



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE MEDICINA

Hospital General de Zona c/ Medicina Familiar N° 2  
"Francisco Padrón Puyou" San Luis Potosí

Trabajo de investigación para obtener el diploma en la especialidad de  
Traumatología y Ortopedia

**IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE  
TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA**

**Oscar Berrueco Rodríguez**

**No. De registro:**  
R-2026-2402-003

**DIRECTOR CLÍNICO**

Dr. Ricardo Vigna Pérez

Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología

Dr. Gerardo Clemente García Ruiz

Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología

**DIRECTOR METODOLÓGICO**

Dr. Floriberto Gomez Garduño

Coordinador de Educación e Investigación en Salud Hospital General de Zona MF 2

San Luis Potosi, S.L.P. 2022-2026



Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla © 2026 por Oscar Berrueco Rodríguez se distribuye bajo Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
 FACULTAD DE MEDICINA  
 Hospital General de Zona c/ Medicina Familiar N° 2 “Francisco Padrón Puyou” San Luis Potosí”

Trabajo de investigación para obtener el diploma en la especialidad de Traumatología y Ortopedia:

**IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA**

**Oscar Berrueco Rodríguez**

DIRECTOR CLÍNICO  
 Dr. Ricardo Vigna Pérez

Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología

Dr. Gerardo Clemente García Ruiz  
 Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología

DIRECTOR METODOLÓGICO  
 Dr. Floriberto Gomez Garduño

No. de CVU del CONACYT 567210; Identificador de ORCID 0000-0002-6903-671X

**SINODALES**

David Velazquez Blanco  
 Presidente

\_\_\_\_\_

Jorge Luis Davila Gonzalez  
 Sinodal

\_\_\_\_\_

Gerardo Torres Hernandez  
 Sinodal

\_\_\_\_\_

Selina Medina Castillo  
 Sinodal suplente

\_\_\_\_\_

San Luis Potosi, S.L.P. 2022-2026





**Instituto Mexicano Del Seguro Social  
Órgano de Operación Administrativa en San Luis Potosí  
Coordinación de Planeación y Enlace Instituciones**

**TESIS**

**“IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA  
MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA”**

**Investigador responsable:**

**DR. GERARDO CLEMENTE GARCÍA RUIZ  
MÉDICO ORTOPEDISTA**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”**

**Investigador Asociado:**

**DR. RICARDO VIGNA PEREZ  
MÉDICO ORTOPEDISTA**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”**

**Investigador Asociado:**

**DR. OSCAR BERRUECO RODRIGUEZ**

**Médico Residente de la especialidad en Ortopedia y Traumatología**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou” San Luis Potosí**

**Asesor Metodológico:**

**DR. FLORIBERTO GOMEZ GARDUÑO**

**COORDINADOR DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN SALUD**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”**

## I RESUMEN

### **“IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA”**

Gerardo Clemente Garcia Ruiz 1, Floriberto Gomez Garduño 1, Ricardo Vigna Perez 1, Oscar Berrueco Rodríguez 1.

1. Hospital General de Zona MF 2 “Francisco Padrón Puyou”

Antecedentes: La artroplastia total de rodilla (ATR) representa una de las intervenciones quirúrgicas más efectivas en el tratamiento de la osteoartrosis avanzada, mejorando significativamente la funcionalidad articular y disminuyendo el dolor en los pacientes, sin embargo, el periodo postquirúrgico suele asociarse a procesos inflamatorios locales caracterizados por edema, derrame articular y limitación funcional, cuya evolución puede afectar la calidad de la recuperación. En los últimos años, la incorporación de herramientas diagnósticas objetivas ha cobrado relevancia en el seguimiento postoperatorio. En particular, la termografía infrarroja (TIR) ha demostrado ser un método seguro, no invasivo y sensible para detectar variaciones térmicas asociadas a procesos inflamatorios, permitiendo evaluar asimetrías térmicas, cuantificar la inflamación y aportar información adicional para la toma de decisiones clínicas. Estudios recientes han documentado patrones térmicos característicos durante el seguimiento postoperatorio de la ATR, respaldando el potencial de la termografía como herramienta complementaria dentro de los protocolos de recuperación acelerada. **Objetivo:** Identificar de forma no invasiva la inflamación postoperatoria, mediante termografía infrarroja, en pacientes con artroplastia total de rodilla. **Material y Métodos:** Se realizará un estudio prospectivo observacional con muestra representativa en pacientes postoperados de artroplastia total de rodilla, derechohabientes del IMSS en San Luis Potosí. Se evaluará la evolución térmica mediante termografía infrarroja durante un periodo de 3 meses, con una medición inicial previo a su alta hospitalaria y posteriormente cada 15 días. La toma de fotografías térmicas se llevará a cabo en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou” San Luis Potosí. **Factibilidad:** Para realizar el presente protocolo se cuenta con un cartera de pacientes a los cuales se les realiza el procedimiento quirúrgico de interés (ATR), además se cuenta con la cámara de imágenes térmicas y el investigador tiene la habilidad para la toma de las mismas. El equipo de investigación del protocolo cuenta con experiencia en el diseño y publicación de artículos. El investigador principal absorbe los costos del estudio.

**PALABRAS CLAVE:** Artroplastia total de rodilla, Termografía infrarroja, Inflamación postoperatoria, Asimetría térmica.

## II ÍNDICE

|  | Página |
|--|--------|
| I. <a href="#">Resumen</a> .....   | 5      |
| II. <a href="#">Índice</a> .....   | 6      |
| III. <a href="#">Lista de cuadros</a> .....  | 7      |
| IV. <a href="#">Lista de figuras</a> .....   | 7      |
| V. <a href="#">Lista de abreviaturas</a> .....                                     | 8      |
| VI. <a href="#">Lista de definiciones</a> .....                                    | 9      |
| VII. <a href="#">Dedicatorias</a> .....  | 11     |
| VIII. <a href="#">Reconocimientos</a> .....  | 11     |
| IX. <a href="#">Antecedentes</a> .....   | 12     |
| X. <a href="#">Justificación y planteamiento del problema</a> .....                | 25     |
| XI. <a href="#">Hipótesis</a> .....  | 26     |
| XII. <a href="#">Objetivos</a> .....   | 26     |
| XIII. <a href="#">Sujetos y métodos</a> .....                                      | 27     |
| XIV. <a href="#">Análisis estadístico</a> .....                                    | 33     |
| XV. <a href="#">Ética</a> .....  | 33     |
| XVI. <a href="#">Resultados</a> .....  | 34     |
| XVII. <a href="#">Discusión</a> .....  | 49     |
| XVIII. <a href="#">Limitaciones y/o nuevas perspectivas de investigación</a> ..... | 51     |
| XIX. <a href="#">Conclusiones</a> .....  | 51     |
| XX. <a href="#">Bibliografía</a> .....   | 53     |
| XXI. <a href="#">Anexo 1 ( Carta de Consentimiento Informado )</a> .....           | 56     |
| XXII. <a href="#">Anexo 2 ( Carta de Confidencialidad )</a> .....                  | 58     |
| XXIII. <a href="#">Anexo 3 ( Carta de No Inconveniencia )</a> .....                | 59     |
| XXIV. <a href="#">Anexo 4 ( Dictamen de Ética )</a> .....                          | 60     |
| XXV. <a href="#">Anexo 5 ( Dictamen de Investigación )</a> .....                   | 61     |

### **III LISTA DE CUADROS**

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Cuadro 1. Descripción de Variables</a> .....        | 31 |
| <a href="#">Cuadro 2. Resumen de Hallazgos Clave</a> .....      | 48 |
| <a href="#">Cuadro 3. Cronograma de Actividades</a> .....       | 62 |
| <a href="#">Cuadro 4. Formato de recolección de datos</a> ..... | 63 |
| <a href="#">Cuadro 5. Registro de Temperaturas</a> .....        | 63 |

### **IV LISTA DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Figura 1 (Esquema geométrico del concepto de emisividad)</a> .....  | 19 |
| <a href="#">Figura 2 (Esquema geométrico del concepto de reflexión)</a> .....   | 19 |
| <a href="#">Figura 3 (Esquema geométrico del concepto de transmisión)</a> .....   | 20 |
| <a href="#">Figura 4 (Esquema geométrico del concepto de transmisión, emisión y reflexión sobre un mismo cuerpo)</a> .....                                    | 21 |
| <a href="#">Figura 5 (Gráfica que muestra la distribución por sexo de los participantes del estudio)</a> ...  | 36 |
| <a href="#">Figura 6 (Gráfica que muestra la distribución por grupos etarios de los participantes del estudio)</a> .....                                      | 37 |
| <a href="#">Figura 7 (Gráfica con el promedio de evolución de temperatura superficial de la rodilla intervenida)</a> .....                                    | 38 |
| <a href="#">Figura 8 (Gráfica con el promedio de evolución de temperatura según la presencia de comorbilidades)</a> .....                                     | 39 |
| <a href="#">Figura 9 (Gráfica que muestra el patrón de temperatura en pacientes que recibieron manejo antibiótico adicional durante el seguimiento)</a> ..... | 40 |
| <a href="#">Figura 10 (Gráfica comparativa del patrón de temperatura en pacientes con y sin comórbidos)</a> .....   | 41 |
| <a href="#">Figura 11 (Gráfica que muestra la evolución térmica en pacientes con Diabetes mellitus tipo 2 e Hipertensión Arterial Sistémica)</a> .....        | 42 |
| <a href="#">Figura 12 (Gráfica que muestra el delta de temperatura comparado con la evolución térmica)</a> .....  | 43 |
| <a href="#">Figura 13 (Diagrama de cajas (Boxplot) con las temperaturas superficiales de las rodillas intervenidas en los pacientes participantes)</a> .....  | 44 |
| <a href="#">Figura 14 (Gráfica comparativa de la evolución térmica entre la rodilla intervenida y la rodilla contralateral)</a> .....                         | 45 |
| <a href="#">Figura 15 (Distribución Normal de la Temperatura Inmediata)</a> .....   | 46 |
| <a href="#">Figura 16 (Distribución Normal de la Diferencia de temperaturas)</a> .....  | 47 |
| <a href="#">Figura 17 (Gráfica Q-Q de los residuos)</a> .....   | 48 |

## V LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS

| <b>Abreviatura</b> | <b>Significado</b>  |
|--------------------|---|
| <b>ATR</b>         | Artroplastia Total de Rodilla   |
| <b>OA</b>          | Osteoartrosis / Osteoartritis   |
| <b>IMC</b>         | Índice de Masa Corporal   |
| <b>IMSS</b>        | Instituto Mexicano del Seguro Social  |
| <b>ERAS</b>        | Enhanced Recovery After Surgery (Recuperación Acelerada después de Cirugía) |
| <b>TIR</b>         | Termografía Infrarroja  |
| <b>ROM</b>         | Rango de Movimiento (Range of Motion)                                       |
| <b>OKS</b>         | Oxford Knee Score   |
| <b>KSFS</b>        | Knee Society Function Score   |
| <b>KSKS</b>        | Knee Society Knee Score   |
| <b>MCS</b>         | Mental Component Summary (Componente Mental del SF-36)                      |
| <b>PCS</b>         | Physical Component Summary (Componente Físico del SF-36)                    |
| <b>SF-36</b>       | 36-Item Short Form Health Survey  |
| <b>RI</b>          | Rodilla Izquierda   |
| <b>RD</b>          | Rodilla Derecha   |
| <b>H</b>           | Hombre  |

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| M   | Mujer                           |
| DM2 | Diabetes Mellitus tipo 2        |
| HAS | Hipertensión Arterial Sistémica |
| IVU | Infección de vías urinarias     |
| AR  | Artritis Reumatoide             |
| FBM | Fibromialgia                    |

## **VI LISTA DE DEFINICIONES**

**Artroplastia total de rodilla (ATR):** Procedimiento quirúrgico mediante el cual se sustituyen las superficies articulares dañadas de la rodilla por componentes protésicos, con el objetivo de aliviar el dolor, mejorar la función y restaurar la alineación articular.

**Inflamación postoperatoria:** Respuesta fisiológica del organismo posterior a un procedimiento quirúrgico, caracterizada por cambios vasculares y metabólicos que pueden manifestarse como aumento de temperatura, edema y dolor en el sitio intervenido.

**Termografía infrarroja:** Técnica de imagen no invasiva que permite registrar la radiación infrarroja emitida por la superficie corporal, generando mapas térmicos que reflejan la distribución de temperatura de la piel.

**Temperatura superficial:** Medida térmica registrada en la superficie cutánea, la cual puede reflejar cambios en la perfusión sanguínea y en la actividad inflamatoria subyacente.

**Evolución térmica:** Variación de la temperatura superficial a lo largo del tiempo, utilizada para evaluar la progresión o resolución de procesos inflamatorios durante el seguimiento clínico.

**Rodilla intervenida:** Extremidad sometida a procedimiento quirúrgico de artroplastia total de rodilla, utilizada como objeto principal de análisis en el seguimiento postoperatorio.

**Rodilla contralateral:** Extremidad opuesta a la intervenida quirúrgicamente, utilizada como referencia o control interno para la comparación térmica.

**Comorbilidad:** Presencia de una o más enfermedades crónicas coexistentes en un paciente, que pueden influir en la respuesta inflamatoria y en la evolución postoperatoria.

**Diabetes mellitus tipo 2 (DM2):** Enfermedad metabólica crónica caracterizada por resistencia a la insulina y alteraciones en el metabolismo de la glucosa, asociada a cambios microvasculares e inflamatorios.

**Hipertensión arterial sistémica (HAS):** Enfermedad crónica caracterizada por elevación persistente de la presión arterial, que puede afectar la perfusión tisular y la respuesta vascular.

**Manejo antibiótico:** Administración de tratamiento antimicrobiano durante el seguimiento postoperatorio, indicado ante la sospecha o presencia de infección o como medida terapéutica específica.

**Seguimiento postoperatorio:** Periodo de observación clínica posterior a un procedimiento quirúrgico, durante el cual se evalúa la evolución del paciente mediante parámetros clínicos y complementarios.

**Medidas repetidas:** Diseño de análisis en el que se registran múltiples mediciones de una misma variable en un mismo sujeto a lo largo del tiempo, permitiendo evaluar cambios longitudinales.

**Residuos:** Diferencia entre el valor observado de una variable y el valor estimado por un modelo estadístico, utilizada para evaluar supuestos como la normalidad en análisis de medidas repetidas.

**$\Delta$  Temperatura ( $\Delta T$ ):** Cambio de la temperatura superficial respecto a un valor basal, calculado como la diferencia entre la medición inicial y las mediciones subsecuentes durante el seguimiento.

**Desviación estándar:** Medida estadística que expresa la dispersión de los valores respecto a la media, utilizada para describir la variabilidad de los datos.

**Análisis descriptivo:** Conjunto de métodos estadísticos utilizados para resumir y describir las características principales de un conjunto de datos, sin establecer relaciones causales.

## **VII DEDICATORIAS**

A mi padre, que sin su apoyo no habría podido llegar a donde estoy y lograr lo que he logrado

...

A mi hermana que siempre confía en mí y me da ánimo para seguir adelante ...

A mi madre que siempre me ha inculcado el valor del estudio y perseverancia ...

Al Dr. Vigna, que me sugirió el tema de ésta tesis; gracias a su consejo y recomendación encontré un tema que me motivó a iniciar este protocolo ...

A todos los profesores de mi residencia, de quienes he aprendido más de una forma diferente de ejercer esta especialidad y carrera ...

## **VIII RECONOCIMIENTOS**

A cada uno de los participantes de este estudio, incluyendo a los pacientes que fueron el propósito principal de la dedicación y esfuerzo al elaborar y realizar el siguiente protocolo.

## **IX ANTECEDENTES**

### **IX.1 Gonartrosis**

La osteoartrosis de rodilla (la más prevalente) es la enfermedad articular crónica, más frecuente en adultos mayores de 65 años, pudiendo generar discapacidad o limitar la movilidad debido al dolor y rigidez causados por la inflamación y alteración del metabolismo del cartílago, hueso subcondral (desequilibrio entre síntesis y degradación) y tejidos blandos. Se clasifica en primaria, cuando existe una pérdida progresiva de cartílago sin causa aparente, y secundaria, asociada a factores de riesgo como traumatismos previos o alteraciones del cartílago articular. (1)

Su frecuencia en la población se incrementa con factores como el envejecimiento, el sexo femenino, antecedentes de traumatismos, obesidad y predisposición genética. El diagnóstico es establecido por el ortopedista considerando el estado de la articulación, los estudios de imagen y las limitaciones en la movilidad. (2)

El tratamiento depende de la severidad de la enfermedad: en grados 1 a 3, el manejo conservador es el indicado, incluyendo pérdida de peso, fisioterapia, ejercicio y medicamentos intraarticulares para aliviar dolor e inflamación. En casos avanzados (grado 4), la artroplastia total de rodilla (ATR) es el tratamiento de elección. Este procedimiento reemplaza las superficies articulares dañadas por prótesis metálicas (1) en sus tres compartimentos; aunado a la colocación de una superficie de polietileno de ultra densidad (3). Ya sea preservando el ligamento cruzado posterior (CR) o utilizando prótesis posteroestabilizadas (PS), logrando una mejoría significativa en el 80% de los casos. (1)

La rehabilitación se inicia inmediatamente tras la cirugía para fortalecer el cuádriceps y los isquiotibiales, mejorar el rango de movimiento y alcanzar una flexión de 110 grados, lo que permite recuperar una buena capacidad funcional. (1)

### **IX. 2 Artroplastia Total de Rodilla**

La artroplastia total de rodilla es un procedimiento ortopédico electivo común, considerado el tratamiento más eficaz para aliviar el dolor y mejorar la función articular. Sin embargo, tras la cirugía, los pacientes suelen presentar inflamación significativa en la rodilla, producto del derrame y el edema. Por ello, múltiples investigaciones han intentado desarrollar métodos precisos y confiables que permitan cuantificar esta inflamación postoperatoria, facilitando así el monitoreo del progreso clínico y la eficacia del tratamiento. (4)

Por otro lado; la obesidad, definida como un índice de masa corporal (IMC)  $\geq 30,0$  kg/m<sup>2</sup>, constituye un problema de salud global cuya prevalencia se ha triplicado desde 1975. En 2016, se estimaba que más de 1.900 millones de adultos presentaban sobrepeso y más de 650 millones eran obesos. Diversos estudios a gran escala han demostrado una relación directa entre la obesidad y el desarrollo de osteoartrosis (OA) de rodilla, observándose que el riesgo de padecer OA se triplica en personas con sobrepeso u obesidad. Este aumento de

riesgo se debe, por un lado, a la mayor carga mecánica que soporta el cartílago articular, lo que favorece el daño tisular, y por otro, a la liberación de adipocinas por el tejido adiposo, que promueven la inflamación y la degradación del cartílago. (5)

Se ha demostrado que la obesidad aumenta la complejidad al realizar una ATR, por lo que incrementa las tasas de complicaciones y disminuye los resultados funcionales; asimismo, se ha llegado a considerar como una contraindicación relativa para la intervención. (6)

Existen múltiples herramientas para evaluar la calidad de vida de los pacientes con artrosis de rodilla antes y después de una ATR. Entre las que encontramos: La escala Oxford Knee Score (OKS) (Consta de 12 preguntas que evalúan actividades instrumentales de la vida diaria y cómo estas se han visto afectadas por el dolor en las últimas cuatro semanas). (6) y el **Knee Society Score (KSS)** es uno de los sistemas más usados para evaluar resultados tras una artroplastia total de rodilla (ATR). Actualizado en 2011 para integrar evaluaciones **objetivas del cirujano** y **subjetivas del paciente**, reflejando mejor aspectos como dolor, función, expectativas y satisfacción (3).

Con el propósito de optimizar los resultados postquirúrgicos en aspectos como el dolor, la función, la movilidad, las complicaciones y la duración de la hospitalización, se desarrollaron en Europa, a comienzos de este siglo, los protocolos Enhanced Recovery After Surgery (ERAS), liderados por el Dr. Henrik Kehlet. Este enfoque multidisciplinario busca acelerar la recuperación mediante un control adecuado del dolor, inicio temprano de la rehabilitación, disminución de complicaciones e infecciones, reducción del tiempo de hospitalización y menor incidencia de reingresos y nuevas intervenciones quirúrgicas. (7)

### IX.3 Inflamación

El movimiento de células inmunitarias y su agrupación en un sitio determinado por vías de señalización citoquímica es el principio fisiológico de que la inflamación postquirúrgica produce un aumento del metabolismo y del flujo sanguíneo local, lo cual se manifiesta en un incremento de la temperatura superficial cutánea. Aunque la artroplastia total de rodilla es considerada un tratamiento altamente eficaz para la osteoartritis, es común que los pacientes presenten inflamación articular significativa tras la cirugía, con una prevalencia aproximada del 15,6%. Esta inflamación se debe tanto al derrame articular como al edema. Diversos métodos han sido propuestos para su evaluación: desde técnicas básicas como radiografías simples, ultrasonido o resonancia magnética —que, aunque precisa, demanda mayor tiempo y recursos— hasta tecnologías más recientes como la espectroscopia de bioimpedancia y el escaneo 3D portátil, que permiten una medición rápida, objetiva y precisa del volumen inflamatorio, superando las limitaciones de las mediciones clínicas tradicionales.

Desde el punto de vista anatómico, la inflamación puede localizarse dentro o fuera de la cápsula articular. El derrame intraarticular evoluciona desde una hemartrosis inicial hacia un líquido seroso conforme avanza el proceso de recuperación. Por su parte, la inflamación extraarticular afecta principalmente a los tejidos blandos adyacentes, como la bursa, músculos, tejido adiposo subcutáneo y piel. Estas alteraciones inflamatorias posteriores a la cirugía provocan dolor, edema, limitación del rango de movimiento, inhibición del cuádriceps, disfunción y una percepción negativa por parte del paciente sobre su recuperación. Por ello,

múltiples investigaciones han buscado herramientas confiables y precisas para cuantificar la inflamación postoperatoria y facilitar así el seguimiento clínico y terapéutico. (4)

### **IX.3.1 Inflamación y ATR**

Tras una artroplastia total de rodilla (ATR), se recomienda a los pacientes iniciar la rehabilitación lo antes posible con el fin de recuperar la funcionalidad articular y la fuerza muscular. No obstante, alrededor del 20% de los pacientes experimentan dolor persistente o recurrente, además de complicaciones como edema, inflamación y sangrado, lo que dificulta su proceso de rehabilitación. En este contexto, la crioterapia surge como una alternativa terapéutica no farmacológica que, mediante el descenso de la temperatura tisular, la vasoconstricción y la disminución del flujo sanguíneo, permite aliviar el dolor, reducir la inflamación y favorecer una recuperación más rápida. (8)

Tras una artroplastia total de rodilla (ATR), la hinchazón puede afectar la recuperación funcional al disminuir la fuerza del cuádriceps, limitar la flexión articular y dificultar los ejercicios de rehabilitación, repercutiendo incluso en la marcha a largo plazo. Además, puede provocar complicaciones cutáneas como ampollas e infecciones articulares. Diversos factores contribuyen a la inflamación postoperatoria, incluyendo alteraciones venosas, hematomas, derrame sinovial, lesiones musculares y ligamentarias, y procesos de consolidación tisular. Aunque la respuesta inflamatoria es crucial para la reparación, su exceso puede generar complicaciones como la rigidez articular, comprometiendo los resultados quirúrgicos. (9)

Varios factores contribuyen a la inflamación postquirúrgica, incluida la pérdida sanguínea oculta (HBL) tras una artroplastia total de rodilla (ATR) primaria. Entre otros, destacan el índice de masa corporal (IMC), la realización de una ATR bilateral simultánea, el tiempo de uso del torniquete y el uso de prótesis con apertura intercondílea. En cambio, variables como el sexo, la edad, el diagnóstico de base, el método de anticoagulación postoperatoria y la presencia de trombosis venosa profunda (TVP) no muestran un impacto significativo sobre la HBL. (10). Actualmente, no se dispone de indicadores que permitan supervisar y determinar las causas de la inflamación en las extremidades inferiores, lo que limita la posibilidad de aplicar tratamientos dirigidos. (11)

En los últimos años, diversos procesos inflamatorios se han asociado a variaciones en la temperatura cutánea (Atp) evaluada mediante termografía. Según Arfaoui et al., estos cambios de temperatura se presentan en casos de osteoartritis, por lo que la termografía se plantea como un método diagnóstico fiable. (2)

### **IX.4 Termorregulación y factores asociados**

La termorregulación en el ser humano es un proceso complejo, regulado principalmente por el flujo sanguíneo en la piel, aunque aún no se comprende en su totalidad. Entre los métodos más eficaces para reducir la temperatura corporal destacan la inmersión completa en agua fría en circulación, el enfriamiento cutáneo mediante aplicación de agua fría y el uso de ventiladores. Las ecuaciones de balance térmico indican que los mecanismos de evaporación y convección son los más efectivos. Para optimizar el enfriamiento, se recomienda humedecer la mayor superficie corporal posible (con agua o etanol) y emplear ventilación de alta

velocidad a lo largo del cuerpo, favoreciendo así la pérdida de calor, especialmente cuando existe buena perfusión sanguínea en la piel. (12)

El organismo busca constantemente mantener la homeostasis o equilibrio interno (Uematsu et al., 1985; Cagnacci et al., 1997; Vardasca et al., 2012). Por tanto, la presencia de asimetrías en parámetros corporales —como la fuerza muscular, la velocidad de contracción o la temperatura cutánea— puede ser un indicio relevante que requiere seguimiento y evaluación. (13)

Los factores que influyen en la temperatura corporal humana se agrupan en tres categorías:

- **Ambientales**, relacionados con el entorno en el que se lleva a cabo la evaluación.
- **Individuales**, vinculados a las características personales del sujeto que pueden afectar la temperatura cutánea ( $T_p$ ), sub dividiéndose en factores intrínsecos y extrínsecos.
- **Técnicos**, asociados al equipo empleado durante la medición por termografía infrarroja (TIR). (14)

Los cambios en la circulación sanguínea y el metabolismo tisular se reflejan directamente en la temperatura cutánea (Jewson et al., 2015). En las tendinopatías, se pueden observar distintas respuestas térmicas mediante termografía infrarroja:

- **Respuesta hipertérmica:** Es la más frecuente y sugiere inflamación activa, caracterizada por un aumento del flujo sanguíneo y del metabolismo local, que favorecen la llegada de nutrientes y células inmunitarias para la reparación tisular.
- **Respuesta neutra:** Indica ausencia de variaciones térmicas relevantes en comparación con el tejido circundante, lo que puede reflejar un estado no inflamatorio o una inflamación leve.
- **Respuesta hipotérmica:** Aunque poco común, puede aparecer en fases crónicas avanzadas o en presencia de un déficit vascular, evidenciando degeneración tisular y baja actividad metabólica. La ausencia de respuesta térmica hipertérmica en estos casos puede indicar una inflamación insuficiente o mala vascularización del tendón. (15)

#### IX.4.1 Temperatura Corporal en la Fisiopatología ósea

Sin embargo, en el caso de las lesiones óseas (mismas a las que también se somete la rodilla, de manera controlada durante el reemplazo de rodilla), se ha documentado un comportamiento térmico hipertérmico (Curkovic et al., 2015; Haluzan et al., 2015), probablemente asociado al aumento del metabolismo necesario para la reparación del tejido óseo. Este incremento térmico varía según la gravedad y las estructuras comprometidas, pero suele mantenerse elevado. A medida que el proceso de recuperación avanza, el patrón térmico tiende a estabilizarse, y en fases avanzadas de cicatrización la asimetría térmica se

aproxima a valores de normalidad, dado que el tejido óseo es profundo, poco vascularizado y cubierto por múltiples capas. (16)

Según lo descrito por Sillero et al. (2015), las lesiones en los tejidos implicados en la artrocinemática tienden a generar un aumento de temperatura (respuesta hipertérmica), a diferencia del tejido neuromuscular, donde suele observarse un descenso térmico. (17)

En las fracturas simples, se observa un aumento inicial de temperatura en el tejido lesionado (respuesta hipertérmica), que alcanza su pico alrededor del primer mes tras la lesión. Posteriormente, la asimetría térmica disminuye progresivamente, aunque puede prolongarse durante varios meses de forma casi crónica. Al comparar con las fracturas complejas —como las generadas de forma controlada durante la artroplastia—, estas presentan un mayor grado de asimetría térmica, un incremento sostenido durante más tiempo, un inicio de descenso más tardío y una persistencia prolongada de la alteración térmica. (18)

### **IX.5 Termografía Infrarroja**

La termografía infrarroja representa una herramienta útil en este contexto, gracias a su capacidad para detectar variaciones térmicas vinculadas a la inflamación y al incremento del flujo sanguíneo en los tejidos afectados. Esta técnica de imagen registra la radiación infrarroja emitida por la superficie corporal, generando un mapa térmico de los tejidos subyacentes. Su principal ventaja radica en ser un método no invasivo, libre de radiación ionizante, lo que permite su uso repetido con seguridad. Además, es capaz de identificar alteraciones sutiles en la temperatura cutánea asociadas a procesos inflamatorios, facilitando tanto la detección precoz de tendinopatías como la evaluación de la intensidad de la inflamación. (19)

- “‘Tiempo’ no siempre significa ‘curación’. ‘Agudo’ no siempre significa ‘reciente’. Si la fisiología del tejido sigue afectada, la termografía nos lo muestra claramente”.  
Alejandro del Estal (18)

La termografía permite medir la temperatura superficial de los objetos, lo que le otorga múltiples aplicaciones en distintas áreas. Aunque su uso más extendido ha sido en investigación de materiales —con un gran volumen de publicaciones científicas en campos como la construcción y la industria— su aplicación médica ha ido creciendo progresivamente desde las primeras investigaciones en humanos en 1948 (H.H. Penes, 1948). A pesar de que la investigación en animales sigue siendo más abundante por la seguridad y rapidez del procedimiento, los estudios en humanos también han mostrado un incremento sostenido.

En medicina: su uso para la investigación y aplicación en aspectos de interés para este trabajo serían: diagnóstico (55.6%), lesiones (4.3%), heridas (4%) y artritis (2.4%)

Dentro del ámbito de la fisioterapia, destaca como herramienta de evaluación y seguimiento de lesiones, al permitir valorar el estado de los tejidos mediante el análisis de la temperatura cutánea y las asimetrías térmicas. Gracias a su carácter no invasivo, rápido y objetivo, facilita la identificación de áreas afectadas y el monitoreo de la evolución durante los tratamientos de rehabilitación. (20)

A diferencia de muchas técnicas de diagnóstico por imágenes que emplean distintas zonas del espectro electromagnético, la termografía infrarroja utiliza radiación no ionizante, lo que la convierte en un método seguro para los pacientes (Hildebrandt et al., 2010). Las cámaras infrarrojas capturan imágenes térmicas basadas en el calor emitido por la superficie cutánea (Hildebrandt et al., 2012). Dado que la temperatura de la piel refleja el estado fisiológico del organismo, la termografía ofrece una herramienta útil para monitorizar dichas condiciones fisiológicas. (21)

En 1800, el astrónomo William Herschel descubrió la radiación infrarroja al observar, mediante un prisma y termómetros, que la luz solar contenía longitudes de onda mayores que las de la luz roja. (22)

La radiación infrarroja forma parte del espectro electromagnético, situándose fuera del rango de la luz visible, con longitudes de onda entre 700 y 1000 nanómetros. Todo cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto (0 K) emite este tipo de radiación, siendo, bajo condiciones ambientales controladas, el principal mecanismo por el cual el cuerpo humano libera calor.(23)

Posteriormente, Sir J. Herschel, hijo de William Herschel, logró registrar estas longitudes de onda invisibles en papel, introduciendo así el término "termografía". Más adelante, investigaciones como las de Max Planck demostraron la relación existente entre la temperatura de un cuerpo y la intensidad de la radiación infrarroja que este emite.

La termografía infrarroja (TIR) es una técnica pasiva que emplea cámaras capaces de registrar, en tiempo real, la distribución bidimensional de la temperatura de un cuerpo, basándose en la radiación infrarroja que este emite, sin requerir luz visible. Dado que todo cuerpo con temperatura superior al cero absoluto (-273 °C o 0 K) emite radiación infrarroja, esta tecnología posee múltiples aplicaciones. En tejidos biológicos, los procesos metabólicos generan variaciones térmicas debido al intercambio de materia y calor con el entorno, lo que permite su detección mediante termografía. Inicialmente, su uso médico se orientó al diagnóstico de enfermedades como inflamación, dermatitis y parálisis facial, y actualmente se emplea también para evaluar dolor y monitorizar el estado intraóseo durante procedimientos de implantología.

### **IX.5.1 Principios físicos y generalidades de la termografía**

Desde su desarrollo a mediados del siglo XX, la termografía infrarroja (TIR) ha encontrado aplicaciones en múltiples disciplinas, incluyendo el ámbito militar, la ingeniería y la medicina. Su principal ventaja radica en ser una técnica no invasiva, sin contacto y libre de dolor, que permite evaluar a distancia cambios fisiológicos reflejados en la temperatura corporal, sin generar efectos secundarios como ocurre con los rayos X o los radioisótopos. La TIR permite medir en tiempo real las variaciones térmicas asociadas a procesos metabólicos, donde el consumo celular de energía genera liberación de calor. Además, dado que el sistema musculoesquelético ajusta el flujo sanguíneo según la actividad muscular y el estado homeostático, la imagen térmica también refleja los cambios en la microcirculación influida por el sistema nervioso autónomo. Sin embargo, su aplicación presenta limitaciones relacionadas con la ausencia de protocolos estandarizados, la necesidad de formación especializada para interpretar los termogramas y la influencia de las condiciones ambientales.

Por otra parte, los principios físicos de la TIR se sustentan en la Ley de Stefan-Boltzmann, según la cual la energía irradiada por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Este fundamento fue establecido a partir de los trabajos de Herschel, Kirchoff, Stefan y Boltzmann entre los siglos XIX y XX.

$$I = \sigma T^4, \quad (22)$$

Fórmula 1

Donde, “es la temperatura del cuerpo (en K),  $I$ , la Intensidad de la radiación emitida por el cuerpo (en  $W/m^2$ ) y  $\sigma$ , la constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ ).”

La ecuación de Stefan-Boltzmann establece que un leve incremento en la temperatura produce un aumento considerable en la cantidad de radiación emitida, describiendo cómo el calor se transfiere a través de radiación térmica.

Para un cuerpo real (cuerpo gris), la ley de Stefan-Boltzmann se expresa como:

$$I = \sigma \varepsilon T^4, \quad (22)$$

Fórmula 2

Donde “la emisividad,  $\varepsilon$ , indica la proporción de radiación térmica de un cuerpo real respecto al ideal (cuerpo negro).”

La ley de Wien, (Wilhelm Wien, 1884), señala que la temperatura de un cuerpo y la longitud de onda en la que emite su máxima energía están inversamente relacionadas. Este principio explica cómo el color de un objeto cambia, pasando de tonos rojos a amarillos, a medida que su temperatura se eleva.

$$\lambda = \frac{2898 \text{ K} \cdot \mu\text{m}}{T}, \quad (22)$$

Fórmula 3

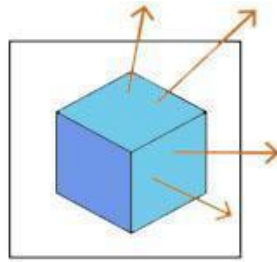
Donde:

$\lambda$ : longitud de onda de máxima emisión o longitud de onda pico (en  $\mu\text{m}$ )

T: temperatura absoluta (en K)

De acuerdo con la ecuación 3, al aumentar la temperatura de un cuerpo, su longitud de onda máxima de emisión disminuye. Este principio guía el diseño de sensores térmicos, ajustando su sensibilidad al rango de longitudes de onda según la temperatura del objeto observado. Por ejemplo, en aplicaciones biológicas, se emplean sensores de radiación de onda larga (8–12  $\mu\text{m}$ ) para medir variaciones térmicas en humanos o animales, cuya temperatura superficial (30–33 °C) corresponde a longitudes de onda pico entre 9,56 y 9,47  $\mu\text{m}$ .

Emitancia ( $\epsilon$ ): la emitancia, representada con la letra griega épsilon ( $\epsilon$ ), hace referencia a la capacidad que posee un material de emitir/propagar radiación infrarroja.

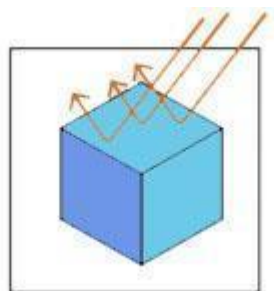


(22) (figura 1)

Esquema geométrico del concepto de emisividad, tomado de: Becerra López HK, Castillo Pedraza MC, Wilches Visbal JH. Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

La emisividad depende de factores como el tipo de material, su superficie, temperatura y la humedad ambiental. Los materiales metálicos presentan baja emisividad, mientras que los orgánicos suelen tener valores elevados. Además, la emisividad aumenta con la temperatura. Su valor máximo corresponde al cuerpo negro, que absorbe el 100% de la radiación térmica incidente. En tejidos biológicos, la emisividad oscila entre 0,95 y 0,98, dado que comparten una composición similar de agua y materia orgánica; para la piel, se recomienda utilizar un valor de 0,98.

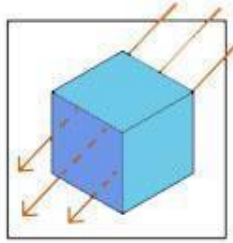
Reflectancia ( $\rho$ ): es la capacidad de un material para reflejar la radiación infrarroja, y se representa con la letra griega rho ( $\rho$ ).



(22) (figura 2)

Esquema geométrico del concepto de reflexión, tomado de: Becerra López HK, Castillo Pedraza MC, Wilches Visbal JH. Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Transmitancia ( $\tau$ ): es la capacidad de un material para permitir el paso de la radiación infrarroja a través de él, representada por la letra griega tau ( $\tau$ ).



(22) (figura 3)

Esquema geométrico del concepto de transmisión, tomado de: Becerra López HK, Castillo Pedraza MC, Wilches Visbal JH. Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Ley de radiación de Kirchhoff: un termograma es una imagen bidimensional en escala de colores que muestra la temperatura de cada píxel según la energía térmica emitida, reflejada y absorbida por el cuerpo y su entorno. Esta imagen se obtiene mediante una cámara termográfica.

Para una longitud de onda específica, la cantidad de energía térmica que recibe o absorbe la cámara termográfica ( $\varphi_i$ ) depende de tres componentes:

1. Emisión ( $\varphi_\varepsilon$ ): energía emitida por el cuerpo por unidad de tiempo.
2. Reflexión ( $\varphi_\rho$ ): energía reflejada por el cuerpo por unidad de tiempo.
3. Transmisión ( $\varphi_\tau$ ): energía que atraviesa el cuerpo por unidad de tiempo.

$$\varphi_i = \varphi_\varepsilon + \varphi_\rho + \varphi_\tau. \quad (22)$$

Fórmula 4

Dividiendo la ecuación por la potencia incidente:

$$\frac{\varphi_\varepsilon}{\varphi_i} + \frac{\varphi_\rho}{\varphi_i} + \frac{\varphi_\tau}{\varphi_i} = 1, \quad (22)$$

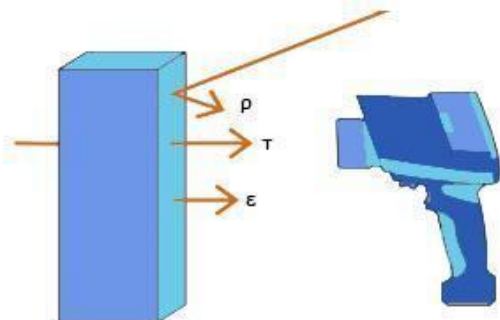
Fórmula 5

O

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1, \quad (22)$$

Fórmula 6

Donde los coeficientes de emisión, reflexión y transmisión —también llamados emisividad, reflectancia y transmitancia— representan propiedades propias de cada material.



(22) (figura 4)

Esquema geométrico del concepto de transmisión, emisión y reflexión sobre un mismo cuerpo, tomado de: Becerra López HK, Castillo Pedraza MC, Wilches Visbal JH. Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Como en la mayoría de los casos los materiales no permiten el paso de la radiación, la transmitancia suele despreciarse, simplificando así la ecuación en:

$$\varepsilon + \rho = 1, \quad (22)$$

Fórmula 7

La radiación detectada por la cámara termográfica corresponde a la energía emitida y reflejada por el cuerpo. De acuerdo con la ecuación (Ec. 7), existe una relación inversa entre emitancia y reflectancia: un material que emite bien, refleja poco. Además, según esta ley, un cuerpo negro en equilibrio térmico absorbe toda la radiación incidente y, por conservación de energía, emite la misma cantidad de energía absorbida, por lo que su emitancia es igual a su absorbancia ( $\alpha$ ). es decir:

$$\alpha + \rho = 1, \quad (22)$$

Fórmula 8

Donde “la absorbancia se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que es absorbida por el cuerpo, respecto a la incidente.”

A partir de la radiación emitida es posible calcular la temperatura superficial de un cuerpo y representarla en una imagen. **Los colores observados en la termografía reflejan las variaciones en los coeficientes de emisión y reflexión de las distintas zonas del cuerpo analizado.** (22)

### IX.5.2 Termografía e Inflamación

El registro de la temperatura permite objetivar las diferencias entre regiones corporales y realizar un seguimiento tanto preventivo como evolutivo de las lesiones. La comparación de temperatura entre extremidades ha demostrado ser un método fiable y consistente en el análisis termográfico. En el caso de la rodilla, se evalúa la asimetría térmica y se compara con datos normativos para monitorizar la inflamación durante el proceso de recuperación, detectar desequilibrios compensatorios en otras estructuras como el cuádriceps o los

isquiotibiales, que afectan la estabilidad articular, y ajustar el seguimiento según anomalías individuales, como inhibición artrogénica o presencia de osteoartritis.(24)

La termografía infrarroja (TI) destaca como un método no invasivo, rápido y libre de radiación, capaz de visualizar alteraciones térmicas superficiales relacionadas con procesos inflamatorios, disfunciones autonómicas o limitaciones del movimiento. Esta técnica mide la radiación infrarroja emitida por el cuerpo, reflejando la temperatura de la piel, la cual está influida por el flujo sanguíneo, la inflamación y la actividad del sistema nervioso autónomo (Zaproudina et al., 2006).

En el contexto de este trabajo, su utilidad práctica se orienta a la monitorización de la inflamación y la actividad autonómica. Sin embargo, su aplicación clínica presenta limitaciones que deben considerarse. Aunque los dispositivos ofrecen alta precisión técnica, la interpretación de los termogramas puede verse afectada por la variabilidad entre observadores y por factores ambientales o del propio paciente (como la temperatura ambiente, el ejercicio previo o el uso de medicamentos) (Uematsu et al., 1988). Actualmente, no se respalda su uso como única herramienta diagnóstica, pero su mayor aporte se encuentra en el seguimiento de procesos fisiológicos y en el monitoreo de la respuesta terapéutica. (25)

### **IX.5.3 Evolución de la termografía infrarroja en medicina**

Inicialmente, la termografía infrarroja fue aplicada en el ámbito médico principalmente con fines diagnósticos, destacándose en las décadas de 1960 y 1970 por su rapidez, seguridad y capacidad objetiva para detectar asimetrías térmicas. Su uso más relevante fue en el diagnóstico del cáncer de mama, donde algunos autores incluso propusieron su empleo como prueba de detección temprana (Isard et al., 1972). Sin embargo, la utilización de la termografía como único método diagnóstico provocó numerosos falsos positivos debido a su limitada sensibilidad y especificidad (Williams et al., 1990), lo que perjudicó su credibilidad en el ámbito médico (Feig et al., 1997).

Con los avances tecnológicos y su combinación con otras técnicas, la sensibilidad de la termografía en el diagnóstico de cáncer de mama ha mejorado, alcanzando un 83%, y hasta un 95% cuando se complementa con mamografía (Kennedy et al., 2009). Este progreso resalta la importancia de aplicar la termografía sobre una base científica sólida y con un adecuado conocimiento técnico, utilizando herramientas objetivas y confiables que minimicen errores de interpretación basados exclusivamente en la temperatura cutánea.

La temperatura de la piel refleja la energía generada y liberada por el cuerpo, influenciada por la actividad de músculos, ligamentos, articulaciones y, especialmente, por el sistema cardiovascular, encargado de regular el flujo sanguíneo, provocando respuestas térmicas hiper o hipotérmicas (Hooshmand et al., 2001; Neves et al., 2015). En definitiva, el flujo sanguíneo es el principal responsable de las variaciones térmicas, ya sea por regulación autonómica o por eventos locales. (13)

#### **IX.5.4 La temperatura de la piel se relaciona con la actividad muscular.**

Este aspecto es especialmente importante, ya que la temperatura cutánea registrada mediante termografía puede reflejar, aunque no siempre directamente, la actividad muscular (Escamilla et al., 2017; Chudecka et al., 2015; Sancibrian et al., 2016; Cham et al., 2016). El calor producido por músculos profundos o rodeados de tejido graso tiene un recorrido mayor hasta la superficie, dificultando su detección térmica. En cambio, en músculos superficiales o en personas con bajo porcentaje de grasa corporal, existe una relación más directa entre la actividad muscular y la temperatura registrada. Por ejemplo, en la musculatura de las piernas —especialmente en atletas— la termografía es útil para monitorizar cambios derivados de entrenamientos, tratamientos o cirugías, permitiendo evaluar la efectividad de las intervenciones y realizar un seguimiento evolutivo.(13)

#### **IX.6 Estudios Relacionados**

Actualmente existen estudios que evalúan la temperatura de la rodilla antes y después de procedimientos quirúrgicos. Romanò et al. (2011) realizaron un estudio preliminar en dos grupos de pacientes sometidos a artroplastia de rodilla, observando que las imágenes termográficas mostraron picos elevados de temperatura durante los primeros días del postoperatorio. De forma similar, Windisch et al. (2016) identificaron variaciones significativas en la temperatura regional de la rodilla durante los primeros cinco días tras la cirugía. Por su parte, Vega (2023) utilizó la termografía para analizar la asimetría térmica en distintas regiones de las extremidades inferiores, incluyendo la rodilla. Mediante un sistema de clasificación basado en análisis estadístico, estableció tres niveles de riesgo: bajo (personas sanas), moderado (pacientes con lesiones pero con temperaturas cercanas al rango normal) y alto (lesionados con diferencias térmicas marcadas en la zona afectada). (26)

##### **IX.6.1 Aporte del estudio de Windisch et al. al análisis termográfico postquirúrgico en artroplastia de rodilla**

Durante la cicatrización postquirúrgica, la inflamación fisiológica genera un aumento de la perfusión en los tejidos blandos, lo cual produce variaciones térmicas en la superficie de la piel, observables mediante termografía infrarroja. Aunque se sabía que el trauma quirúrgico local influye en la perfusión, existía escasa información sobre cómo se distribuyen estas variaciones térmicas en distintas zonas de la rodilla después de la artroplastia.

En este contexto, Windisch et al. realizaron un estudio con 42 pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla (ATR), realizando mediciones termográficas diarias durante los primeros siete días postoperatorios. Contrario a su hipótesis inicial, los resultados mostraron que las diferencias térmicas más notorias no se encontraban en la zona medial —correspondiente al área de mayor manipulación quirúrgica— sino en la zona lateral, donde el trauma tisular es menor. La temperatura medial se mantuvo relativamente estable desde el primer hasta el séptimo día, mientras que en la región lateral se observaron aumentos térmicos significativos entre el segundo y el quinto día postoperatorio.

El estudio concluye que, en el seguimiento postoperatorio temprano, la termografía puede reflejar alteraciones de perfusión no solo por el trauma directo, sino también por mecanismos de redistribución del flujo sanguíneo. Por ello, se sugiere que la utilidad diagnóstica de la

termografía en el postoperatorio inmediato de la ATR podría ser más precisa cuando se enfoca en regiones alejadas del sitio quirúrgico principal, evitando así interpretaciones erróneas. (27)

### **IX.6.2 Aporte del estudio de Romanò et al. sobre la evolución térmica postoperatoria en reemplazos articulares**

En este estudio, Romanò et al. evaluaron la evolución térmica de pacientes sometidos a reemplazo total de rodilla y de cadera, empleando teletermografía digital portátil para monitorizar los cambios de temperatura postquirúrgicos durante un año. Preoperatoriamente, no se observaron diferencias térmicas significativas entre las articulaciones afectadas y las contralaterales en ninguno de los grupos.

Posterior a la cirugía, se detectó un aumento marcado de la temperatura en la articulación intervenida, alcanzando un pico promedio a los tres días de  $3,1 \pm 0,8$  °C en los reemplazos de cadera y  $3,4 \pm 0,7$  °C en los de rodilla, en comparación con el lado no operado. A partir de ese punto, la temperatura diferencial fue disminuyendo progresivamente, alcanzando valores próximos a la normalidad entre los 60 y 90 días postoperatorios, y estabilizándose sin mayores variaciones hasta un año después de la intervención. Los resultados fueron consistentes tanto en las mediciones generales como en aquellas centradas sobre la zona quirúrgica.

El estudio destaca que, a pesar de las limitaciones metodológicas existentes en investigaciones previas —como escaso número de pacientes, ausencia de controles y limitaciones técnicas de los equipos utilizados—, es posible identificar un patrón térmico reproducible de recuperación postquirúrgica. Además, el conocimiento de este comportamiento fisiológico de la temperatura tras cirugía articular puede servir como referencia útil para la detección temprana de posibles complicaciones sépticas mediante teletermografía. (28)

### **IX.6.3 Aporte del estudio de Del Estal Martínez et al. sobre termografía y edema postoperatorio en artroplastia total de rodilla**

Del Estal Martínez et al. (2020) evaluaron la asimetría térmica y el incremento de perímetro en pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla (ATR), utilizando termografía infrarroja. El estudio incluyó 24 pacientes, en su mayoría mujeres, evaluados aproximadamente 64 días después de la cirugía. Se identificaron diferencias térmicas significativas entre la rodilla operada (RKnee) y la no intervenida (NRKnee), registrando un aumento promedio de temperatura de 2,08 °C en la zona quirúrgica, con un rango de variación entre 1,66 y 1,70 °C ( $p < 0,001$ ). Además, el perímetro de la rodilla operada fue  $2,74 \pm 0,26$  cm mayor respecto al lado contralateral.

Aunque no se hallaron correlaciones significativas entre la temperatura cutánea y las escalas de dolor o función, sí se observó una fuerte asociación entre el rango de movimiento (ROM) y el Oxford Knee Score (OKS) ( $r = 0,864$ ;  $p < 0,001$ ). Los autores concluyeron que tanto el aumento de temperatura como el edema en la rodilla intervenida reflejan procesos inflamatorios postquirúrgicos, sin relacionarse directamente con la percepción subjetiva de dolor o funcionalidad del paciente. (29)

## **X JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

La osteoartritis de rodilla se encuentra entre las diez enfermedades más frecuentes a nivel mundial, representando una causa importante de inactividad física, hospitalización y deterioro funcional en adultos, particularmente en la población mayor de 70 años, en quienes el riesgo incrementa aproximadamente un 40% entre los 70 y 74 años, y continúa aumentando un 1% adicional por cada año posterior a la séptima década de vida (15)(20). En el contexto nacional, esta patología constituye uno de los principales motivos de consulta, siendo responsable de más de un millón y medio de consultas anuales dentro del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (6).

La artroplastia total de rodilla (ATR) ha demostrado ser un procedimiento terapéutico altamente costo-efectivo en el tratamiento de la osteoartritis avanzada, estimándose que su demanda podría multiplicarse entre siete y ocho veces hacia el año 2030. Esta tendencia se encuentra estrechamente relacionada con el incremento de dos fenómenos demográficos de alto impacto en México: el envejecimiento poblacional y el alarmante crecimiento en la prevalencia de obesidad. Actualmente, México ocupa el segundo lugar mundial en obesidad, con un aumento del 30% en las últimas dos décadas, y se proyecta que su prevalencia alcanzará hasta un 80% en 2030 (6). Estas condiciones han generado un notable incremento en la incidencia de enfermedades degenerativas articulares, afectando aproximadamente al 30% de los adultos de entre 40 y 50 años (7), así como en los costos institucionales de atención médica tanto pública como privada debido al creciente número de intervenciones quirúrgicas y tratamientos especializados (7).

En el grupo de pacientes candidatos a artroplastia total de rodilla, particularmente aquellos entre los 60 y 70 años, la obesidad se presenta como un factor prevalente que agrava el pronóstico funcional y eleva los costos de atención médica (15)(16). Dentro de este contexto, los protocolos Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) han demostrado beneficios significativos en el control del dolor, la movilidad, la funcionalidad articular y la reducción de complicaciones postoperatorias, lo que ha permitido su implementación como estrategia de optimización en la recuperación de estos pacientes (7).

A pesar de los avances en el manejo quirúrgico y rehabilitador, la literatura científica aún presenta limitaciones en cuanto al conocimiento detallado de los patrones inflamatorios y térmicos posteriores a la artroplastia total de rodilla (7). En este sentido, la termografía infrarroja surge como una herramienta diagnóstica no invasiva y objetiva que permite identificar cambios térmicos en la piel asociados a procesos inflamatorios, vasculares o autonómicos, facilitando la evaluación clínica en escenarios donde los síntomas no siempre se correlacionan de manera directa con los hallazgos físicos (25).

Las cámaras termográficas, mediante sensores infrarrojos especializados, registran las variaciones de temperatura cutánea que reflejan indirectamente la perfusión sanguínea subyacente. Gracias a los avances tecnológicos recientes, estos dispositivos se han vuelto más accesibles, portátiles y precisos, permitiendo evaluaciones rápidas, económicas y en tiempo real incluso a través de dispositivos móviles, ampliando así sus posibilidades de

aplicación clínica tanto en la planificación quirúrgica como en el seguimiento postoperatorio (23).

Dada la alta prevalencia de artroplastia total de rodilla en nuestro medio, el impacto funcional de sus secuelas inflamatorias y el potencial que ofrece la termografía como herramienta de monitoreo no invasivo, resulta relevante explorar su utilidad en el seguimiento evolutivo de la inflamación postquirúrgica en pacientes sometidos a este procedimiento, a fin de poder ayudar en la detección oportuna de posibles complicaciones graves, siendo la más común: la infección periprotésica. y de esa forma poder dar un tratamiento oportuno que cambie favorablemente el pronóstico clínico y funcional.

## **X.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el patrón de la inflamación postoperatoria, medido mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla?

## **XI HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Hipótesis alterna

El 80% de los pacientes presentan una tendencia térmica favorable relacionada a la disminución de la inflamación postoperatoria

Hipótesis nula

El 80% de los pacientes no presentan una tendencia térmica favorable relacionada a la disminución de la inflamación postoperatoria

## **XII OBJETIVOS**

### **XII.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar de forma no invasiva la inflamación postoperatoria, mediante termografía infrarroja, en pacientes con artroplastia total de rodilla.

### **XII.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Registrar mediciones seriadas de temperatura cutánea en la zona de la rodilla operada mediante termografía infrarroja.
2. Describir los cambios térmicos a lo largo del seguimiento con patrones de comportamiento inflamatorio.
3. Señalar la utilidad de la termografía infrarroja como herramienta tecnológica para uso biomédico.
4. Identificar los datos sociodemográficos de la población participante (edad, sexo)
5. Identificar la comorbilidad más común, así como el IMC en la población de estudio.

### **XIII SUJETOS Y MÉTODOS**

XIII.1 DISEÑO: Se realizará un estudio cuantitativo, prospectivo, descriptivo y observacional

XIII.2 SITIO: HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”

XIII.3 PERIODO: 3 meses posteriores a la aprobación del protocolo

XIII.4 UNIVERSO: Pacientes derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou” en San Luis Potosí, sometidos a artroplastia total de rodilla.

#### XIII.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Se consideraron los siguientes criterios de selección:

##### Criterios de inclusión.

- Pacientes derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), atendidos en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”
- Pacientes sometidos a **artroplastia total de rodilla primaria unilateral**.
- Seguimiento clínico postoperatorio.
- Que acepten participar voluntariamente en el estudio y firmen el **consentimiento informado**.
- Pacientes mayores de 60 años de edad

##### Criterios de exclusión.

- Pacientes con diagnóstico de **infección activa** en la articulación o tejidos adyacentes.
- Pacientes con enfermedades **neurológicas o vasculares periféricas** que puedan alterar la distribución térmica (ej. neuropatía diabética, insuficiencia venosa severa).
- Pacientes con **cirugías previas en la misma rodilla** (revisión de prótesis, osteosíntesis, etc.).
- Pacientes con diagnóstico clínico de **trastornos reumatológicos activos** (ej. artritis reumatoide).
- Obesidad mórbida (**IMC  $\geq$  40 kg/m<sup>2</sup>**), ya que puede alterar la distribución térmica cutánea.

##### Criterios de eliminación.

- Pacientes que **no completan el seguimiento** en los tiempos establecidos.
- Que **retiren su consentimiento** para participar en el estudio.
- Casos en los que por razones técnicas o logísticas no se pueda obtener una imagen térmica válida en las fechas programadas.

## XIII.6 MÉTODOS

### XIII.6.1 TÉCNICA DE MUESTREO

Se realiza con base al número de cirugías realizadas (artroplastia total de rodilla) durante el año 2024 (76 ATRs) en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, del IMSS, en San Luis Potosí, con cálculo para tamaño de muestra de manera representativa.

### XIII.6.2 CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA

Artroplastía Total de Rodilla, realizadas en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, San Luis Potosí, en el año 2024: 76 cirugías (datos oficiales de los instrumentos de recolección del Área de Información Médica y Archivo Clínico-ARIMAC de la unidad hospitalaria)

Muestra para el protocolo: 32

#### **Diseño pareado / medidas repetidas**

Aproximación                      práctica                      para                      **prueba**                      **t**                      **pareada:**

- Para  $\alpha=0.05$  ( $Z\approx 1.96$ ), potencia 80% ( $Z\approx 0.84$ ): suma  $\approx 2.80$ , cuadrado  $\approx 7.84$ .
  - $d=0.5d$ :  $n\approx 7.84/0.25=31.4\Rightarrow 32$  pacientes.

- **Fórmula aproximada (en términos de efecto estandarizado  $d$ ):**

$$n \approx \frac{(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{d^2}$$

Donde:

- $n$  = tamaño de la muestra (32)
- $N$  = tamaño de la población (76)
- $Z_{1-\alpha/2}$  = valor crítico del nivel de confianza (para 95%(1.96))
- $Z_{1-\beta}$  = potencia estadística (80%)=0.84
- $d$  = corresponde al cambio esperado en la temperatura superficial entre dos momentos de medición, dividido entre la desviación estándar de dichas diferencias.

### XIII.6.3 METODOLOGÍA

#### Diseño del estudio

Estudio **observacional, prospectivo, longitudinal y no experimental**, con enfoque cuantitativo, que evalúa los cambios térmicos superficiales en rodilla mediante termografía infrarroja en pacientes post operados de artroplastia total de rodilla.

#### Población y muestra

La población estará conformada por pacientes derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), atendidos en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, que hayan sido sometidos a artroplastia total de rodilla unilateral.

Cabe mencionar que la población de pacientes con indicación de manejo quirúrgico definitivo y en espera de Artroplastia Total de Rodilla son suficientes para programar en tiempo en forma desde la Jefatura de Ortopedia de esta unidad hospitalaria para fines de llevar a cabo este protocolo de estudio.

- **Muestra:** pacientes calculados por técnica de muestreo, que cumplan los criterios de inclusión.

#### Sitio de realización

- **Reclutamiento, control clínico, y captura de imágenes térmicas:** HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, San Luis Potosí. Área de consulta externa de ortopedia.

#### Seguimiento

Cada paciente será evaluado mediante imagen termográfica con fotografía inicial previo a su alta hospitalaria y posteriormente **una vez cada 15 días, durante 3 meses**, (fotografía inicial, semanas 2, 4, 6, 8 y 10 después de la cirugía).

#### Técnica de recolección de datos

Se tomará una imagen térmica de la rodilla operada en cada sesión, con una cámara termográfica calibrada (Marca: Zopsc thermal imager, Especificaciones: imágenes térmicas de 120x90 con tecnología de mejora de imágenes TisoView), (proporcionada por investigador asociado) bajo un protocolo estandarizado.

- Ambiente con temperatura controlada.
- Paciente en posición neutra, en reposo al menos 10 minutos antes de la toma.

- Se delimitan regiones anatómicas específicas (medial, lateral y anterior) para el análisis térmico.

Cabe mencionar que el investigador asociado acudió por sus propios medios a una capacitación para la toma e interpretación de imágenes térmicas en la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología de la UASLP, (aunado a los parámetros mencionados en la referencia bibliográfica número “30”) :

La temperatura superficial será registrada en grados Celsius (°C).

### **Análisis de datos**

Los datos serán analizados mediante estadística descriptiva (media, desviación estándar) y comparativa (ANOVA de medidas repetidas) para evaluar la evolución térmica a lo largo del tiempo. Se utilizará un nivel de significancia de **p < 0.05**.

## CUADRO 1 VARIABLES

| Tipo de variable     | Nombre de la variable                                     | Definición conceptual  | Definición operacional  | Tipo de dato   | Unidad de medida   | Instrumento / Método de medición   |
|----------------------|---|--|---|--|--|--|
| <u>Independiente</u> | Tiempo post operatorio                                    | Intervalo de tiempo transcurrido desde la realización de la artroplastia total de rodilla.   | Tiempo medido en 5 puntos específicos: inicial, 1, 2, 3 y 4 semanas postoperatorias.  | Cualitativa ordinal  | Semanas  | Registro clínico del seguimiento postoperatorio  |
| <u>Dependiente</u>   | Temperatura superficial de la rodilla                     | Nivel térmico medido en la piel de la articulación operada, reflejo indirecto de la actividad inflamatoria y vascular.   | Temperatura en grados Celsius (°C) registrada mediante termografía infrarroja en distintas regiones anatómicas de la rodilla (medial, lateral, anterior), captada con cámara térmica en condiciones controladas.  | Cuantitativa continua  | °C   | Termografía infrarroja con cámara térmica  |
| <u>Control</u>       | - Índice de masa corporal (IMC)<br><br>-Sexo<br><br>-Edad | Relación entre peso y talla que permite estimar el grado de sobrepeso u obesidad.<br><br>Condición biológica que diferencia al individuo como masculino o femenino.<br><br>Tiempo transcurrido desde el nacimiento de la persona hasta la fecha de la cirugía. | Valor calculado mediante la fórmula $IMC = \text{peso (kg)} / \text{talla}^2 (\text{m}^2)$ , registrado durante la consulta postoperatoria.<br><br>Sexo registrado según expediente clínico del paciente.<br><br>Edad registrada en años cumplidos al momento del procedimiento quirúrgico. | Cuantitativa continua<br><br>Cualitativa nominal dicotómica<br><br>Cuantitativa continua | kg/m <sup>2</sup><br><br>Femenino/ Masculino<br><br>Años | Balanza y estadímetro clínico<br><br>Expediente clínico o ficha de identificación<br><br>Registro clínico del paciente / expediente médico |

### XIII.6.4 PLAN DE TRABAJO

#### Procedimientos

- Se realizará fotografía térmica (con métodos descritos para evitar error en la toma de las mismas y lograr una toma de datos de buena calidad) (11, 30) en todos los paciente seleccionados en el periodo definido, en el HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, San Luis Potosí
- Se recabará muestra de estudio mediante los criterios de inclusión y exclusión mencionados en el protocolo.
- Integración de base de datos haciendo uso de software EXCEL.
- Cálculos necesarios para el análisis estadístico descriptivo.
- Análisis de resultados.
- Reporte de resultados.

### XIII.6.5 RECURSOS HUMANOS

Dr. Oscar Berrueco Rodríguez

Médico Residente en Ortopedia y Traumatología

HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, San Luis Potosí

Matrícula 97252222

Teléfono: 5540359796

Correo electrónico: [dr.oscarrberrueco@gmail.com](mailto:dr.oscarrberrueco@gmail.com)

Dr. Gerardo Clemente García Ruiz

Médico Traumatólogo y Ortopedista

HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”, San Luis Potosí

Matricula 98259284

Teléfono: 4441251795

Correo electrónico: [drgerardogarciaty@hotmail.com](mailto:drgerardogarciaty@hotmail.com)

Dr. Ricardo Vigna Perez

Médico Traumatólogo y Ortopedista

HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”

Matricula: 993590336

Teléfono: 4441882671

Correo electrónico: [consultadvigna@outlook.com](mailto:consultadvigna@outlook.com)

Dr. Floriberto Gomez Garduño

Coordinador de Educación e Investigación en Salud

HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”

Matricula: 98254948

Teléfono: 4442048686

Correo electrónico: [floriberto.gomez@imss.gob.mx](mailto:floriberto.gomez@imss.gob.mx)

### XIII 6.6 RECURSOS MATERIAL

- Infraestructura: Se cuenta con un área de oficina con internet inalámbrico dentro de las instalaciones del Instituto Mexicano del Seguro Social para el proceso y análisis de los datos.
- Computadora portátil y de escritorio con los siguientes softwares: EXCEL Office 2013, SPSS versión 25
- Expedientes clínicos provenientes del departamento de Archivo clínico hospitalario institucional.
- Memorias USB

### XIII.6.7 FACTIBILIDAD

La factibilidad operativa estará a cargo de los investigadores.

La factibilidad técnica estará conformada por la revisión de expedientes clínicos, análisis de imágenes termográficas y recursos técnicos para realizar la medición estadística.

La factibilidad económica correrá a cargo de los investigadores y la institución.

## **XIV ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

Los datos serán recopilados en una base de datos de análisis estadístico, usando el programa Microsoft Excel.

Se emplearán estadísticos descriptivos para los datos sociodemográficos, así como para la presentación de los resultados de escalas funcionales y rangos de movilidad mediante el uso de medidas de tendencia central, con un intervalo de confianza del 95% (IC95%).

## **XV CONSIDERACIONES ÉTICAS**

La investigación se realizará en apego a las normativas éticas internacionales vigentes, cumpliendo los principios establecidos en la Declaración de Helsinki – Principios Éticos para las Investigaciones Médicas en Seres Humanos (64ª Asamblea General de la Asociación Médica Mundial, octubre 2013). El estudio se desarrollará con base en un conocimiento científico sólido (Artículo 11), evaluando los riesgos y beneficios para los participantes (Artículos 16 y 17), con la expectativa razonable de generar beneficios directos e indirectos a la población estudiada (Artículo 19), y será conducido por personal calificado (Artículo 15), bajo protocolos previamente aprobados y revisados por un comité de ética independiente. Se respetarán los principios fundamentales de **respeto a la persona**, **beneficencia** (minimizando riesgos y procurando el bienestar de los participantes) y **justicia** (asegurando una participación equitativa de los sujetos elegibles). Todo ello con el propósito de salvaguardar la dignidad, la salud y los derechos de los participantes (31).

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación, Título Segundo, Capítulo I, Artículo 17, Fracción I, este protocolo se clasifica como una **investigación con riesgo mínimo** (32), ya que se trata de un estudio prospectivo empleando el riesgo de datos a través un procedimiento común de examen físico para

diagnóstico en base al reglamento de la Ley General de Salud; de igual forma al no tratarse de un estudio experimental ni implicar intervenciones adicionales a las inherentes al tratamiento quirúrgico previamente autorizado bajo la NOM-004-SSA3-2012 (33). Esta norma establece los lineamientos científicos, éticos, tecnológicos y administrativos obligatorios en relación al expediente clínico, su elaboración, manejo, confidencialidad y propiedad. En particular, su sección 4.2 indica que el consentimiento informado deberá ser firmado por el paciente o su representante legal, previa información detallada de los riesgos, beneficios y objetivos de la investigación.

Los investigadores garantizan el resguardo de la información obtenida, manteniendo en todo momento la confidencialidad de los datos personales, así como la privacidad de los participantes (33).

Finalmente, el estudio confiere un beneficio directo a los participantes, ya que puede ofrecer la oportunidad de detectar un posible proceso infeccioso en etapas tempranas y por ende disminuir o eliminar las complicaciones asociadas al mismo, debido a la detección y tratamiento oportunos. De igual manera ayuda a la generación de conocimientos científicos relevantes que podrán ser de utilidad para la comunidad médica, especialmente en el campo de la ortopedia a nivel nacional.

## **XVI RESULTADOS**

Se incluyeron 36 pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla. La temperatura superficial media de la rodilla mostró variaciones a lo largo del seguimiento postoperatorio, observándose una tendencia progresiva a la disminución conforme avanzó el tiempo.

El análisis mediante ANOVA de medidas repetidas mostró diferencias estadísticamente significativas en la temperatura superficial de la rodilla entre los distintos momentos del seguimiento postoperatorio ( $p < 0.05$ ).

La prueba de Friedman mostró diferencias estadísticamente significativas en la temperatura superficial de la rodilla entre los distintos tiempos de evaluación ( $p < 0.05$ ).

### Diseño

- Estudio longitudinal, prospectivo
- Medidas repetidas intra-sujeto
- $n = 36$  pacientes

### Variable principal

- Temperatura superficial de la rodilla ( $^{\circ}\text{C}$ )

### Factor intra-sujeto (tiempo)

- Inmediato
- 15 días

- 30 días
- 45 días
- 60 días
- 75 días

#### Prueba estadística

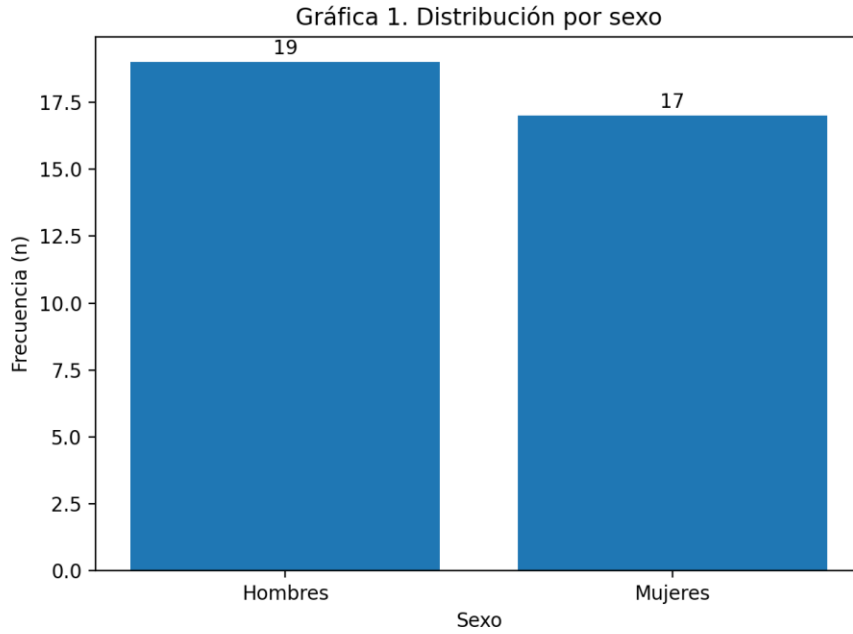
- ANOVA de medidas repetidas
- Alternativa no paramétrica: Friedman

#### ANOVA

Se utilizó un **ANOVA de medidas repetidas** para evaluar los cambios en la temperatura superficial de la rodilla a lo largo del tiempo postoperatorio, considerando como **factor intra-sujeto** el tiempo de medición (inmediato, 15, 30, 45, 60 y 75 días).

#### Friedman

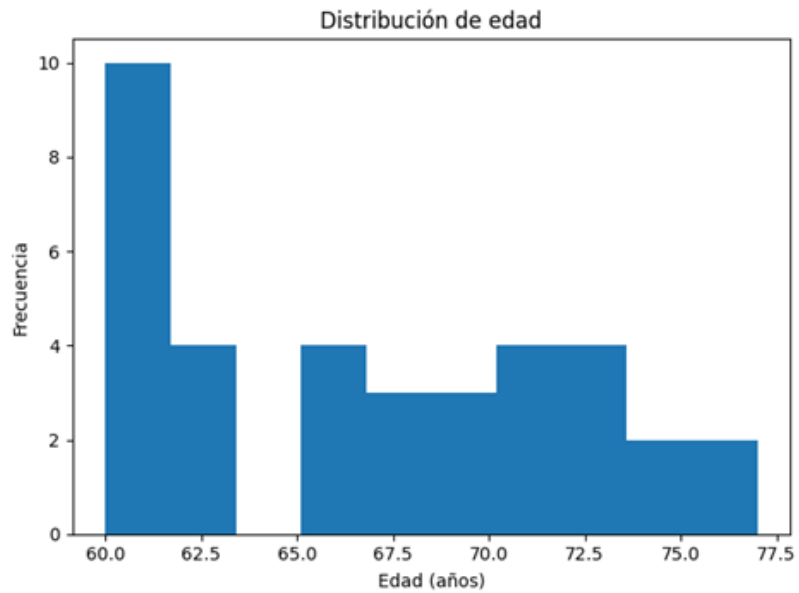
El análisis mediante la prueba de Friedman mostró diferencias estadísticamente significativas en la temperatura superficial de la rodilla entre los distintos tiempos de evaluación postoperatoria ( $p < 0.05$ ).



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

El sexo no condicionó la inclusión ni el comportamiento térmico, solo describe a la muestra.

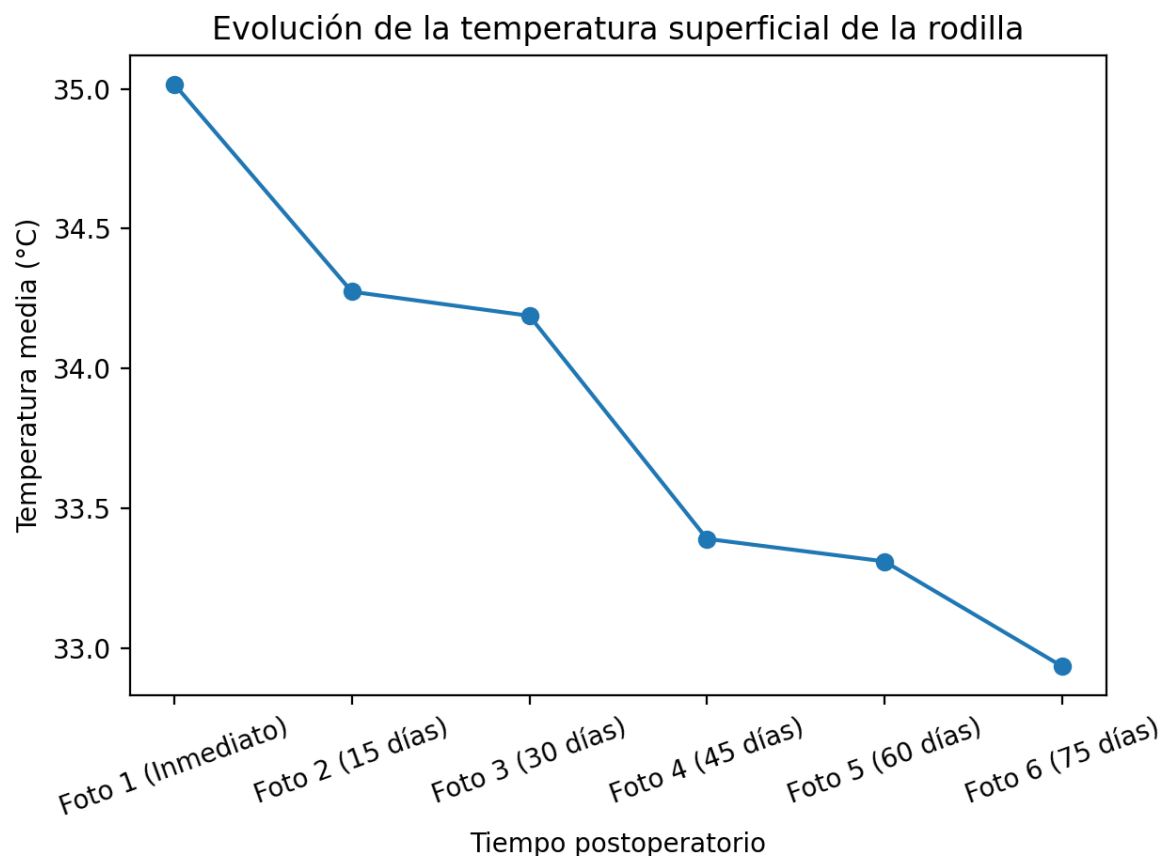
Figura 5. Grafica que muestra la distribución por sexo de los participantes del estudio



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

La edad de la muestra es la esperada para este tipo de cirugía.

Figura 6. Gráfica que muestra la distribución por grupos etarios de los participantes del estudio



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

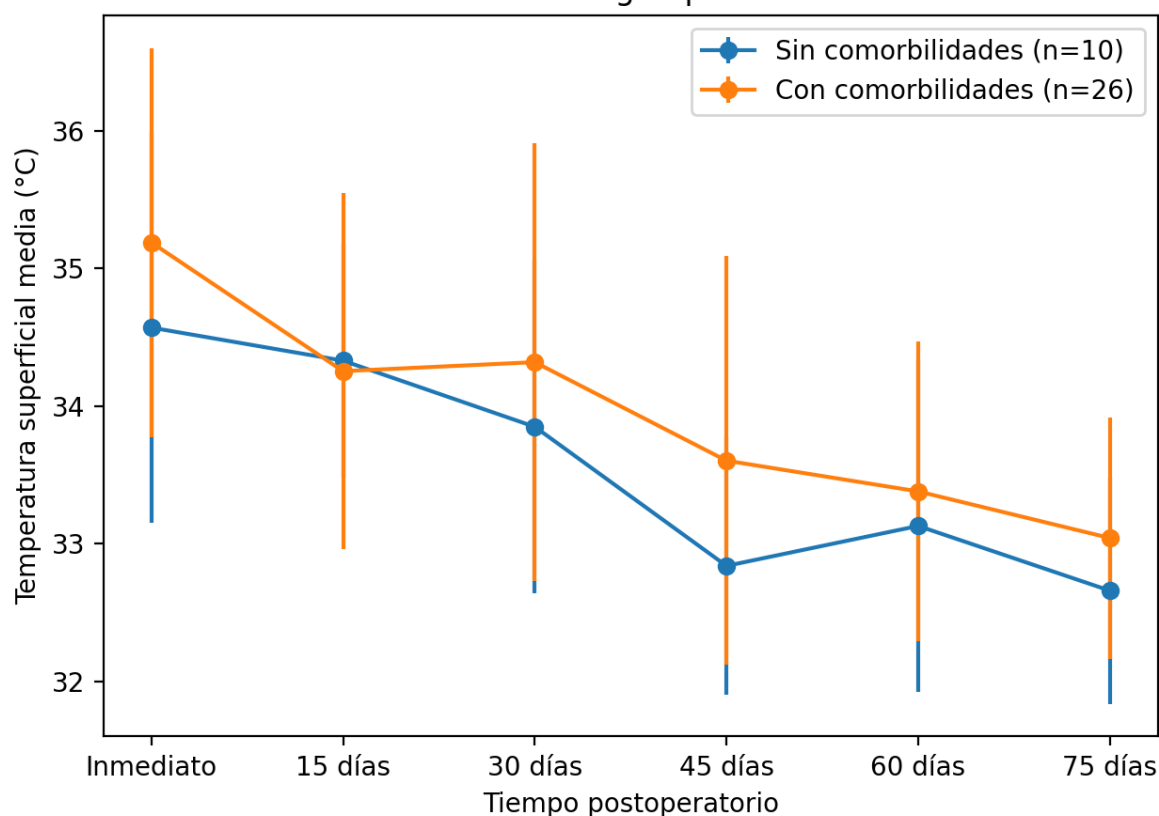
La gráfica de líneas muestra la evolución de la temperatura superficial media de la rodilla intervenida a lo largo del seguimiento postoperatorio. Se observa un valor térmico mayor en el periodo inmediato posterior a la cirugía, seguido de una disminución progresiva conforme avanza el tiempo. Este comportamiento sugiere la resolución gradual del proceso inflamatorio postoperatorio, lo cual es consistente con la fisiopatología normal posterior a una artroplastia total de rodilla.

La presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tiempos de medición respalda que los cambios térmicos observados no son aleatorios, sino que siguen un patrón temporal definido.

**La termografía permite visualizar objetivamente la evolución de la inflamación postoperatoria.**

Figura 7. Gráfica con el promedio de evolución de temperatura superficial de la rodilla intervenida.

Evolución térmica según presencia de comorbilidades



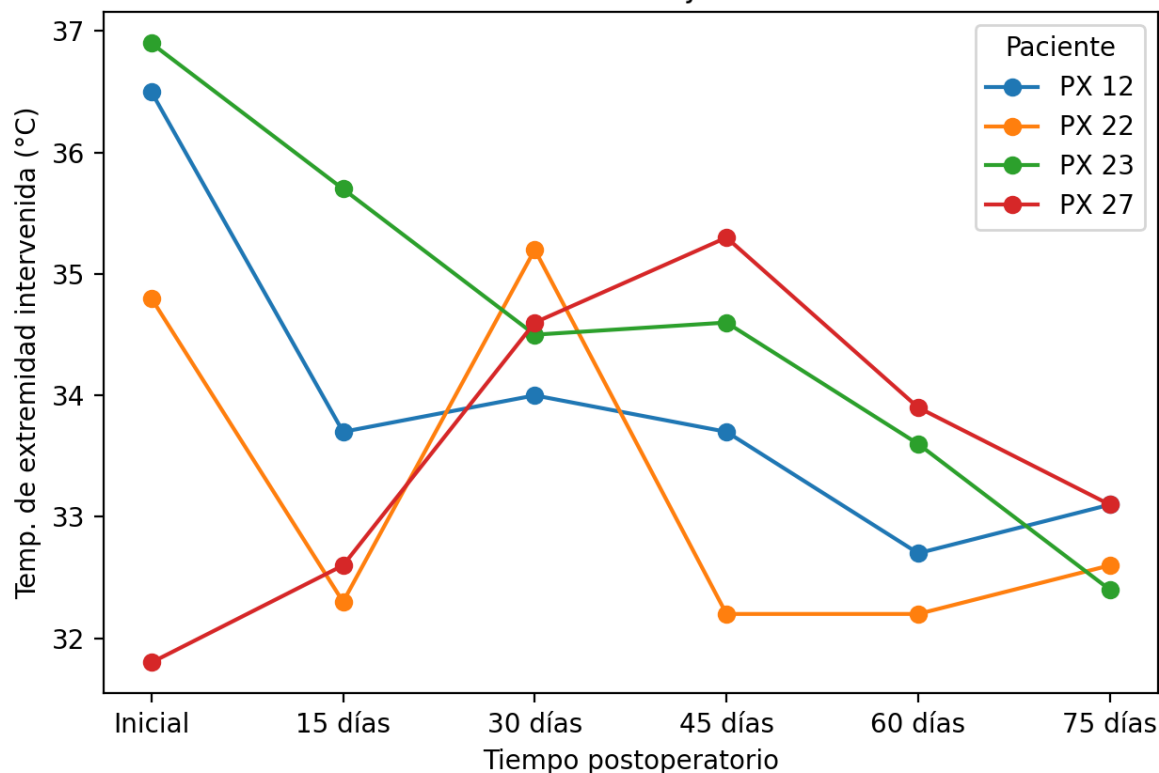
FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

Se comparó la temperatura superficial media ( $\pm$  desviación estándar) en pacientes sin comorbilidades (n=10) y con comorbilidades (n=26) a lo largo del seguimiento postoperatorio (inmediato, 15, 30, 45, 60 y 75 días).

En la gráfica se observa que los pacientes **sin comorbilidades** presentan una **tendencia más marcada a la disminución de la temperatura superficial** de la rodilla a lo largo del seguimiento postoperatorio, en comparación con los pacientes **con comorbilidades**, quienes muestran valores térmicos más elevados y una reducción más gradual en el tiempo.

Figura 8. Gráfica con el promedio de evolución de temperatura según la presencia de comorbilidades.

### Evolución de la temperatura de la extremidad intervenida Pacientes con manejo antibiótico



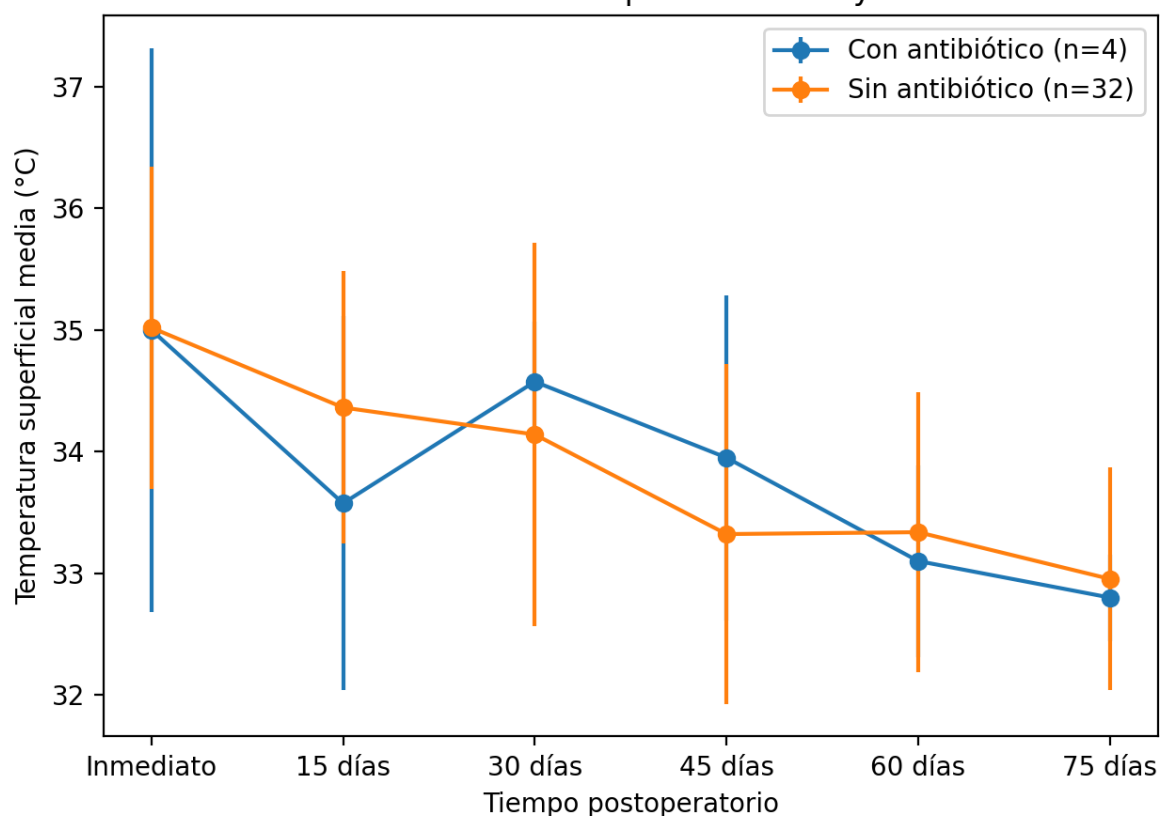
FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

*Se muestra la evolución de la temperatura superficial de la extremidad intervenida en los pacientes PX 12, PX 22, PX 23 y PX 27 a lo largo del seguimiento postoperatorio.*

- 4 pacientes con manejo antibiótico sistémico (adicional) por molestia clínica:
  - Px 12 (H, RI): Clindamicina en 3a foto (1 mes), antecedente de HAS: temperatura final de rodilla intervenida **bajó 3.4°C** en comparación con medición inicial
  - Px 22 (M, RI): Levofloxacino en 5a foto (2 meses), antecedente de AR y Fibromialgia: temperatura final de rodilla intervenida **bajó 2.2 °C** en comparación con medición inicial
  - Px 23 (M, RI): Clindamicina en 4a foto (1.5 meses), antecedente de DM2: temperatura final de rodilla intervenida **bajó 4.5 °C** en comparación con medición inicial
  - Px 27 (H, RD): Dicloxacilina en 2a foto (0.5 meses), Clindamicina + Ceftriaxona para 3a foto (1 mes): por IVU, antecedente de HAS y Arritmia no especificada: temperatura final de rodilla intervenida **subió 1.3 °C** en comparación con medición inicial
- 1 paciente sulfadiazina de plata por dehiscencia de herida:
  - Px 10 (M, RI) en 6a foto (2.5 meses), antecedente de HAS: temperatura final de rodilla intervenida **bajó 0.6 °C** en comparación con medición inicial

Figura 9. Gráfica que muestra el patrón de temperatura en pacientes que recibieron manejo antibiótico adicional durante el seguimiento.

### Evolución térmica: pacientes con y sin antibiótico

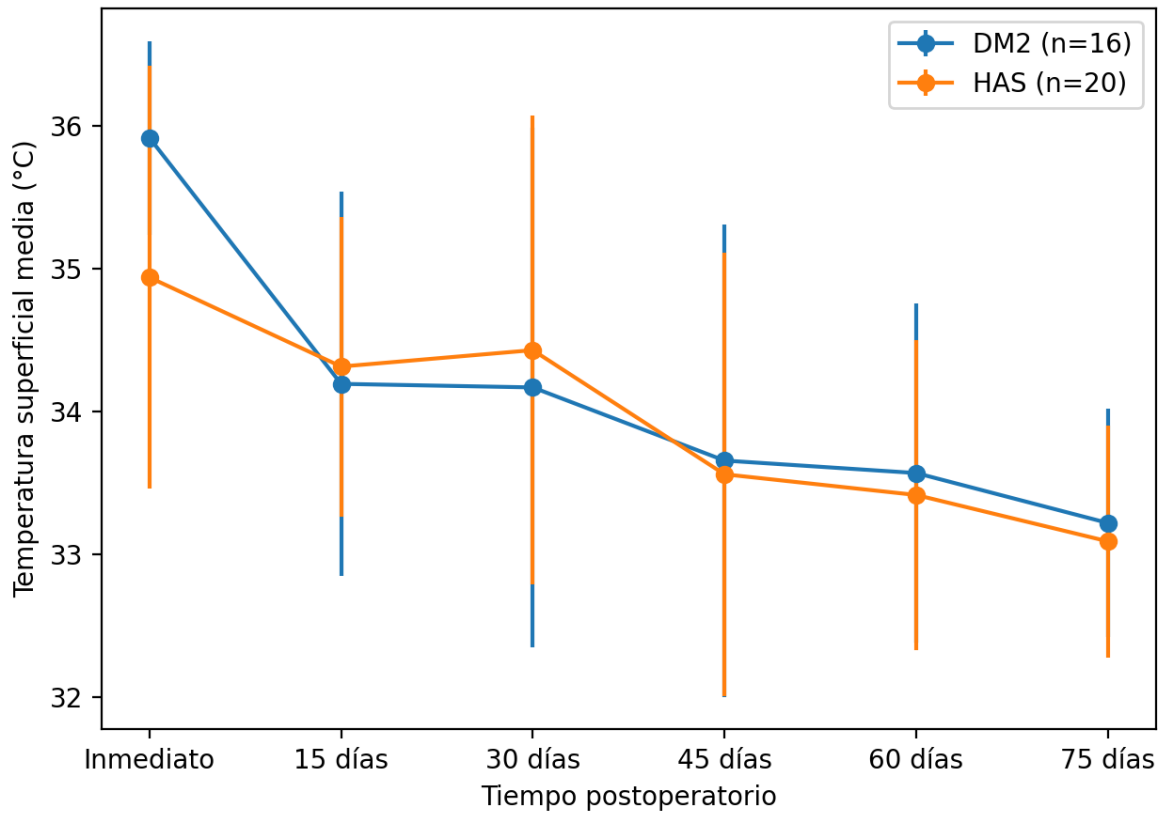


FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

*Se comparó la temperatura superficial media ( $\pm$  desviación estándar) entre pacientes que recibieron manejo antibiótico y aquellos que no lo recibieron durante el seguimiento postoperatorio.*

Figura 10. Gráfica comparativa del patrón de temperatura en pacientes con y sin comórbidos.

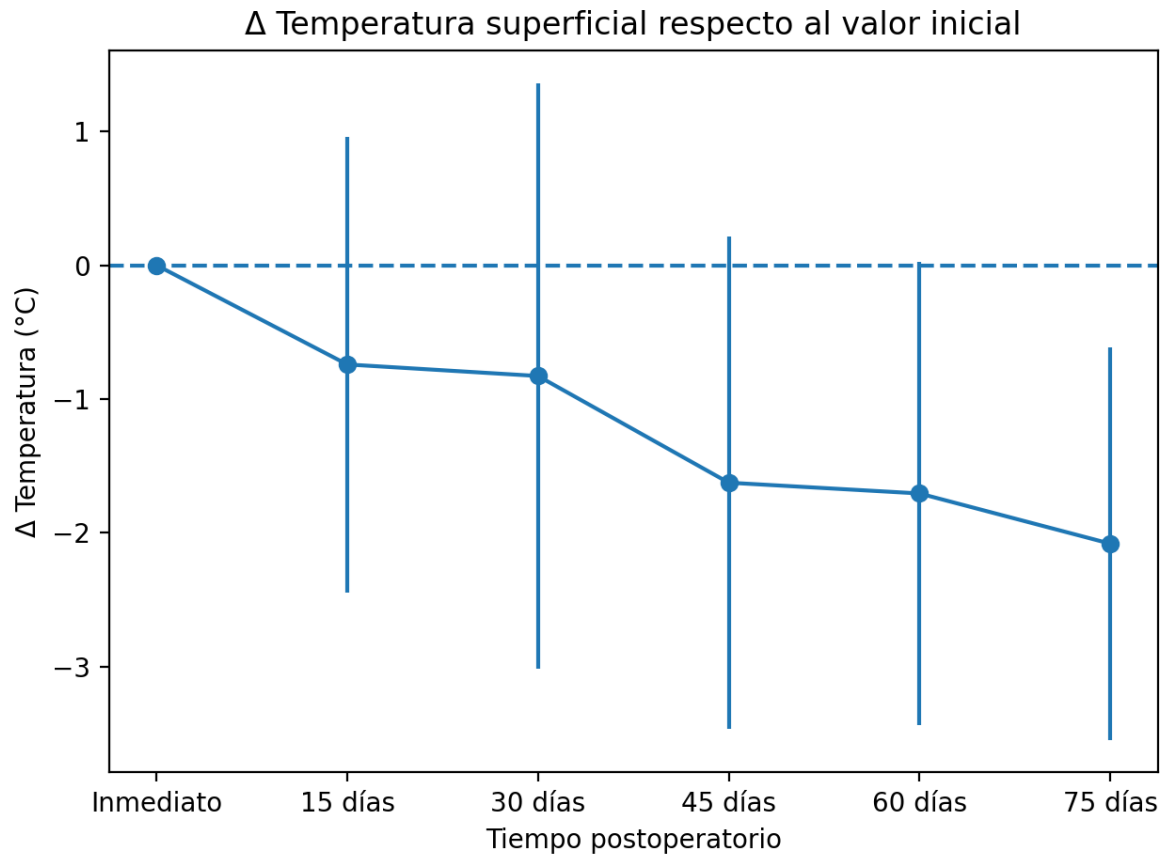
Evolución térmica en pacientes con DM2 y HAS



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

*Se compara la temperatura superficial media ( $\pm$  desviación estándar) entre pacientes con DM2 y HAS a lo largo del seguimiento postoperatorio.*

Figura 11. Gráfica que muestra la evolución térmica en pacientes con Diabetes mellitus tipo 2 e Hipertensión Arterial Sistémica.



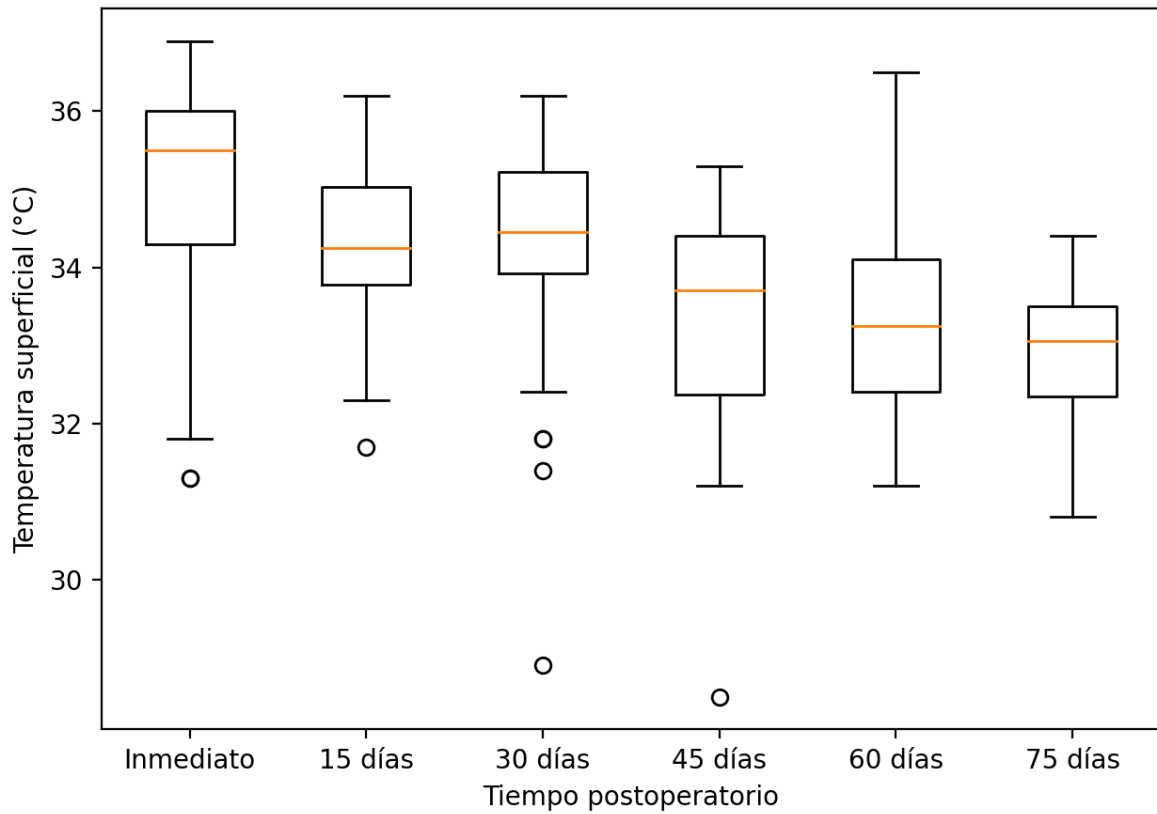
FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

$\Delta T = T_{\text{seguimiento}} - T_{\text{inicial}}$

Se observa una disminución progresiva de la temperatura superficial respecto al valor inicial a lo largo del seguimiento postoperatorio.

Figura 12. Gráfica que muestra el delta de temperatura comparado con la evolución térmica.

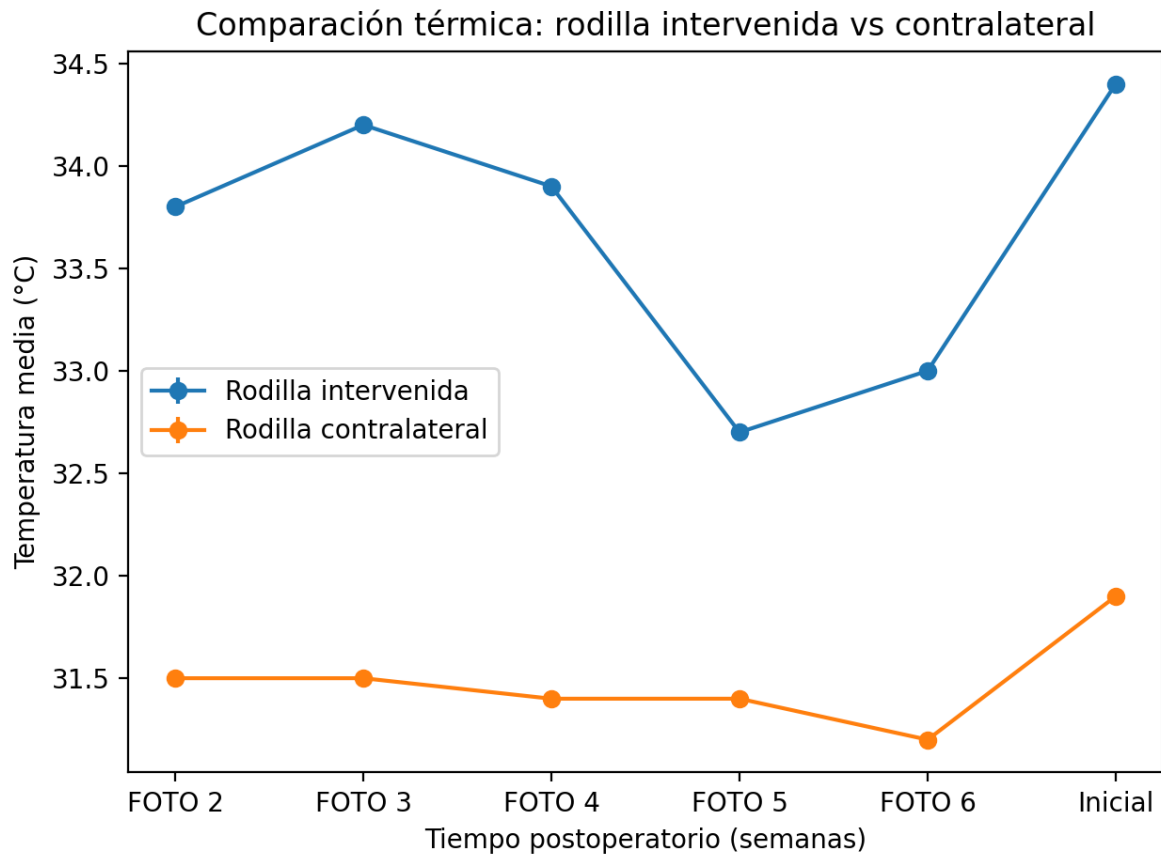
Distribución de la temperatura superficial por tiempo postoperatorio



FUENTE: n=36 Berruoco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

*Los diagramas de caja muestran una disminución progresiva de la temperatura y una reducción de la dispersión conforme avanza el seguimiento postoperatorio.*

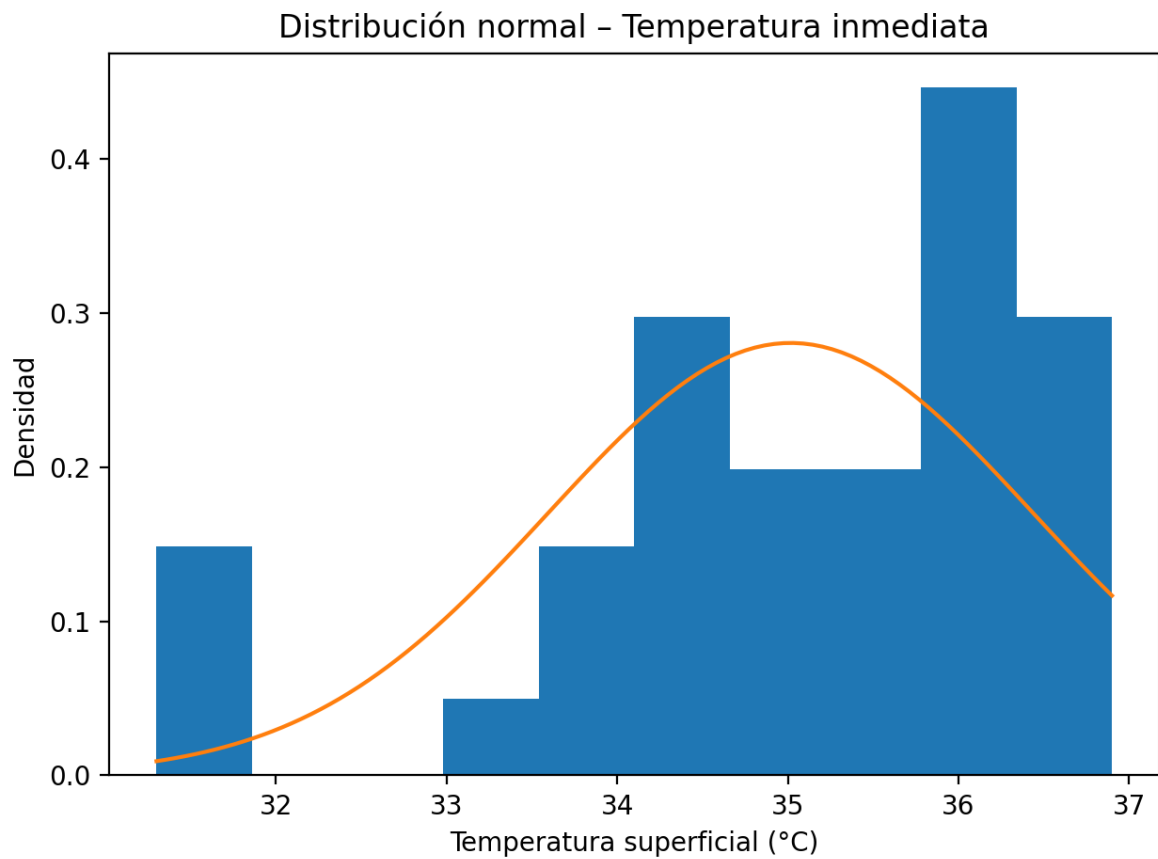
Figura 13. Diagrama de cajas (Boxplot) con las temperaturas superficiales de las rodillas intervenidas en los pacientes participantes.



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

Se comparan los promedios de temperatura ( $\pm$  desviación estándar) de la extremidad intervenida y la extremidad contralateral a lo largo del seguimiento postoperatorio.

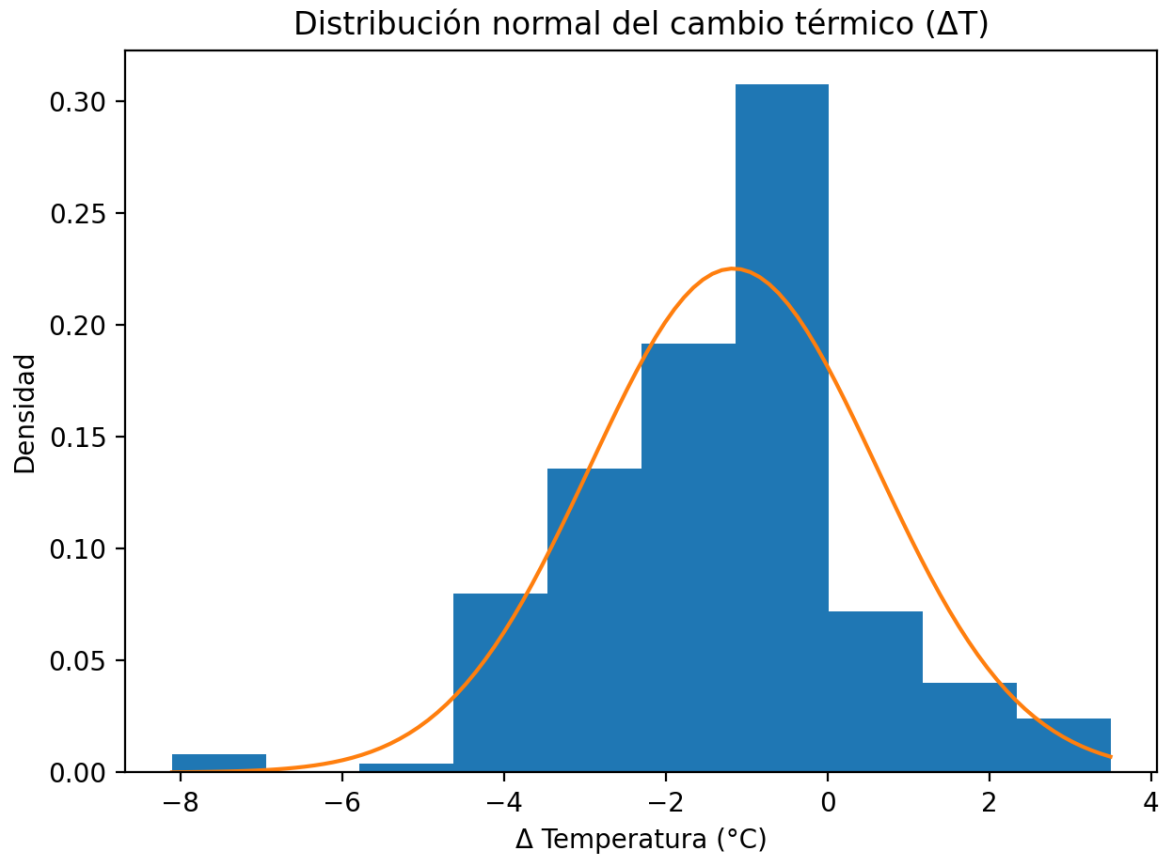
Figura 14. Gráfica comparativa de la evolución térmica entre la rodilla intervenida y la rodilla contralateral.



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

La distribución de la temperatura superficial mostró una aproximación a la normalidad, evaluada mediante histogramas con curva normal.

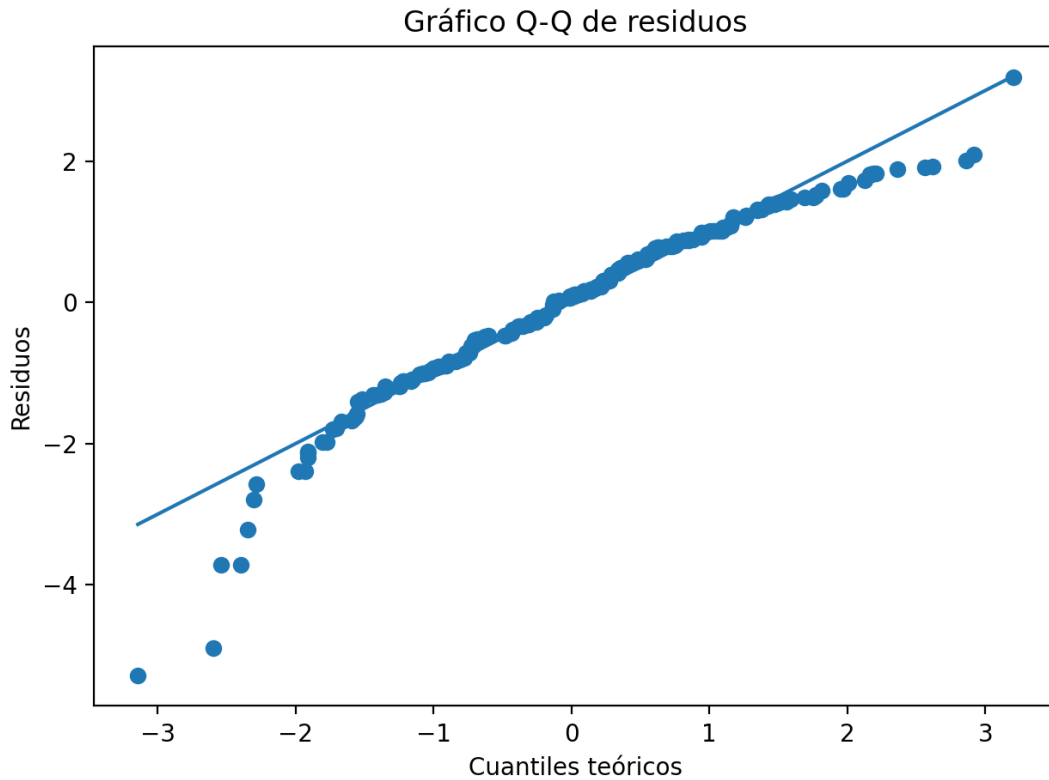
Figura 15. Distribución Normal de la Temperatura Inmediata.



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

El cambio térmico respecto al valor inicial mostró una distribución aproximadamente normal, lo que facilitó la interpretación de la evolución inflamatoria.

Figura 16. Distribución Normal de la Diferencia de temperaturas.



FUENTE: n=36 Berrueco-R O, García-R GC, Vigna-P R, Gomez-G F. Identificación no invasiva de la inflamación postoperatoria mediante termografía infrarroja en artroplastia total de rodilla.

La normalidad de los residuos fue evaluada mediante gráficos Q–Q, observándose una adecuada aproximación a la distribución normal.

Figura 17. Gráfica Q-Q de los residuos (diferencia entre lo que se observa y lo que el modelo espera).

Cuadro 2. Tabla resumen de hallazgos clave

| <b>Comparación</b>               | <b>Hallazgo principal</b>                      |
|----------------------------------|--|
| <i>Global</i>                    | <i>Descenso progresivo</i>                     |
| <i>Sin vs con comorbilidades</i> | <i>Resolución más lenta con comorbilidades</i> |
| <i>Antibiótico</i>               | <i>Mayor variabilidad térmica</i>              |
| <i>DM2 vs HAS</i>                | <i>DM2 con temperaturas más altas</i>          |

## **XVII DISCUSIÓN**

*La artroplastia total de rodilla se asocia a un proceso inflamatorio postoperatorio esperado, cuya evolución puede verse modificada por múltiples factores clínicos. En este estudio, la termografía infrarroja permitió evaluar de manera no invasiva la evolución térmica de la rodilla intervenida, ofreciendo información objetiva sobre el comportamiento inflamatorio durante el seguimiento postoperatorio.*

*Los resultados muestran una **disminución progresiva de la temperatura superficial** a lo largo del tiempo en la población estudiada, lo cual concuerda con la resolución fisiológica del proceso inflamatorio posterior al procedimiento quirúrgico. Este hallazgo respalda la utilidad de la termografía infrarroja como una herramienta complementaria para el seguimiento postoperatorio, al reflejar cambios térmicos consistentes con la evolución clínica esperada.*

*Al analizar la influencia de las comorbilidades, se observó que los pacientes **sin comorbilidades** presentaron un **descenso térmico más temprano y sostenido**, mientras que aquellos **con comorbilidades** mostraron valores térmicos más elevados y una reducción más gradual. Este comportamiento sugiere que la presencia de enfermedades crónicas podría influir en la persistencia del proceso inflamatorio, posiblemente relacionada con alteraciones metabólicas y vasculares previamente descritas en la literatura.*

*De manera particular, los pacientes que requirieron **manejo antibiótico** durante el seguimiento presentaron una **mayor variabilidad térmica**, tanto en el análisis individual como en la comparación grupal con aquellos que no recibieron antibióticos. La persistencia de temperaturas más elevadas o fluctuantes en este subgrupo podría reflejar una respuesta inflamatoria más prolongada, lo que resalta el valor de la termografía para identificar patrones atípicos en la evolución postoperatoria.*

*Asimismo, la comparación entre pacientes con **diabetes mellitus tipo 2** e hipertensión **arterial sistémica** evidenció que los pacientes con DM2 tendieron a presentar valores térmicos más elevados y mayor dispersión a lo largo del seguimiento. Este hallazgo es clínicamente relevante, ya que la diabetes se asocia a alteraciones microvasculares y procesos inflamatorios crónicos que podrían retrasar la resolución inflamatoria postoperatoria.*

*El análisis del cambio térmico relativo al valor inicial ( $\Delta T$ ) permitió visualizar de forma más clara la tendencia a la normalización térmica, reduciendo la variabilidad interindividual. De igual manera, los diagramas de caja mostraron una **disminución progresiva** tanto de la temperatura como de la dispersión de los valores conforme avanzó el seguimiento, reforzando los hallazgos obtenidos mediante el análisis estadístico.*

- Comparación con la literatura

Los resultados obtenidos son congruentes con lo reportado en estudios previos que han descrito incrementos térmicos postoperatorios medibles mediante termografía infrarroja en procedimientos ortopédicos mayores, particularmente en cirugía de rodilla.

Diversos autores han señalado que la termografía permite identificar cambios térmicos asociados a inflamación, hiperemia y procesos infecciosos, lo que refuerza el potencial de

esta técnica como método complementario en el seguimiento postoperatorio. En este sentido, los hallazgos del presente estudio apoyan la evidencia existente respecto al uso de la termografía como herramienta de monitoreo clínico objetivo.

- Implicaciones clínicas

El uso de la termografía infrarroja ofrece múltiples ventajas en el seguimiento postoperatorio de la artroplastía total de rodilla, al tratarse de un método:

- No invasivo
- Indoloro
- Libre de radiación
- Repetible en múltiples ocasiones

La identificación de un **patrón térmico postoperatorio esperado** podría permitir, en estudios futuros, **detectar desviaciones tempranas** asociadas a complicaciones como infección, hematoma o inflamación persistente, facilitando una **intervención oportuna**.

- Fortalezas del estudio

Entre las principales fortalezas del presente estudio se encuentran:

- El diseño **prospectivo** y **longitudinal**.
- La utilización de **medidas repetidas en los mismos sujetos**, lo que reduce la variabilidad interindividual.
- El empleo de una técnica **objetiva y no invasiva** para la medición de la inflamación postoperatoria.

## XVIII LIMITACIONES Y/O NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

*Entre las limitaciones del estudio se encuentra el tamaño de muestra reducido y el diseño observacional, lo que impide establecer relaciones causales. Sin embargo, los resultados obtenidos permiten generar hipótesis y respaldan la utilidad de la termografía infrarroja como una herramienta accesible, reproducible y no invasiva para el seguimiento postoperatorio en pacientes sometidos a artroplastía total de rodilla.*

- Líneas futuras de investigación

A partir de los resultados obtenidos, se sugiere:

- Ampliar el tamaño de la muestra.
  - Evaluar la utilidad de la termografía en la **detección temprana de complicaciones postoperatorias**.
  - Correlacionar los hallazgos térmicos con escalas clínicas, dolor o marcadores inflamatorios.
- Cierre

Los resultados del presente estudio sugieren que la **termografía infrarroja es una herramienta útil para la identificación y seguimiento del patrón inflamatorio postoperatorio** en pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla, representando una alternativa prometedora para el monitoreo clínico no invasivo.

## XIX CONCLUSIONES

1. *En el presente estudio se identificó un **patrón de variación de la temperatura superficial** de la rodilla intervenida a lo largo del periodo postoperatorio en pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla.*
2. *La **termografía infrarroja permitió detectar cambios térmicos significativos** en distintos momentos del seguimiento postoperatorio, lo que sugiere su utilidad como herramienta objetiva para la evaluación de la inflamación postquirúrgica.*
3. *El análisis estadístico mediante **ANOVA de medidas repetidas** mostró diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tiempos de evaluación, confirmando la existencia de cambios térmicos a lo largo del seguimiento.*
4. *Se observó una **tendencia progresiva a la disminución de la temperatura superficial** conforme avanzó el tiempo postoperatorio, compatible con el proceso fisiológico de resolución de la inflamación posterior al procedimiento quirúrgico.*
5. Los pacientes **sin comorbilidades** presentaron una **resolución térmica más temprana y sostenida**, en comparación con aquellos que presentaban alguna comorbilidad.

6. Los pacientes que requirieron **manejo antibiótico** mostraron una **mayor variabilidad térmica y temperaturas persistentemente elevadas**, lo que sugiere una respuesta inflamatoria más prolongada.
7. La comparación entre pacientes con **diabetes mellitus tipo 2** e hipertensión **arterial sistémica** mostró que los pacientes con DM2 tendieron a presentar valores térmicos más elevados durante el seguimiento postoperatorio.
8. El análisis del **cambio térmico relativo al valor inicial ( $\Delta T$ )** facilitó la visualización del patrón de resolución inflamatoria, reduciendo la variabilidad interindividual.
9. La termografía infrarroja se perfila como una **herramienta complementaria útil** para el seguimiento postoperatorio, con potencial para apoyar la detección temprana de patrones de evolución inflamatoria atípicos.

## **XX BIBLIOGRAFÍA:**

1. Muñoz I, Lima MG, López EP, Lizcano AR. Artroplastia total de rodilla: grado de funcionalidad postoperatoria en adultos. *Acta Ortop Mex*. [Internet] 2024 [citado 2025 Jun 15]; 38(6):365-369. "doi:10.35366/118287".
2. Brito CJ, Miarka B, García T, Valenzuela DI, Bouzas JC, Sillero M. Osteoarthritis subjects have differentiated lower extremity thermal skin response after the concurrent acute training session. *J Therm Anal Calorim* [Internet]. 2020 [citado 2025 Jun 15]; Aug;141(5):1961–1971. "doi:10.1007/s10973-020-09827-0".
3. Palestino M, Rosenthal J, Valles JF, Rodríguez F, Olguín M, Zapata S. Artroplastía total de rodilla navegada: una técnica quirúrgica alternativa para pacientes con gonartrosis en México. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2024 [citado 2025 Jun 15]; 38(4):267-272. "doi:10.35366/116314".
4. Li KY, Fu H, Cheung MH, Cheung A, Chan WK, Chan PK, Chiu KY. Swelling assessment after total knee arthroplasty. *J Orthop Surg (Hong Kong)* [Internet]. 2022 [citado 2025 Jun 15]; 30(3):1-10. "doi:10.1177/10225536221127668".
5. Xu S, Chen JY, Lo NN, Chia SL, Tay DKJ, Pang HN, Hao Y, Yeo SJ. The influence of obesity on functional outcome and quality of life after total knee arthroplasty: a ten-year follow-up study. *Bone Joint J* [Internet]. 2018 [citado 2025 Jun 15], May;100-B(5):579-583. "doi:10.1302/0301-620X.100B5.BJJ-2017-1263.R1".
6. Carrasco V, Fernández JP, Hernández MA, Bonilla RA. Resultados y complicaciones de la artroplastia de rodilla en pacientes con obesidad. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* [Internet]. 2023 [citado 2025 Jun 15]; 61 Supl 2:S103-8.
7. Hernández CH, Martínez O, Blanco P, Villalobos CA, Valencia G. Impacto del programa "Enhanced Recovery After Surgery" en artroplastía de rodilla a nivel institucional. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2023 [citado 2025 Jun 15]; 37(1):14-18. "doi:10.35366/112808".
8. Niu RH, Hou XF, Chang F, Wang R, Qu ZH, Gou PG. A reassessment of existing systematic reviews evaluating the effectiveness of cryotherapy in patients following total knee arthroplasty. *Ann Med* [Internet]. 2025 [citado 2025 Jun 15]; 57(1):2512432. "doi:10.1080/07853890.2025.2512432".
9. Yang L, Wu B, Wang C, Li H, Bian W, Ruan H. Indicators and medical tests to identify lower limb swelling causes after total knee arthroplasty: a Delphi study with multidisciplinary experts. *J Orthop Surg Res* [Internet]. 2023 [citado 2025 Jun 15]; 18:573. "doi:10.1186/s13018-023-03980-6".
10. Gao FQ, Li ZJ, Zhang K, Liu YQ, Tian H, Liu Y, Liu ZJ. Impact factors for hidden blood loss after primary total knee arthroplasty. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* [Internet]. 2011 May 1 [citado 2025 Jun 15]; 49(5):419-23. PMID: 21733398. Disponible de: <https://rs.yiigle.com/cmaid/2606>
11. Yang L, Li HW, Zhai ZJ, Wang CF, Wu BY, Zhou J, Bian WW, Ruan H. How to monitor and discriminate the causes of lower limb swelling during home-based rehabilitation after total knee arthroplasty? A Delphi study. *Arthroplasty* [Internet]. 2025 [citado 2025 Jun 15]; 7(3):3. "doi:10.1186/s42836-024-00285-9".
12. Marins JCB, Fernández I, Ribot J, García MA, Gómez P, Sillero M. Thermal response of the skin temperature on muscle and joint body areas after strength training by infrared thermography. *Thermol Int* [Internet]. 2012 [citado 2025 Jun 15]; 22(3):118-125. Disponible de:

- <https://www.researchgate.net/publication/255720699> Thermal response of the skin temperature on muscle and joint body areas after strength training by infrared thermography
13. Castillo A. ¿Cómo puede ayudarte la termografía infrarroja? [Internet]. ThermoHuman; 2020 Nov 25 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2020/11/25/como-puede-ayudarte-la-termografia-infrarroja>
  14. Fernández I, Bouzas JC, Arnáiz J, Gómez PM, Piñonosa S, García MÁ, Sillero M. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. Infrared Phys Technol [Internet]. 2015 [citado 2025 Jun 15]; 71:28-55. “doi:10.1016/j.infrared.2015.02.007”.
  15. Ceniza J. Tendinopatías y termografía [Internet]. ThermoHuman; 2024 Jun 12 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2024/06/11/tendinopatias-y-termografia>
  16. Escamilla V. El seguimiento de las lesiones desde una perspectiva termográfica [Internet]. ThermoHuman; 2023 Mar 1 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2023/02/28/el-seguimiento-de-las-lesiones-desde-una-perspectiva-termografica>
  17. Escamilla V. Lesión de menisco y termografía: caso clínico en jugador profesional de fútbol [Internet]. ThermoHuman; 2023 Feb 6 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2023/02/06/lesion-de-menisco-y-termografia-caso-clinico-en-jugador-profesional-de-futbol-tiempo-de-lectura-6-minutos>
  18. del Estal A. La fractura compleja: caso clínico de termografía [Internet]. ThermoHuman; 2022 Mar 2 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2022/03/02/la-fractura-compleja-caso-clinico-de-termografia>
  19. Ceniza J. Termografía y tendinopatía rotuliana [Internet]. ThermoHuman; 2024 Jul 16 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2024/07/16/termografia-y-tendinopatía-rotuliana>
  20. Escamilla V. Termografía y publicaciones científicas. Temas de referencia y su aplicación de humanos [Internet]. ThermoHuman; 2023 Jul 5 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2023/07/04/termografia-y-publicaciones-cientificas-temas-de-referencia-y-su-aplicacion-de-humanos>
  21. Castillo A. Termografía infrarroja. Lo que el ojo humano no puede ver [Internet]. ThermoHuman; 2020 Apr 11 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2020/04/10/termografia-infrarroja-lo-que-el-ojo-humano-no-puede-ver>
  22. Becerra HK, Castillo MC, Wilches JH. Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología. Rev Cub Med Militar [Internet]. 2022 [citado 2025 Jun 16]; Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Disponible de: <https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/1593/1116>
  23. Scarafoni E. Revisión sistemática sobre el uso de termografía en la evaluación de colgajos de perforantes. Cir Plást Ibero-Latinoam [Internet]. 2021 [citado 2025 Jun 16]; Oct-Dec;47(4):411-424. “doi:10.4321/S0376-78922021000400012”.
  24. Escamilla V. La gráfica de evolución de la lesión de ligamento cruzado anterior [Internet]. ThermoHuman; 2023 Aug 23 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de:

- <https://thermohuman.com/es/2023/08/22/la-grafica-de-evolucion-de-la-lesion-de-ligamento-cruzado-anterior>
25. Gómez JM. Termografía infrarroja: aplicación clínica en osteopatía [Internet]. ThermoHuman; 2025 Jun 9 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2025/06/09/termografia-infrarroja-aplicacion-clinica-en-osteopatia>
  26. Trejo Chávez OC. Sensor inteligente basado en termografía infrarroja para evaluación y clasificación de lesiones en rodilla [Tesis Doctoral en Internet]. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería; 2024 [citado 2025 Jun 16]. Disponible de: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/10971>
  27. Windisch C., Brodt S., Roehner E., Matziolis, G. . Regional differences in temperature course after knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2016 [citado 2025 Jun 16]; 24(8), 2686–2691. “doi: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3809-z>”
  28. Romanò C, Romanò D, Dell’Oro F, Iogoluso, N, Drago. . Healing of surgical site after total hip and knee replacements show similar telethermographic patterns. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* [Internet]. 2011 [citado 2025 Jun 16]; 12(2), 81–86. “doi: <https://doi.org/10.1007/s10195-011-0135-1>”
  29. Del Estal A, Escamilla V, Sillero M, Fernández I. Thermal and girth assessment after total knee replacement [Internet]. Madrid (Spain): INEF-UPM, Universidad Politécnica de Madrid; 2020. [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: [https://www.researchgate.net/publication/347942975\\_Thermal\\_and\\_girth\\_assessment\\_after\\_total\\_knee\\_replacement](https://www.researchgate.net/publication/347942975_Thermal_and_girth_assessment_after_total_knee_replacement)
  30. del Estal A. 7 errores frecuentes en la toma de datos de termografía [Internet]. ThermoHuman; 2021 Jun 10 [citado 2025 Jun 14]. Disponible de: <https://thermohuman.com/es/2021/06/10/7-errores-frecuentes-en-toma-datos-termografia>
  31. Asociación Médica Mundial. WMA - The World Medical Association-Declaración de Helsinki de la AMM – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos [Internet]. 2019 [citado 2025 Jun 16]. Disponible de: <https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
  32. Ley General de Salud [Internet]. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión; 1984 Feb. [citado 2025 Jun 16] Disponible de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGS.pdf>
  33. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SSA3-2012, Del expediente clínico. [Internet]. [Dof.gob.mx](http://Dof.gob.mx). 2012. [citado 2025 Jun 16], Disponible de: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5272787](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5272787)

## ANEXO 1. CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.



**INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL**  
**UNIDAD DE EDUCACIÓN, INVESTIGACIÓN**  
**Y POLÍTICAS DE SALUD**  
**COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN EN SALUD**  
**Carta de consentimiento informado para participación en**  
**protocolos de investigación (adultos)**

|   |   |
|---|---|
| Nombre del estudio:   | “IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA”  |
| Lugar y fecha:  | Benigno Arriaga s/n, Tequisquiapan, 78250 San Luis Potosí, S.L.P al día __ del mes __ del año 2025  |
| Número de registro institucional:                             | En proceso  |
| Justificación y objetivo del estudio:                         | <p>La Gonartrosis (desgaste de rodilla) se encuentra dentro de las 10 enfermedades más frecuentes a nivel mundial, repercutiendo en la calidad de vida de los pacientes. En México, es causa de uno de los principales motivos de consulta de ortopedia en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).</p> <p>El tratamiento definitivo se realiza con una Prótesis de Rodilla, una cirugía mayor, la cual que como cualquier otra puede ser susceptible de desarrollar complicaciones, incluida una infección, la cual en caso de ser identificada de forma temprana es más probable de tratar y mejorar el pronóstico y calidad de vida del paciente.</p> <p>Por lo cual la <b>termografía</b> (fotografía para detectar cambio de temperatura) ofrece ser una potencial herramienta (que no produce ninguna molestia física al paciente) útil para tal motivo.</p> |
| Procedimientos:   | <p>Se me han informados los procedimientos que se llevarán a cabo:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Uno o dos días después de realizada la cirugía, se tomará mi primera fotografía térmica en el hospital, previo a mi Alta a domicilio.</li><li>• Se me ha pedido acudir cada 15 días al hospital para la toma de las demás fotografías (haciendo uso de ropa cómoda).</li><li>• Tras 10 minutos de reposo (como mínimo) se me pedirá descubrir mis rodillas y ponerme de pie frente al investigador, para la toma de la fotografía.</li><li>• Cualquier duda que tenga será aclarada y valorada durante la visita.</li></ul>  |
| Posibles riesgos y molestias:                                 | <p>Se me ha informado que:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- La principal molestia del estudio es el tiempo que implica su realización, el cual será de 15 minutos en el hospital, más</li><li>- Tiempo y costo de traslado al HOSPITAL GENERAL DE ZONA MF 2 “Francisco Padrón Puyou”</li><li>- Posibilidad de dolor ligero por la manipulación de mi rodilla e incluso un poco de pudor</li></ul>  |
| Posibles beneficios que recibirá al participar en el estudio: | Se me ha informado que el beneficio principal es detectar de manera temprana de un posible proceso infeccioso en la rodilla operada, para poder dar tratamiento oportuno y evitar complicaciones futuras. Así como un seguimiento más estrecho después de mi cirugía.   |
| Información sobre resultados y alternativas de tratamiento:   | En caso de encontrar algún dato de enfermedad, se me informará inmediatamente y se me dará tratamiento (medicamento antibiótico, antiinflamatorio y analgesico) oportuno en ese momento.  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Participación o retiro:       | Se me ha informado que soy libre de aceptar o rechazar la invitación a ser parte de este estudio.<br>En caso de Aceptar podré retirarme en el momento que yo lo decida sin ninguna repercusión. |
| Privacidad y confidencialidad | Se me ha informado que mis datos serán resguardados con confidencialidad y únicamente se utilizarán, con fines de divulgación científica.   |

**Declaración de consentimiento:**

Después de haber leído y habiéndoselo explicado todas mis dudas acerca de este estudio:

- No acepto participar en el estudio.
- Si acepto participar y que se tome la fotografía solo para este estudio.
- Si acepto participar y que se tome la fotografía para este estudio y estudios futuros, conservando las fotografías hasta por \_\_\_ 1 \_\_\_ año tras lo cual se eliminará la misma.

En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con el estudio podrá dirigirse a:

Investigadora o Investigador Responsable: Oscar Berruero Rodríguez: [dr.oscarberruero@gmail.com](mailto:dr.oscarberruero@gmail.com) 554-035-9796

Colaboradores: Dr. Gerardo Clemente García Ruiz: [drgerardogarciariv@botmail.com](mailto:drgerardogarciariv@botmail.com) 444-581-2628

DR. GERARDO CLEMENTE GARCIA RUIZ  
ASESOR TEÓRICO

Dra. Erika Alejandra [arequesens@imss.gob.com](mailto:arequesens@imss.gob.com) 444-581-2628

En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a: Comité Local de Ética de Investigación en Salud del CNIC del IMSS: Avenida Cuauhtémoc 330 4º piso Bloque "B" de la Unidad de Congresos, Colonia Doctores, México, D.F., CP 06720. Teléfono (55) 56 27 69 00 extensión 21230, correo electrónico: [comité\\_eticaivs@imss.gob.mx](mailto:comité_eticaivs@imss.gob.mx)

Nombre y firma del participante

Testigo 1

Nombre, dirección, relación y firma

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

Testigo 2

Nombre, dirección, relación y firma

Este formato constituye una guía que deberá completarse de acuerdo con las características propias de cada protocolo de investigación, sin omitir información relevante del estudio.

Clave: 2810-009-013

## ANEXO 2. CARTA DE CONFIDENCIALIDAD

Carta de confidencialidad

INTEGRANTES DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN  
Instituto Mexicano del Seguro Social.

### PRESENTES:

Por la presente, nos comprometemos a mantener la confidencialidad de toda la información relacionada con el protocolo de investigación titulado "IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA".

Entiendo que durante el desarrollo de esta investigación, accederemos a información sensible y personal de los participantes, así como a datos y resultados que son propiedad del Instituto Mexicano del Seguro Social. Me comprometo a no divulgar ni utilizar esta información para fines distintos a los relacionados con el estudio y conforme a los lineamientos establecidos por el protocolo.

Reconozco que la protección de la privacidad de los participantes es fundamental y me comprometo a cumplir con las normativas éticas y legales aplicables.

Asimismo, entiendo que cualquier divulgación no autorizada de esta información puede tener consecuencias legales y éticas. Por lo tanto, me comprometo a tomar las medidas adecuadas para asegurar que la información confidencial permanezca protegida y a limitar su acceso únicamente a aquellos que estén debidamente autorizados.


Nombre y firma de tutor:

  
DR. GERADO CLEMENTE GARCIA RUIZ  
ASESOR TEÓRICO



  
DRA. ERIKA ALEJANDRA REQUESENS BERRUETA  
ASESOR METODOLÓGICO

  
DR. OSCAR BERRUETO RODRÍGUEZ  
MÉDICO RESIDENTE DE ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGIA

ANEXO 3. CARTA DE NO INCONVENIENCIA

|   |
|---|
|  <b>INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL</b><br>SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL |
|---|

|   |
|---|
| <p style="text-align: center;"><br/>Hospital General de Zona C/MF No. 2<br/>"Dr. Francisco Padrón Puyou"</p> <p style="text-align: right;">San Luis Potosí, S. L. P. a 20 de junio del 2025</p> <p><u>Dr. Gerardo Clemente García Ruiz</u><br/>Presente</p> <p>En mi carácter de Director General del Hospital General de Zona C/MF No. 2 " Dr. Francisco Padrón Puyou", declaro que no tengo inconveniente en que se lleve a cabo en esta Unidad, el protocolo de investigación con título "IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA", en caso de que sea aprobado por el Comité Local de Investigación en Salud y el Comité de Ética en Investigación.</p> <p>Usted será el responsable de la información que sea necesaria para la investigación y esté contenida en el expediente clínico y/o base de datos disponible, así como de conducir la investigación de acuerdo con lo establecido en el protocolo de investigación aprobado, garantizando el bienestar de los derechohabientes que participan en el estudio.</p> <p>Sin otro particular, reciba con el presente un saludo cordial.</p> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 80px; margin-left: 100px;"></div> <p>Dr. Victor Manuel  Quintero Rivera</p> |
|---|

2810-003-002

## ANEXO 4. DICTAMEN DE ÉTICA



**INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL**  
SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL

### Dictamen de Aprobado

Comité de Ética en Investigación **24028**.  
H GRAL ZONA -MF- NUM 1

Registro COFEPRIS **17 CI 24 028 082**  
Registro CONBIOÉTICA **CONBIOETICA 24 CEI 003 2018072**

FECHA **Viernes, 23 de enero de 2026**

**Doctor (a) GERARDO CLEMENTE GARCIA RUIZ**

**PRESENTE**

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A P R O B A D O**:

Número de Registro Institucional

Sin número de registro



**Doctor (a) Pedro Reyes Laris**  
Presidente del Comité de Ética en Investigación No. 24028

## ANEXO 5. DICTAMEN DE INVESTIGACIÓN



**INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL**  
SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL

### Dictamen de Aprobado

Comité Local de Investigación en Salud **2402**.  
H GRAL ZONA -MF- NUM 1

Registro COFEPRIS **17 CI 24 028 082**  
Registro CONBIOÉTICA **CONBIOETICA 24 CEI 003 2018072**

FECHA **Miércoles, 28 de enero de 2026**

**Doctor (a) GERARDO CLEMENTE GARCIA RUIZ**

**P R E S E N T E**

Tengo el agrado de notificarle que el protocolo de investigación con título **IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA**, que sometió a evaluación por este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los aspectos éticos, por lo que se emite el dictamen de:

**A P R O B A D O**

Número de Registro Institucional

R-2026-2402-003

De acuerdo con la normativa vigente, deberá presentar anualmente un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo hasta su conclusión. El presente dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de no haber concluido la investigación, deberá solicitar la re aprobación al Comité de Ética en Investigación antes del **28-01-2027**.

ATENTAMENTE

**Doctor (a) JESUS HUGO GONZALEZ**  
Presidente del Comité Local de Investi

2402

CUADRO 3. Cronograma de Actividades

**“IDENTIFICACIÓN NO INVASIVA DE LA INFLAMACIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN ARTROPLASTIA TOTAL DE RODILLA”**

| <b>Actividad</b>                           | <b>Junio 2025</b> | <b>Julio 2025</b> | <b>Agosto 2025</b> | <b>Septiem 2025</b> | <b>Octubre 2025</b> | <b>Noviembre 2025</b> | <b>Diciembre 2025</b> | <b>Enero 2026</b> |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Planteamiento de idea de investigación     | ■                 |                   |                    |                     |                     |                       |                       |                   |
| Elaboración de protocolo                   | ■                 | ■                 |                    |                     |                     |                       |                       |                   |
| Revisión y corrección de protocolo         |                   | ■                 | ■                  | ■                   |                     |                       |                       |                   |
| Envío a Comité de Investigación y Bioética |                   | ■                 | ■                  | ■                   |                     |                       |                       |                   |
| Selección y reclutamiento de pacientes     |                   |                   |                    |                     | ■                   | ■                     |                       |                   |
| Registro de datos clínicos iniciales       |                   |                   |                    |                     | ■                   | ■                     |                       |                   |
| Toma termográfica postoperatoria           |                   |                   |                    |                     | ■                   | ■                     | ■                     | ■                 |
| Revisión y captura de datos                |                   |                   |                    |                     |                     |                       |                       | ■                 |
| Análisis                                   |                   |                   |                    |                     |                     |                       |                       | ■                 |
| Elaboración de informe técnico final       |                   |                   |                    |                     |                     |                       |                       | ■                 |
| Presentación                               |                   |                   |                    |                     |                     |                       |                       | ■                 |

Cuadro 4. Formato de Recolección de Datos

Datos Generales del Paciente

|   |  |
|---|--|
| ID del paciente   |  |
| Edad  |  |
| Sexo ( <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino)  |  |
| Número de expediente  |  |
| Fecha de cirugía ATR (___ / ___ / 2025)   |  |
| Lado intervenido ( <input type="checkbox"/> Derecho <input type="checkbox"/> Izquierdo)   |  |
| IMC   |  |
| Comorbilidades ( <input type="checkbox"/> Diabetes <input type="checkbox"/> HTA <input type="checkbox"/> Obesidad <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Otra: (_____) |  |

Cuadro 5. Registro de Temperaturas (Termografía Infrarroja)

| Semana  | Fecha de medición | Temp. de extremidad intervenida (°C) | Temp. contralateral (°C) | $\Delta T$ (dif.) | Observaciones clínicas |
|---------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|
| Inicial |                   |                                      |                          |                   |                        |
| FOTO 2  |                   |                                      |                          |                   |                        |
| FOTO 3  |                   |                                      |                          |                   |                        |
| FOTO 4  |                   |                                      |                          |                   |                        |
| FOTO 5  |                   |                                      |                          |                   |                        |
| FOTO 6  |                   |                                      |                          |                   |                        |