitis. *Dermatitis.* 2014;25(4):163–71.
151. Lake MJ, Baly L, Morio C, Gueguen N, Rao G, Lake MJ, et al. The influence of footwear on foot motion during walking and running. *J Biomech.* 2009;42(13):2081–8.
152. Cortés Barragán JM. Estudio del calzado. En: Levy Benasuly AE, Cortés Barragán JM, editores. *Ortopodología y aparato locomotor.* Barcelona: Masson; 2003. p. 283–348.
153. Rossi W. Children’s Footwear: Launching Site for Adult Foot Ills. *Pod Manag.* 2002;(October):83–100.
154. Barkley R, Bumgarner M, Poss E, Senchina D. Physiological Versus Perceived Foot Temperature, and Perceived Comfort, during Treadmill Running in Shoes and Socks of Various Constructions. *Am J Undergrad Res.* 2011;10(3):7–14.
155. West AM, Schönfish D, Picard A, Tarrier J, Hodder S, Havenith G. Shoe

- microclimate: An objective characterisation and subjective evaluation. *Appl Ergon*. 2019;78:1–12.
156. Ellis S, Branthwaite H, Chockalingam N. Evaluation and optimisation of a footwear assessment tool for use within a clinical environment. *J Foot Ankle Res*. 2022;15:12.
157. MECS. Anuario de estadísticas deportivas 2021 [Internet]. Anuario de estadísticas deportivas 2021. Madrid; 2021 [citado 2021 Nov 21]. p. 229. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:b24c68ad-75ff-48d0-aa1f-d57075f22e64/anuario-de-estadisticas-deportivas-2021.pdf>
158. Gu YD, Li JS, Lake MJ, Zeng YJ, Ren XJ, Li ZY. Image-based midsole insert design and the material effects on heel plantar pressure distribution during simulated walking loads. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2011;14(8):747–53.
159. Escamilla Martínez E. Presiones plantares en corredores de fondo: Análisis longitudinal en tres momentos de desgaste de la zapatilla deportiva [tesis doctoral]. [Plasencia]: Universidad de Extremadura; 2011.
160. Krauss I, Langbein C, Horstmann T, Grau S. Sex-related differences in foot shape of adult Caucasians - a follow-up study focusing on long and short feet. *Ergonomics*. 2011;54(3):294–300.
161. Price C, Skidmore S, Ratcliffe J, Williams A. Children should be seen and also heard: an explorative qualitative study into the influences on children's choice of footwear, their perception of comfort and the language they use to describe footwear experiences. *J Foot Ankle Res*. 2021;14:49.
162. Irzmańska E, Dutkiewicz JK, Irzmański R. New approach to assessing comfort of use of protective footwear with a textile liner and its impact on foot physiology. *Text Res J*. 2014;84(7):728–38.
163. Kuklane K. Protection of feet in cold exposure. *Ind Health*. 2009;47(3):242–53.
164. Nemati H, Moghimi MA, Naemi R. A mathematical model to investigate heat transfer in footwear during walking and jogging. *J Therm Biol*. 2021;97:102778.
165. Duraes M, Captier G, Bonnel F. Vascularización arterial y venosa del pie. *EMC - Podol*. 2022;25(1):1–9.
166. Job KM, Gamalo M, Ward RM. Pediatric Age Groups and Approach to Studies. *Ther Innov Regul Sci*. 2019;53(5):584–9.
167. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M.

- Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. *EPMA J.* 2021;12:435–47.
168. Arlegui L, Smallcombe JW, Fournet D, Tolfrey K, Havenith G. Body mapping of sweating patterns of pre-pubertal children during intermittent exercise in a warm environment. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121:3561–76.
169. Binek M, Drzazga Z, Socha T, Pokora I. Do exist gender differences in skin temperature of lower limbs following exercise test in male and female cross-country skiers? *J Therm Anal Calorim.* 2022;147:7373–83.
170. Roberts SA, Kaiser UB. Genetics in endocrinology genetic etiologies of central precocious puberty and the role of imprinted genes. *Eur J Endocrinol.* 2020;183(4):R107–17.
171. Herman-Giddens ME, Slora EJ, Wasserman RC, Bourdony CJ, Bhapkar M V., Koch GG, et al. Secondary sexual characteristics and menses in young girls seen in office practice: A study from the pediatric research in office settings network. *Pediatrics.* 1997;99(4):505–12.
172. Sun SS, Schubert CM, Liang R, Roche AF, Kulin HE, Lee PA, et al. Is sexual maturity occurring earlier among U.S. children? *J Adolesc Heal.* 2005;37:345–55.
173. Herman-Giddens ME, Steffes J, Harris D, Slora E, Hussey M, Dowshen SA, et al. Secondary sexual characteristics in boys: Data from the pediatric research in office settings network. *Pediatrics.* 2012;130(5):e1058–68.
174. Chudecka M, Lubkowska A. Thermal maps of young women and men. *Infrared Phys Technol.* 2015;69:81–7.
175. Shibasaki M, Inoue Y, Kondo N, Iwata A. Thermoregulatory responses of prepubertal boys and young men during moderate exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75(3):212–8.
176. Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in Spanish school children according to sex and age. *Ergonomics.* 2014;57(5):787–97.
177. MF B, C D, SG R. Policy statement - Climatic heat stress and exercising children and adolescents. *Pediatrics.* 2011;128(3):e741–7.
178. Notley SR, Akerman AP, Meade RD, McGarr GW, Kenny GP. Exercise Thermoregulation in Prepubertal Children: A Brief Methodological Review. *Med Sci Sports Exerc.* 2020;52(11):2412–22.

179. Pronina TS, Orlova NI, Rybakov VP. The circadian rhythm of the skin temperature in children during puberty. *Hum Physiol.* 2015;41(2):175–84.
180. Gomes LHLS, Carneiro-Júnior MA, Marins JCB. Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *Rev Paul Pediatr.* 2013;31(1):104–10.
181. Irzmańska E. The microclimate in protective fire fighter footwear: Foot temperature and air temperature and relative humidity. *Autex Res J.* 2016;16(2):75–9.
182. Irzmańska E. Case study of the impact of toecap type on the microclimate in protective footwear. *Int J Ind Ergon.* 2014;44(5):706–14.

ANEXOS

12. ANEXOS

12.1. Anexo I



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
TRANSFERENCIA E INNOVACIÓN**

Campus Universitario
Avda de Elvas s/mº
06071 BADAJOZ

Tel.: 924 28 93 05
Fax: 924 27 29 83

NºRegistro: 28/2018

**D. FERNANDO HENAO DÁVILA, PRESIDENTE POR DELEGACIÓN DE LA
COMISIÓN DE BIOÉTICA Y BIOSEGURIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE
EXTREMADURA.**

INFORMA: Que una vez analizada, por esta Comisión la solicitud de Proyecto de Tesis Doctoral titulado "Estudio Termográfico del pie y calzado escolar" cuyo Investigador/a Principal es D/Dª Marina Fontán Jimenez, ha decidido por unanimidad valorar positivamente el precitado proyecto por considerar que se ajusta a las normas éticas esenciales cumpliendo con la normativa vigente al efecto.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente informe en Badajoz a 6 de marzo de 2018.



12.2. Anexo II

Carta de presentación

Soy Marina Fontán Jiménez, profesora de la Universidad de Extremadura en el Grado en Podología. Estoy en el proceso de realizar mi tesis doctoral con la que pretendo confirmar (o no) si realmente el pie de los escolares presenta diferencia de la temperatura cuando calza deportivas o calzado escolar. *¿Es verdad que los pies de los niños se "recalientan" y están más húmedos cuando llevan deportivas?* Por ello me dirijo a ustedes para solicitar la participación de su hijo/a en el estudio.

Se medirá la temperatura de los pies, para ello se tomará una imagen de los pies con una cámara infrarroja, esta es una técnica que dura menos de un minuto y es totalmente inocua. El estudio se realizará durante los meses de marzo y abril.



Para estar incluido en el estudio sólo será necesario que los/as niños/as no tengan patologías vasculares o cualquier otra que pueda alterar la temperatura de los pies.

Es obligatorio que el padre, madre o tutor legal del niño/a firme el consentimiento informado para poder incluir los datos en el estudio.

Los datos conseguidos con el estudio serán tratados según la ley de Protección de datos y la información será tratada de manera anónima.

Recomendaciones antes de realizar la medición

Consejos a seguir por el sujeto antes del estudio

- Debe evitar las aplicaciones de productos tópicos como cremas y pomadas, polvos talco o antitranspirantes en los pies
- Eliminar consumo de comidas pesadas, té o café para no falsear datos
- No aplicar tratamientos podológicos o fisioterápicos (como ultrasonidos)
- Evitar el uso de calcetines y calzado que oprima en exceso
- Debe evitar el ejercicio físico intenso
- No tomar medicamentos el día de la exploración
- Evitar llevar leotardos y en su lugar llevar calcetines (más fáciles de retirar)

12.3. Anexo III

MODELO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Proyecto: Estudio termográfico del pie y calzado escolar

Niño/a (nombre y apellidos):

Niño/a ID#:

Centro:

Centro ID#:

Investigador: Marina Fontán Jiménez

LEA DETENIDAMENTE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO Y ASEGÚRESE QUE ENTIENDE ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN POR FAVOR SI ESTA DE ACUERDO EN PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO FIRME ESTE DOCUMENTO POR SU FIRMA RECONOCE QUE HA SIDO INFORMADO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO DE SUS REQUISITOS Y SUS RIESGOS Y QUE ACEPTA LIBREMENTE PARTICIPAR EN ÉL UNA COPIA DEL PRESENTE DOCUMENTO LE SERÁ ENTREGADA

OBJETO DEL ESTUDIO.

Ha sido invitado/a a participar en un estudio de investigación dirigido a escolares del Colegio

PROCEDIMIENTOS Y DURACIÓN DEL ESTUDIO.

El único procedimiento al que será sometido/a será la medición termográfica de los pies que consiste en la toma de una "otografía a infrarrojo" de los pies en la que se valora cómo varía la temperatura en diferentes zonas de los pies llevando calzado deportivo y calzado escolar. La duración de la prueba es aproximadamente de 1 minuto. La muestra que cede será utilizada exclusivamente con finalidad de investigación sin ánimo de lucro.

RESULTADOS DEL ESTUDIO.

Al finalizar el estudio se le informará del resultado global del mismo si usted lo desea tratando los datos obtenidos con total confidencialidad de acuerdo con la Declaración de Helsinki y la Ley 14/2007 de investigación biomédica.

RIESGOS DERIVADOS DE LA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO.

Los riesgos asociados a la toma de datos son nulos. Las muestras se obtendrán por personal cualificado.

BENEFICIOS.

La participación en el proyecto no será recompensada económicamente. Aparte de lo comentado anteriormente se estima que el desarrollo del estudio en el que participará comportará beneficios a medio plazo ya que nos permitirá conocer y promover el estado de salud podológica que deriva del uso de diferentes calzados en edad escolar.

COSTES.

Su participación en el proyecto no le supondrá ningún coste.

La investigadora principal Marina Fontán Jiménez profesora de la Universidad de Extremadura puede ser contactada en cualquier momento en el siguiente teléfono 924 315 878 a fin de recabar información acerca del proyecto y en la siguiente dirección:

Departamento de Enfermería
Centro Universitario de Plasencia
Avd. Virgen del Puerto s/n
10600 Plasencia

CONFIDENCIALIDAD DE SU MUESTRA.

De acuerdo con la normativa legal vigente los resultados de las muestras se tratarán con total confidencialidad. El protocolo de recogida de datos será archivado y a cada participante se le asignará una clave de tal modo que no pueda relacionarse la muestra e información obtenida con la identidad del sujeto. Las muestras serán anonimizadas asegurando la imposibilidad de identificar su identidad para su estudio y potencial análisis ulterior.

El investigador principal del proyecto se compromete a que la confidencialidad de los datos que se puedan obtener en dicho proyecto será escrupulosamente observada y que los datos personales de los sujetos participantes no serán conocidos por los investigadores del proyecto. En los casos que corresponda éstos informarán a los afectados si creen que algún resultado del proyecto podrá ser de su interés.

El investigador principal del proyecto se compromete a no utilizar las muestras para otros estudios diferentes a los de este proyecto y a no traspasar las muestras a otros posibles proyectos o equipos de investigación.

Para todo lo no previsto en este documento se aplicará la legislación vigente sobre protección de datos de carácter personal (Ley 41/2002 de 14 de noviembre básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica; BOE 274 de 15 de noviembre de 2002; Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal; BOE 298 de 14 de diciembre de 1999; Real Decreto 1720/2007 de 21 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal; BOE 17 de 19 de enero de 2008) sobre investigación biomédica (Ley 14/2007 de 3 de julio de investigación biomédica; BOE 159 de 4 de julio de 2007) y cualquier otra que resultara aplicable.

Los resultados del estudio pueden ser publicados en revistas científicas o publicaciones de carácter general. No obstante, la información concerniente a su participación será mantenida como confidencial.

Recibirá una copia de esta hoja de información y del consentimiento informado firmado por usted.

DECLARACIÓN DEL SUJETO A ESTUDIO.

He sido informado por el personal relacionado con el proyecto mencionado:

- De las ventajas e inconvenientes de este procedimiento
- Del fin para el que se utilizarán mis datos
- He sido informado de que los datos obtenidos serán utilizados exclusivamente con finalidad de investigación sin ánimo de lucro
- Que mis datos serán proporcionados de forma anónima a los investigadores del proyecto
- Que en cualquier momento puedo solicitar información genérica sobre los estudios para los que se han utilizado mis datos
- Que he comprendido la información recibida y he podido formular todas las preguntas que he creído oportunas

Usted tiene derecho de participar o no en la investigación y de retirar su consentimiento en cualquier momento.

SE ME HA PROPORCIONADO COPIA DEL PRESENTE DOCUMENTO ACEPTO PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO

Nombre del tutor/a Firma

12.4. Anexo IV

Hoja de Recogida de Datos

Nombre y apellidos: _____

Número identificación Colegio
Clase

Fecha de nacimiento: / /

Altura cm Peso Kg

Alteración de la piel: eritema, rozadura, verruga, psoriasis...

Alteración vascular:

Ortesis plantares

	Muestra 1	Muestra 2	
Fecha			Fecha
Temperatura axilar			Temperatura axilar
Número de calzado			Número de calzado
Tipo calzado escolar: Piel, goma			Tipo calzado deportivo: lona, piel, plástico
Tipo de calcetines: Licra, algodón, deportivo, leotardo, panty			Tipo de calcetines: Licra, algodón, deportivo, leotardo, panty
Nº imagen dorsal			Nº imagen dorsal
Nº imagen plantar			Nº imagen plantar
Nº imagen calzado			Nº imagen calzado

Observaciones: