



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**GRADO DE ENFERMERÍA**

Curso académico 2022-2023

**TERMOGRAFÍA INFRARROJA COMO MÉTODO  
DE DIAGNÓSTICO EN QUEMADURAS: UNA  
REVISION EXPLORATORIA DE LA  
LITERATURA.**

**INFRARED THERMOGRAPHY AS A METHOD OF DIAGNOSIS IN BURNS: AN  
EXPLORATORY REVIEW OF THE LITERATURE.**

**Autora: Ángela Avilés García**

**Tutor: Pablo López Casanova**

## ÍNDICE

Resumen.....	2
1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	6
3. Metodología.....	6
4. Resultados.....	7
4.1. Quemaduras.....	9
5. Discusión.....	16
6. Conclusión.....	18
7. Bibliografía.....	18
ANEXO 1. Tesoros.....	21

## **RESUMEN**

**Introducción:** La termografía es la medición del calor de una superficie donde la temperatura se registra de forma visual como una imagen completa. El calor que se emite a través de la piel es un tipo de radiación electromagnética. La termografía capta esa emisión de radiación, lo que nos permite visualizar los cambios de temperatura que se producen a través del calor de la piel pudiendo identificar diferentes procesos fisiopatológicos que afecten al riego sanguíneo de la zona estudiada.

**Metodología:** Se realizan dos búsquedas, una general y otra específica utilizando estrategia de búsqueda utilizando un lenguaje controlado con términos MESH. Para seleccionar los artículos se filtra por título, resumen y palabras clave, además de aplicarse los criterios de inclusión y exclusión.

**Resultados:** Durante la búsqueda general, se encontraron 165 artículos en PubMed, de los cuales 7 han sido seleccionados y 6 han sido incluidos. Mientras que con la búsqueda específica se obtienen 28 artículos, de los cuales se seleccionan 7 que no aparecían en la búsqueda general y se incluyen finalmente 6 de ellos.

**Conclusión:** La Termografía Infrarroja es un instrumento con mucho potencial y que ha mostrado buenos resultados pero mucha variabilidad e inconsistencia en ocasiones, por lo que es necesaria la estandarización de una serie de medidas que nos permitan contrarrestar las dificultades a la que se expone y minimizar los sesgos, hecho que podrá mejorar más los resultados. Además, es necesaria una mayor investigación aplicando las variables térmicas encontradas para identificar el grado de influencia e importancia que tienen y comparando las diferentes modalidades de IRT, estática y dinámica.

**Palabras clave:** Termografía Infrarroja; Quemaduras; Curación quemaduras; Profundidad; Calor; Cirugía; Injerto.

## **ABSTRACT**

**Background:** Thermography is the measurement of heat from a surface where the temperature is recorded visually as a complete image. The heat emitted through the skin is a type of electromagnetic radiation. Thermography captures this emission of radiation, which allows us to visualize the temperature changes that occur through the heat of the skin, being able to identify different pathophysiological processes that affect the blood supply of the studied area.

**Methodology:** Two searches were carried out, one general and the other specific, using a controlled language search strategy with MESH terms. To select the articles we filtered them by title, abstract and key words, besides applying the inclusion and exclusion criteria.

**Results:** During the general search, 165 articles were found in PubMed, of which 7 were selected and 6 were included. The specific search yielded 28 articles, of which 7 were selected that did not appear in the general search and 6 were finally included.

**Conclusions:** Infrared thermography is an instrument with great potential that has shown good results but much variability and inconsistency at times, so it is necessary to standardize a series of measures that allow us to counteract the difficulties to which it is exposed and minimize biases, a fact that could further improve the results. In addition, further research is needed by applying the thermal variables found to identify the degree of influence and importance that they have and by comparing the different IRT modalities, static and dynamic.

**Keywords:** Infrared thermography; Burns; Burn healing; Depth; Heat; Surgery; Graft.

## 1. Introducción

La temperatura corporal ha sido tomada en cuenta a la hora de determinar si hay enfermedad desde hace cientos de años. En la antigua Grecia, en el periodo de Hipócrates, la fiebre ya se consideraba como un signo de morbilidad, aunque en esa época solo se podía utilizar la mano para su medición. Y aunque en la medicina alejandrina se relevó su importancia a un segundo lugar por la determinación del pulso como indicativo de alteración, en la Edad Media logró volver a tener más relevancia al formularse la teoría de los humores a los cuales se los relacionó con las propiedades de caliente, frío, seco y húmedo<sup>(1)</sup>.

La termografía es la medición del calor de una superficie donde la temperatura se registra de forma visual como una imagen completa. Esta puede ser utilizada en diferentes sectores como ingeniería, fisioterapia, construcción o medicina<sup>(2)</sup>. El primer sensor para la medición de radiación infrarroja fue creado en 1940 y la primera vez que se utilizó con intención de crear imágenes para uso médico fue entre los años 1959 y 1961 en el Hospital Middlesex de Londres<sup>(3)</sup>.

La piel es el órgano más grande del cuerpo, y entre sus múltiples funciones como protección, absorción, tacto..., se encuentra la termorregulación. Está compuesta de múltiples capas que, además de proteger de la entrada de patógenos del entorno y de la propia piel, junto con el tejido adiposo proporcionan aislamiento térmico del cuerpo. Además, debido a la emisividad de calor que produce, es responsable de la mayor parte de la pérdida de calor corporal<sup>(4,5)</sup>.

El calor que se emite a través de la piel es un tipo de radiación electromagnética. La temperatura de un objeto, al fin y al cabo se produce por la vibración de los átomos de las estructuras que lo componen. Estas vibraciones son energía, la cual se emite en forma de radiación térmica. La ley de Wien relaciona la temperatura de un objeto con la frecuencia que emite la luz visible o no visible. Todo lo que esté a una temperatura mayor del 0 absoluto (-273°C) emite radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda. En la gran mayoría de nuestro entorno la radiación que se emite es en longitudes de onda superiores o iguales a 3µm, las cuales no se encuentran dentro del espectro visible y se considerarían como infrarrojo<sup>(4)</sup>. Cuanto más alta es la frecuencia menor es la longitud de onda, por lo que cuando aumenta la temperatura, hay más energía, aumentando así la frecuencia y disminuyendo la longitud de onda haciendo posible la detección de los cambios de temperatura.

Llegados a este punto es necesario introducir el término de cuerpo negro. Un cuerpo negro es un cuerpo que absorbe radiación electromagnética y emite toda la energía absorbida. De este modo, sabemos que el cuerpo humano es casi un cuerpo negro ya que tiene al menos una emisividad del 91%<sup>(4)</sup>, aunque otros autores hablan de valores alrededor del 98%<sup>(6)</sup>. Casi la totalidad de la radiación que emite se debe a su temperatura, no es excitado por otros mecanismos por lo que al casi no emitir otro tipo de radiaciones es más fácil medirlo. A pesar de ello, se considera más adecuado hacer la medición lejos de objetos que emitan calor como radiadores. Aunque es importante aclarar que lo que se mide la radiación emitida sino el flujo de energía emitido por el cuerpo<sup>(4)</sup>.

La temperatura del cuerpo está controlada por el hipotálamo. Para aumentar o disminuir la temperatura intervienen procesos de vasoconstricción, vasodilatación, sudoración, piloerección, etc., pero especialmente la vasoconstricción y vasodilatación son los medios principales por los que la piel puede actuar como radiador o aislante por el aumento o disminución del aporte de sangre a la piel<sup>(4,6)</sup>. Por ello la utilidad clínica de la termografía infrarroja se basa en dos posibles circunstancias: el aumento de flujo o la disminución de este<sup>(4)</sup>. Generalmente la temperatura del cuerpo es simétrica y no suele haber una diferencia mayor de 0,25°C entre diferentes zonas del cuerpo. Sin embargo, una diferencia mayor a 0,65°C puede indicar alteración. El aumento de la temperatura en lesiones agudas está relacionado con la liberación de óxido nítrico, prostaglandinas y factores de crecimiento endotelial y plaquetario, lo cual provoca aumento de la vasodilatación, crecimiento tisular y angiogénesis. Todo esto provoca un aumento del flujo vascular y metabólico, lo que a su vez contribuye a un aumento de la temperatura local que será visible en con la termografía infrarroja<sup>(7)</sup>. El aumento de la temperatura está relacionado con procesos de infección e inflamación<sup>(6,8)</sup>, mientras que la disminución de la temperatura está relacionado con baja perfusión tisular, procesos degenerativos, isquemia, lesiones relacionadas con la presión, etc <sup>(4,6)</sup>.

Mediante la termografía infrarroja se pueden detectar estos cambios y ayudarnos en la práctica clínica. Se trata de un método rápido en el que no es necesario el contacto, se puede realizar de forma repetida sin riesgos y es a tiempo real por lo que permite la monitorización dinámica<sup>(6)</sup>. Aun así, a día de hoy no se suele utilizar en la práctica clínica para la evaluación y diagnóstico de heridas.

## **2. Objetivos**

- Revisar el uso y eficacia de la termografía infrarroja como instrumento diagnóstico y de medida de las quemaduras.
- Conocer si existe evidencia en el uso de termografía infrarroja para el diagnóstico de la profundidad de quemaduras y para identificar el tipo de tratamiento necesario para la curación de estas.
- Identificar los factores que influyen en la calidad de la medición de la termografía infrarroja.

## **3. Metodología**

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sobre la termografía infrarroja en el ámbito de las lesiones cutáneas mediante una búsqueda exhaustiva durante el mes de enero de 2023 para encontrar la evidencia disponible hasta el momento.

En primer lugar antes de empezar con la búsqueda se desarrollaron una serie de criterios de inclusión y exclusión para identificar los artículos que pudiéramos utilizar desde un principio.

Criterios de inclusión:

- Artículos escritos en español o inglés.
- Año de publicación entre 2015 y 2023. A excepción de aquellos documentos que excediendo los límites establecidos sean necesarios para la correcta realización de este trabajo de fin de grado como aquellos documentos que puedan aportar información sobre el origen histórico y funcionamiento de este instrumento de manera que nos permita entender su aplicación en este campo.
- Artículos que aborasen la utilización de la termografía infrarroja como instrumento diagnóstico o de medida de quemaduras.

Criterios de exclusión:

- Estudios realizados en animales.
- Artículos con perspectiva de fisioterapia.

Para ello se hizo una búsqueda general para conocer todas las posibles aplicaciones además de la evidencia disponible a la que podemos acceder. Se consultaron las siguientes bases de datos:

- PubMed.
- CINAHL.
- Cochrane.

- Scielo.
- LILACS.

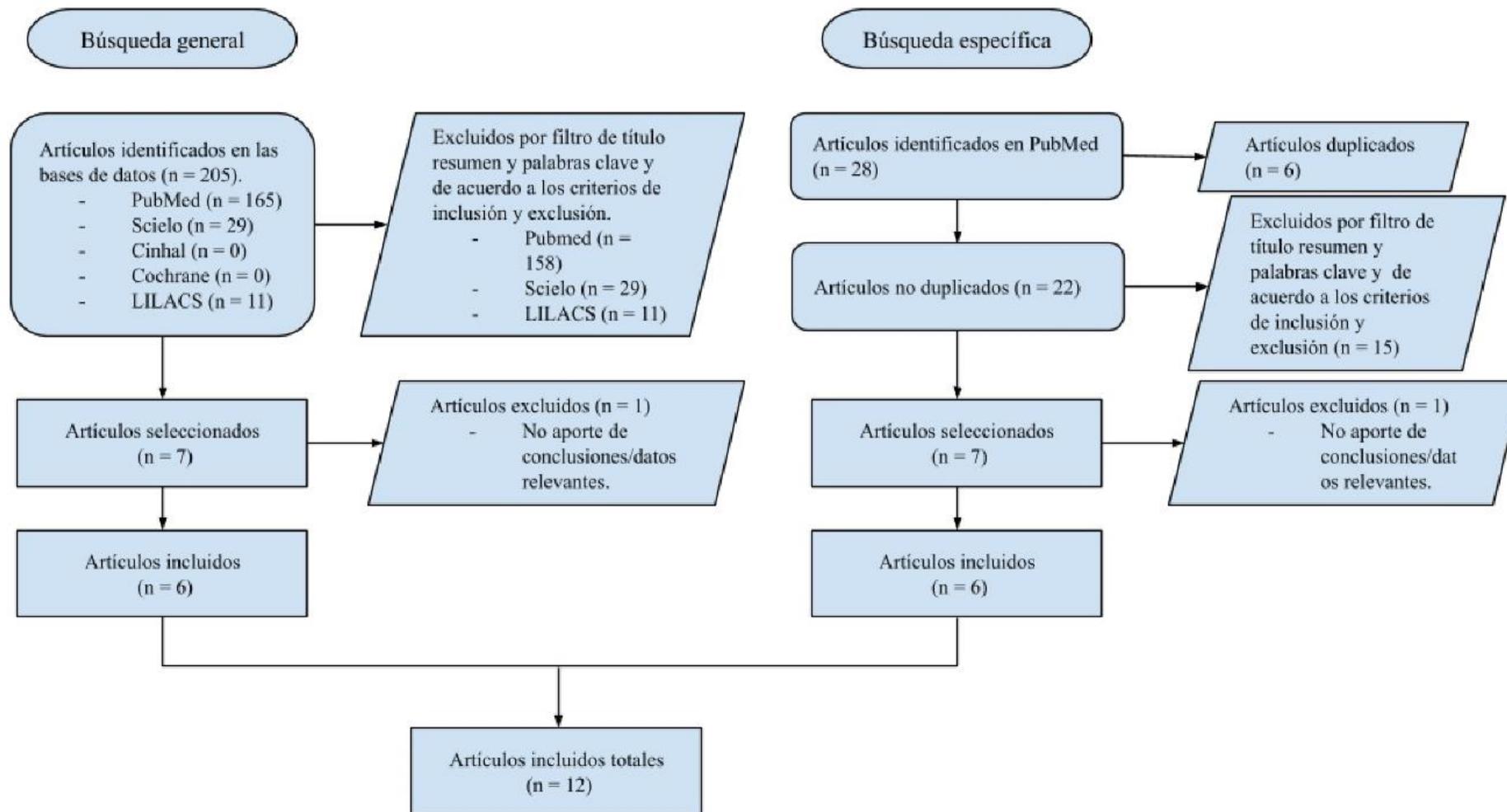
En esta primera búsqueda se introdujeron los términos "infrared termography/termografía infrarroja" y/o "infrared termography wound/termografía infrarroja herida" dependiendo de los resultados disponibles que hubiera en la base de datos. Para escoger los artículos se ha tenido en cuenta que tuvieran las palabras o sinónimos como "thermal imaging" en el título, resumen o palabras clave.

Una vez hecha esta primera búsqueda seleccionamos los tesauros pertinentes (Anexo 1) para realizar una segunda búsqueda más específica para encontrar los artículos que se hayan podido pasar por alto. Para una búsqueda óptima se utilizaron los booleanos "AND", "OR" y "NOT".

#### **4. Resultados**

En la primera búsqueda general en CINHALL, Cochrane, Scielo, y LILACS no se han encontrado artículos relacionados o que cumplieran los criterios establecidos. En PubMed, se encontraron 165 artículos de los cuales 7 han sido seleccionados y 6 han sido incluidos.

En la búsqueda específica realizada en PubMed se utiliza como estrategia de búsqueda utilizando un lenguaje controlado con términos MESH: (thermography[MeSH Terms]) AND (burns[MeSH Terms]). Con esta búsqueda se obtienen 28 artículos, de los cuales se seleccionan 7 que no aparecían en la búsqueda general y se incluyen finalmente 6 de ellos. Todo el proceso se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de Flujo.

#### 4.1. Quemaduras

La evaluación de la profundidad de las quemaduras es determinante para el correcto manejo y curación de estas. La profundidad se clasifica entre superficiales, parciales o profundas. Las superficiales, son aquellas que solo afectan a la epidermis y suelen curar en un periodo igual o menor a 14 días. Estas tienen una apariencia rojiza y son capaces de curar espontáneamente. Las quemaduras profundas, por el contrario, afectan más allá de la dermis, no cicatrizan y necesitan de injerto o cirugía para poder curar<sup>(9)</sup>. Su curación no suele ser menor de 21 días<sup>(10)</sup>. En medio tenemos las quemaduras de espesor intermedio. Estas afectan a la dermis, pero dependiendo de la diferente profundidad que abarque dentro de este grupo su manejo y curación serán más parecidos a los de las quemaduras de primer o tercer grado, siendo las quemaduras intermedias de segundo grado las más difíciles de evaluar, pudiendo, además, encontrarse en una misma zona diferentes profundidades afectadas<sup>(11,12)</sup>.

Otro aspecto a tener en cuenta es que las quemaduras no son estáticas. Una quemadura de espesor parcial puede avanzar a otra de espesor total, pasando las zonas que estaban en "estasis" a ser tejido necrótico durante los primeros días tras la lesión<sup>(11-13)</sup>. Una de las principales causas de este fenómeno es la falta de flujo sanguíneo que lleva a producirse isquemia y autofagia del tejido que se encuentra alrededor de la herida<sup>(14)</sup>. Esta evolución se llama conversión de la quemadura, y es otro factor que dificulta la correcta clasificación de la herida. Esto también implica la necesidad de una evaluación periódica para un buen diagnóstico<sup>(15)</sup>.

Actualmente el método más utilizado para su clasificación es la evaluación clínica, la cual se basa en las características visuales y táctiles de la herida, como llenado capilar o la sensibilidad. Esta técnica es muy subjetiva, teniendo una precisión de 50% a 70% dependiendo de la experiencia del médico<sup>(9-14,16-19)</sup>. Una incorrecta evaluación puede desencadenar en múltiples complicaciones para el paciente. Una sobreestimación de la profundidad de la quemadura puede desembocar en cirugías innecesarias, aumento de la estancia hospitalaria y conversión de la quemadura. Por otra parte, una subestimación de la profundidad de la herida puede producir un retraso de la cirugía y riesgo de que se produzcan cicatrices hipertróficas que limitan la movilidad, producen contracturas y limitan la reincorporación del paciente a su vida normal<sup>(9-13,16,19)</sup>. Al tener esto presente se hace evidente la necesidad de utilizar un instrumento que nos permita una evaluación más objetiva de estas heridas.

Como hemos dicho anteriormente la termografía se basa en el principio de que la temperatura que se emite depende de la perfusión sanguínea de los tejidos. Por otra parte, en las quemaduras se ha relacionado la extensión de la herida con el flujo de sangre restante que llega a los tejidos afectados. De esta manera cuanto mayor es la profundidad, más tejido ha sido destruido y menor será el aporte de sangre en esa zona, que junto con la disminución del metabolismo de las células dañadas provocará la disminución de la temperatura en esa zona de piel al compararla con tejido sano. Asimismo, las quemaduras superficiales tendrán una temperatura mayor en comparación con la piel sana debido a la vasodilatación y edema de la zona afectada causada por la respuesta inflamatoria. Así también podemos relacionar la temperatura de la herida con su potencial de curación ya que como se ha mencionado anteriormente las quemaduras más profundas tardan más en curarse ya que sin un flujo de sangre adecuado la capacidad para regenerarse se ve comprometida<sup>(9,10,13-15,17-19)</sup>. Esta diferencia de temperatura entre la piel sana y la piel afectada nos permite calcular delta-T ( $\Delta T$ ), obteniendo información sobre el alcance de la lesión y la perfusión sanguínea que recibe y el potencial de curación de esta<sup>(9,10,14,18)</sup>.

Ahora mismo las imágenes realizadas con Laser Doppler (LDI) son el "estándar de oro" para determinar la profundidad de las quemaduras, con una especificidad y sensibilidad en la mayoría de los estudios mayor de 90% en ambas<sup>(12,17,20)</sup> y una precisión entre 90-97% y un valor predictivo positivo de 98,4%<sup>(14)</sup>. Pero tiene numerosas desventajas como alto coste, mayor tiempo para escanear la herida lo que puede provocar más angustia y requerir de sedación en niños, mayor coste de mantenimiento, se necesita de personal formado para la valoración las imágenes, más dificultad para transportar, los pacientes deben estar totalmente quietos y la mayoría de los artículos refieren que no se puede usar este procedimiento hasta haber pasado 2-3 días tras producirse la lesión hasta el quinto día<sup>(9,10,13,14,17,18,21)</sup>. En comparación la termografía infrarroja (IRT) es más rápida, tiene un menor coste, es de fácil interpretación, es menos intimidante para los pacientes, puede realizarse desde el primer día tras producirse la lesión y debido al progreso tecnológico se ha permitido la fabricación de cámaras térmicas portátiles, pequeñas y de mayor resolución que anteriormente<sup>(9,10,13,14,17,21)</sup>. Por ello en los últimos años ha aumentado el número de investigaciones para identificar la precisión de la IRT en la evaluación de la profundidad de las heridas y el potencial de curación de estas, y así promover su uso aprovechando las ventajas de las que dispone.

Se han encontrado dos revisiones sistemáticas. **Dang et al (2021)**<sup>(9)</sup> muestra que la IRT tiene una precisión estadísticamente significativa al comparar su evaluación con los

resultados finales de las quemaduras evaluadas pero entre los artículos utilizados se encuentran artículos muy antiguos por lo que la información podría estar algo desactualizada. Después tenemos la revisión de **Jaspers et al (2019)**<sup>(20)</sup> que hace una comparación entre diferentes instrumentos y técnicas. Entre los artículos incluidos dos de ellos son de IRT en personas, el primero muestra una especificidad del 87,5% y una sensibilidad de 87% en la diferenciación entre heridas que curarán en 21 o menos días y las que curarán en más de 21 días; el segundo muestra una correlación entre los resultados mostrados por la IRT y el LDI de  $R= 0,73$ . Ambos con una validez adecuada.

Entre los artículos encontrados en nuestra revisión tenemos el de **Carrière et al (2020)**<sup>(10)</sup> que pretende medir la validez de la IRT comparándola con el LDI. En este estudio priorizan especificidad a sensibilidad para evitar cirugías innecesarias a quemaduras que podrían sanar espontáneamente. Al elegir con un punto de corte de  $\Delta T$  0,6 °C para heridas curarán en 14 o menos días una sensibilidad de 68% y una especificidad de 95%, mientras que eligiendo un punto de corte de  $\Delta T$  -2,3 °C para discriminar heridas que curarán den 21 días o menos y heridas que curarán en más de 21 días se obtiene una sensibilidad de 30% y una especificidad de 95%. O si cambiamos el segundo punto de corte por  $\Delta T$  -3 °C obtenemos una sensibilidad de 17% y una especificidad de 100%, de ese modo se clasificarían en curación de más de 21 días los que son reales al 100%. En este estudio se recomienda la utilización de IRT en triaje para la temprana discriminación de quemaduras que pueden curar antes o después de los 14 días y así remitir lo antes posible a un centro especializado si lo necesitara y en unidades de quemados para ayudar a discernir los pacientes que pueden beneficiarse de un alta temprana y los que se beneficiarían de una cirugía sin esperar más de lo necesario, aunque también se recomienda el uso adicional de LDI cuando esté disponible para mayor seguridad.

En el artículo de **Burke-Smith et al (2015)**<sup>(13)</sup> se comparan diferentes métodos para la evaluación de quemaduras en adultos. En el caso de la IRT se obtiene que se pueden distinguir con precisión las heridas que sanarán en 14 días o menos ( $p < 0,05$ ) y las quemaduras que sanarán en más de 21 días ( $p < 0,01$ ), pero las heridas que curarán entre 14 y 21 días le cuesta distinguirlas. Han identificado que posiblemente sea por la evaporación de agua que produce pérdidas de calor haciendo que algunas heridas parezcan más profundas de lo que realmente son, e identifican como posible sesgo que la medición con IRT fue posterior a la realizada con LDI por lo que la evaporación ha podido ser mayor debido a la exposición. Para la clasificación de las heridas utilizan el ROI por

lo que se necesita un mapeo de los ROI, además de la evaluación estadística y un protocolo de análisis por lo que la evaluación de la herida requiere mayor tiempo.

**Singer et al (2015)**<sup>(17)</sup> estudia en su artículo si la IRT se puede utilizar para reducir la incidencia de cirugías innecesarias y evitar el retraso de cirugía las quemaduras que de verdad la necesitan. En el estudio se comparan los resultados que predijo un doctor con los que predijo la IRT y los que fueron finalmente. Para la evaluación con la IRT se realizaron varias mediciones entre el día 1 y 2 tras la lesión. Se observó la fluctuación de la temperatura podía ser indicador de quemaduras profundas o superficiales. En el estudio las heridas superficiales aumentaron alrededor de  $1,5 \pm 2,3$  °C, mientras que las profundas disminuyeron  $1,5 \pm 2$  °C. En los resultados finales de las 39 quemaduras evaluadas, el médico falló en la clasificación de 20 de ellas, de las cuales la IRT acertó 16, obteniendo una precisión final mayor en la IRT que en la evaluación clínica con 87,2% y 54,1% respectivamente. Afirmando así su suposición de que la IRT permite una evaluación de mayor exactitud que la evaluación clínica que puede emplearse de manera temprana para minimizar la espera de la determinación de una cirugía necesaria junto con la reducción de aquellas que no proceden.

Un grupo de investigadores realizó dos investigaciones sobre la termografía infrarroja en quemaduras en dos años diferentes. **Jaspers et al (2016)**<sup>(19)</sup> realiza un estudio con el objetivo de identificar la validez y la fiabilidad con la que la termografía infrarroja puede identificar el potencial de curación de una quemadura, comparándolo con el LDI. Utilizaron la termografía infrarroja estática y el área de referencia de piel no quemada fue una zona localizada a  $\pm 5$ cm de la quemadura. En este primer estudio encontraron que con un punto de corte de  $\Delta T -0,07$  °C se podían diferenciar las quemaduras que curarán en más de 21 días y las que curarán en 21 días o menos con una sensibilidad y especificidad de 80%, con un ICC de 0,99. Mientras que en **Jaspers et al (2017)**<sup>(18)</sup> estudian la fiabilidad y validez de la cámara FLIR ONE un nuevo tipo de cámara termografía mucho más pequeña y que se puede adaptar al ipad para que sea más manejable. El estudio se dividió en tres periodos T1 (1-3 días), T2 (4-7 días) y T3 (8-10 días) en los que se evaluaba la temperatura de las quemaduras y sus cambios. Al tener en cuenta las variaciones se observaron varias cosas: las quemaduras que curaron en menos de 14 días tuvieron un  $\Delta T$  positivo durante los tres periodos, las quemaduras que curaron entre 14 y 21 días empezaron en T1 con un  $\Delta T$  negativo pero más adelante (T2 o T3) pasaban a tener un  $\Delta T$  positivo, y las quemaduras que curaron en más de 21 días tuvieron durante los tres periodos un  $\Delta T$  negativo. Con esto podemos sacar como conclusión que

el curso del  $\Delta T$  de la quemadura nos puede ser útil para saber el tiempo de curación y profundidad de la quemadura. A la hora de elegir un punto de corte para discriminar entre los tipos de quemaduras se volvió a elegir especificidad frente a sensibilidad para evitar que se clasifiquen quemaduras que no necesitan cirugía en quemaduras que curarán en más de 21 días. Al elegir un punto de corte de  $\Delta T -1,15^{\circ}\text{C}$  para discriminar entre las quemaduras que curan en más de 21 días y las que curan en menos, lo que proporciona una sensibilidad de 46% y una especificidad de 71%, aunque igual que el estudio de Carrière et al (2020)<sup>(10)</sup> se nos explica que dependiendo del objetivo de los estudios esto se puede cambiar ya que si elegimos  $\Delta T-0,25^{\circ}\text{C}$  habrá una sensibilidad de 75% y una especificidad del 71% por lo que entrarán más quemaduras en la clasificación de  $> 21$  días pero habrá más falsos positivos. También se observa que si escogemos los valores medios de  $\Delta T$ , estos solo son estadísticamente significativos en T3, además de que se encuentra una capacidad moderada para discriminar entre las quemaduras superficiales, intermedias y profundas (AUC = 0,69). En este estudio también se toparon con problemas para controlar la pérdida de calor por evaporación.

En el estudio de **Ganon et al (2020)**<sup>(15)</sup> también se utiliza una cámara FLIR ONE y se divide el estudio en 3 periodos pero esta vez para identificar la profundidad de quemaduras en niños. Los tres periodos son los mismos que en el estudio anterior, y se muestra en el T1 un AUC de 0,700, en T2 un AUC de 0,787 y en T3 un AUC de 0,968, lo que nos muestra que en este último periodo la precisión es mayor, además de que se ha visto una relación entre  $\Delta T$  en T3 y el tiempo de curación, cuanto más diferencia haya entre la herida y la piel sana en T3 más probabilidad hay de que cure en más de 15 días. A pesar de hacer una evaluación en 3 periodos se ha puesto como límite el día 15 para diferenciar entre heridas que pueden curar espontáneamente de las que probablemente necesiten injerto, ya que una herida que no ha curado espontáneamente el día 15 es muy poco probable que lo haga, y esperar más de cuatro semanas puede favorecer la aparición de cicatrices anormales. De todas formas que una herida se clasifique en una curación mayor a 15 días no indica que vaya a necesitar un injerto, lo que nos indica es que hay más probabilidad de que lo necesite por lo que hay que llevar una evaluación más exhaustiva. Para la diferenciación entre heridas de curación mayor o menor a 15 días se ha escogido un punto de corte de  $\Delta T -1,2^{\circ}\text{C}$  hay una precisión de 62,5% en T2 y una especificidad del 90%. La conclusión que saca este estudio es que la cámara FLIR ONE solo sirve si existen dudas sobre si la curación será en más o menos de 15 días, además de para ayudarnos a predecir una curación más complicada y una posible reducción de la

estancia. En este estudio se identifica una limitación para las mediciones, y esta es la presencia de ungüentos y secreciones. Al parecer su presencia dificulta las mediciones reduciendo la calidad de estas, por lo que se recomienda realizarlas tras el cuidado diario de la herida.

En el artículo de **Wearn et al (2018)**<sup>(21)</sup> se compara la IRT con el LDI, la evaluación clínica a tiempo real y la evaluación clínica mediante imágenes. Se compara la evaluación de las quemaduras en el día 0 y día 3. En el día 0 la IRT fue la que menor precisión y especificidad mostró con un 55,8% en ambos, aunque fue el que mayor sensibilidad mostró con un 55,6%. En el día 3 la IRT siguió siendo el método que menor precisión y sensibilidad tuvo con un 71,2% y un 44,4% respectivamente y en cuanto a especificidad quedó por delante de la evaluación clínica mediante imágenes y por detrás del LDI con un 76,7%. Podemos ver que los resultados en el día 3 son mejores que en el día 0 pero no hay una gran diferencia en comparación con los resultados de la evaluación clínica. También mencionar que no se especifica que puntos de corte se utilizan en la termografía ni los parámetros de piel sana con los que se compara la piel quemada.

Encontramos un artículo de **Horta et al (2016)**<sup>(22)</sup> que habla de la IRT en pacientes que han sufrido quemaduras faciales, y aunque no saca conclusiones claras podemos sacar algo de información relevante. En el estudio se nos menciona una limitación de la IRT, la cual es que no es capaz de medir la temperatura en tejido profundo ya que solo detecta la radiación que se desprende desde la piel por lo que en pacientes obesos la lesión en tejidos profundos puede ser más complicada, por ello también se recomienda su combinación con ultrasonografía para la detección temprana de afectación en el tejido profundo. También aunque se nos ha mencionado ya la diferencia de temperatura en zonas de inflamación, se nos añade que las zonas con cicatrices, daño muscular y parálisis también pueden tener disfunciones térmicas por lo que se deberá tener en cuenta a la hora de elegir zonas de referencia para comparar con las zonas quemadas o si se quiere analizar termográficamente zonas con esas características. Además, se menciona que se obtienen mejores resultados cuando se realiza la IRT a los tres días, antes de que comience el proceso de granulación de la herida.

**Martinez-Jimenez et al (2018)**<sup>(14)</sup> utilizaron la IRT para crear un algoritmo que predijera el tratamiento que necesitarían las quemaduras mediante su  $\Delta T$ , clasificando el tratamiento entre tres posibles modalidades: reepitelización, injerto de piel y amputación. Para crear el algoritmo se utilizaron 34 pacientes de diferentes edades, quemaduras de diferentes etiologías y diferentes profundidades. Las mediciones se realizaron durante los

3 primeros días tras la lesión y cada uno se siguió hasta el alta y se registró su progreso. El  $\Delta T$  fue de  $1,75 \pm 0,89$  °C para los pacientes que curaron mediante reepitelización, para pacientes que necesitaron injertos de piel fue  $3,28 \pm 0,68$  °C y en pacientes que precisaron de amputación  $7,71 \pm 1,89$  °C. A la hora de determinar el  $\Delta T$  de las quemaduras identificaron variables que podrían influir y había que tener en cuenta elegir el  $\Delta T$  definitivo y que al final fueron decisivas para conseguir que los tratamientos se asociaran significativamente con el  $\Delta T$  y que en otros estudios no se habían tenido en cuenta en su mayoría. Estas variables fueron: edad, etiología, profundidad, lugar lesionado, tiempo de medición de  $\Delta T$  y área afectada. Durante el testeo del algoritmo mediante 100 muestreos se vio que tenía una precisión del 85,35%. Para comprobar la validación se siguió posteriormente a 22 pacientes más, con características similares, de los cuales clasificó erróneamente solo a 2, con una tasa de concordancia de  $\kappa = 0,901$ . Con este estudio se nos muestra la capacidad para determinar rápida y objetivamente el tratamiento que va a necesitar la quemadura evitando retrasos y procedimientos innecesarios. Además nos muestra como puede utilizarse como guía para determinar el nivel de amputación necesario, lo cual también se puede extrapolar para otras afectaciones con una enfermedad vascular periférica. Una limitación del estudio es que se han utilizado solo quemaduras producidas en extremidades por lo que el algoritmo no sería aplicable en quemaduras producidas en el resto del cuerpo.

Encontramos un artículo que utiliza la técnica de IRT dinámica mencionada en otros artículos por tener supuestamente mayor precisión que la IRT estática<sup>(9,21)</sup>. Esta consiste en el vertido de solución salina sobre la lesión, para después medir la tasa de recalentamiento en un periodo de tiempo. **Simmons et al (2018)**<sup>(16)</sup> utilizan este método para contrarrestar la gran sensibilidad de la IRT a los cambios ambientales. En este artículo se vierte el suero salino sobre la herida y se mide la tasa de recalentamiento durante los dos minutos posteriores, clasificando las heridas en dos grupos, las quemaduras que se curan espontáneamente y las que necesitan un injerto. Para el estudio se escogieron las quemaduras de 16 pacientes cuya clasificación era de profundidad parcial indeterminada, por lo que no se sabía si se comportarían más como heridas superficiales o profundas. Se muestra una gran diferencia de temperatura entre los dos grupos a los 2 minutos, siendo las temperaturas con curación espontánea de  $1,76 \pm 0,97$ °C y las de las heridas que necesitaban injerto de  $-10,5 \pm 1,0$ °C. También se muestra una diferencia similar al minuto siendo en el grupo de curación espontánea de  $0,08 \pm 1,5$ °C, y  $-11,59 \pm 0,9$ °C en el grupo de heridas que necesitan injerto. Esto muestra que las

quemaduras de profundidad parcial indeterminada, las que pueden curar por si mismas se recalentarán más rápido y tendrán una temperatura parecida o mayor a la piel sana, mientras que las quemaduras más profundas que necesitan de un injerto se recalentarán más despacio y serán más frías que la piel sana, siendo posible su clasificación con precisión mediante la IRT dinámica. También hubo un grupo que se superponía en los resultados y no se sabía bien donde clasificarlo. Al mirar las imágenes se vio que estas quemaduras eran heterogéneas, con zonas que podían curar espontáneamente y zonas que eran más profundas y podrían no curar de la misma manera, por lo que se concluye que el ROI de 2 x 2cm utilizado no es eficaz para grandes superficies con quemaduras heterogéneas.

## **5. Discusión**

La IRT tiene gran potencial. En los artículos anteriores se ha demostrado que es capaz de utilizarse para determinar el tipo de curación más probable que tendrán las quemaduras, evitar cirugías innecesarias a la vez que evitar el retraso de las que de verdad son precisas. Pero las limitaciones que presenta hacen que su precisión en ocasiones pueda dejar que desear. Las principales limitaciones que han tenido los estudios que han podido limitar los resultados han sido relacionados con la sensibilidad al calor ambiental, la pérdida de calor por evaporación y la selección del área de referencia. Que la mayoría de los artículos encontrados tuvieran que enfrentarse a estos factores, muestra la necesidad de protocolizar unos pasos a seguir para llevar a cabo la técnica y así evitar estos fenómenos que sesgan los resultados de los estudios. La IRT utiliza la radiación que emana del propio sujeto por lo que será más susceptible a los cambios ambientales que se puedan producir, lo que la hará menos precisa<sup>(21)</sup>. En algunos de los estudios para ello se recomienda que se espere de 15-20 minutos para que se equilibre la temperatura del paciente con la de la habitación, realizándose la técnica en espacios sin interrupciones ya que la apertura de la puerta y la modificación de la temperatura ambiente podría ocasionar ligeros cambios, además de realizarse lejos de radiadores que puedan alterar la medición<sup>(4,21)</sup>. Respecto a la selección del área de referencia para la comparación con el tejido lesionado, se ha visto que la zona perilesional puede estar inflamada y edematizada lo que produce una hiperemia que puede influir si se escoge como zona de referencia ya que puede hacer que se clasifiquen las heridas como falsamente profundas dando a errores de diagnóstico. Siguiendo la hipótesis de que ambas mitades del cuerpo deben tener la misma temperatura se recomienda utilizar la zona contralateral como referencia ya que

de no haber una lesión ambas partes deberían tener la misma temperatura<sup>(10,13)</sup>, aunque dependiendo del caso que nos podamos encontrar a veces no será posible. Además, se deberán evitar tomar como zonas de referencia zonas que presenten abundante tejido cicatrizal, daño muscular o parálisis ya que estas zonas pueden presentar también alteraciones en la temperatura<sup>(22)</sup>. Por último, la mayor limitación ha sido la pérdida de calor por evaporación, produciendo que muchas heridas parezcan más profundas de lo que son. Para combatir este problema se ha recomendado utilizar una membrana impermeable para cubrir la herida evitando así la pérdida de calor<sup>(13)</sup> pero Wearn et al (2018)<sup>(21)</sup> refirió que interfería con las mediciones ya que disminuía el contraste de las imágenes y producía artefactos por los pliegues de la membrana, disminuyendo así la calidad de la imagen y perjudicando los resultados por lo que como alternativa se propone realizar la medición inmediatamente después de retirar la membrana. Otra posible solución para contrarrestar la pérdida de calor es la utilización de IRT dinámica. Según diferentes estudios muestra una mayor precisión que la IRT estática, pero anula la ventaja de la rapidez de la IRT frente a otras técnicas<sup>(9,21)</sup>. Además, se identifica que la medición en heridas que están impregnadas de cremas y secreciones pueden tener mediciones alteradas por lo que se recomienda realizar la técnica con la herida limpia<sup>(15)</sup>.

Otro factor que podría ayudar a obtener unos mejores resultados es la integración de las variables encontradas en el estudio de Martínez-Jiménez et al (2018)<sup>(14)</sup> (edad, etiología, profundidad, lugar lesionado, tiempo de medición de  $\Delta T$  y área afectada), ya que el artículo muestra buenos resultados y que en los demás artículos no se hayan tenido en cuenta estas variables llama la atención. Por lo que se deberían aplicar en futuros estudios para determinar si son influyentes en los resultados.

Entre las aplicaciones que podría tener la IRT una de ellas podría ser en triaje como se ha dicho anteriormente, para identificar lo antes posible si la herida necesita de unos cuidados más especializados y una atención más minuciosa propia de una unidad de quemados utilizando un punto de corte con alta especificidad de manera que nos permita detectar con seguridad esas heridas de mayor gravedad. Por otra parte también se podría utilizar para determinar que heridas curarán de manera espontánea proporcionando un menor tiempo de hospitalización e identificar las heridas más graves en el menor tiempo posible para evitar el retraso de una cirugía necesaria. Además, como aun la precisión varía, en esos pacientes que aún no se tiene claro que vayan a necesitar cirugía, se podría identificar la necesidad un seguimiento de la evolución más exhaustiva para que si se diera el caso de que la necesitaran nos diéramos cuenta a tiempo. Como se ha visto, debido

a la pérdida de calor por evaporación, las heridas que se encuentran en un punto intermedio son más difíciles de clasificar por lo que hasta que no se estandaricen las medidas a realizar para evitar los sesgos en la medición, ante estos casos en los que se pueda crear incertidumbre será aconsejable contrastar con otros métodos dependiendo de los recursos y la disponibilidad del hospital. En estos casos de quemaduras intermedias inespecíficas también se podría valorar la utilización de la IRT dinámica, que aunque parece mostrar mejores resultados que la IRT estática se necesita un mayor estudio comparando las dos técnicas. Por otro lado, también se puede utilizar la IRT para valorar el nivel de amputación que se necesitará en quemaduras muy graves en extremidades.

Otra de las conclusiones que se pueden sacar en claro es que basarse en una única medición nos quita información sobre el estado de la herida. Los estudios en los que se han realizado mediciones periódicas han podido observar fluctuaciones en la temperatura que nos advierten del pronóstico de curación de la quemadura. Las quemaduras que curarán en menos de 14 días se mantendrán con una temperatura más alta, las que curan entre 14 y 21 días empiezan teniendo una temperatura más baja que la piel sana pero progresivamente aumentará hasta quedarse en una temperatura superior, y las quemaduras que curarán en más de 21 días permanecerán con temperaturas más bajas que la piel sana. Además, se menciona que se obtienen mejores resultados cuando se realiza la IRT a los tres días que en el primer día, antes de que comience el proceso de granulación de la herida<sup>(10,21,22)</sup>.

## **6. Conclusión**

La Termografía Infrarroja es un instrumento con mucho potencial y que ha mostrado buenos resultados pero mucha variabilidad e inconsistencia en ocasiones, por lo que es necesaria la estandarización de una serie de medidas que nos permitan contrarrestar las dificultades a la que se expone y minimizar los sesgos, hecho que podrá mejorar más los resultados. Además, es necesaria una mayor investigación aplicando las variables térmicas encontradas para identificar el grado de influencia e importancia que tienen y comparando las diferentes modalidades de IRT, estática y dinámica.

## **7. Bibliografía**

- (1) Pearce JMS. A brief history of the clinical thermometer. QJM 2002;95(4):251-252.

- (2) La Termografía y su Aplicabilidad en la Medicina. IV Congreso Internacional Tecnología y Salud; 2019; Cuba.
- (3) Ring EFJ. The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Phys Technol* 2007;49(3):297-301.
- (4) Ramirez-GarciaLuna JL, Bartlett R, Arriaga-Caballero JE, Fraser RDJ, Saiko G. Infrared Thermography in Wound Care, Surgery, and Sports Medicine: A Review. *Front Physiol* 2022;13:838528.
- (5) Gurjarpadhye AA, Parekh MB, Dubnika A, Rajadas J, Inayathullah M. Infrared Imaging Tools for Diagnostic Applications in Dermatology. *SM J Clin Med Imaging* 2015;1(1):1-5.
- (6) Keenan E, Gethin G, Flynn L, Watterson D, O'Connor GM. Enhanced thermal imaging of wound tissue for better clinical decision making. *Physiol Meas* 2017 -06;38(6):1104-1115.
- (7) Ioannou S. Functional Infrared Thermal Imaging: A Contemporary Tool in Soft Tissue Screening. *Sci Rep* 2020 -06-09;10(1):9303.
- (8) Miskovic V, Malafronte E, Minetti C, Machrafi H, Varon C, Iorio CS. Thermotropic Liquid Crystals for Temperature Mapping. *Front Bioeng Biotechnol* 2022;10:806362.
- (9) Dang J, Lin M, Tan C, Pham CH, Huang S, Hulsebos IF, et al. Use of Infrared Thermography for Assessment of Burn Depth and Healing Potential: A Systematic Review. *J Burn Care Res* 2021 -06-12:irab108.
- (10) Carrière ME, de Haas LEM, Pijpe A, Meij-de Vries A, Gardien KLM, van Zuijlen PPM, et al. Validity of thermography for measuring burn wound healing potential. *Wound Repair Regen* 2020 -05;28(3):347-354.
- (11) Burmeister DM, Cerna C, Becerra SC, Sloan M, Wilmlink G, Christy RJ. Noninvasive Techniques for the Determination of Burn Severity in Real Time. *J Burn Care Res* 2017;38(1):e180-e191.
- (12) Schulz T, Marotz J, Seider S, Langer S, Leuschner S, Siemers F. Burn depth assessment using hyperspectral imaging in a prospective single center study. *Burns* 2022 -08;48(5):1112-1119.
- (13) Burke-Smith A, Collier J, Jones I. A comparison of non-invasive imaging modalities: Infrared thermography, spectrophotometric intracutaneous analysis and laser Doppler imaging for the assessment of adult burns. *Burns* 2015 -12;41(8):1695-1707.

- (14) Martínez-Jiménez MA, Ramirez-GarciaLuna JL, Kolosovas-Machuca ES, Drager J, González FJ. Development and validation of an algorithm to predict the treatment modality of burn wounds using thermographic scans: Prospective cohort study. *PLoS One* 2018;13(11):e0206477.
- (15) Ganon S, Guédon A, Cassier S, Atlan M. Contribution of thermal imaging in determining the depth of pediatric acute burns. *Burns* 2020 -08;46(5):1091-1099.
- (16) Simmons JD, Kahn SA, Vickers AL, Crockett ES, Whitehead JD, Krecker AK, et al. Early Assessment of Burn Depth with Far Infrared Time-Lapse Thermography. *J Am Coll Surg* 2018 -04;226(4):687-693.
- (17) Singer AJ, Relan P, Beto L, Jones-Koliski L, Sandoval S, Clark RAF. Infrared Thermal Imaging Has the Potential to Reduce Unnecessary Surgery and Delays to Necessary Surgery in Burn Patients. *J Burn Care Res* 2016;37(6):350-355.
- (18) Jaspers MEH, Carrière ME, Meij-de Vries A, Klaessens JHGM, van Zuijlen PPM. The FLIR ONE thermal imager for the assessment of burn wounds: Reliability and validity study. *Burns* 2017 -11;43(7):1516-1523.
- (19) Jaspers MEH, Maltha I, Klaessens JHGM, de Vet HCW, Verdaasdonk RM, van Zuijlen PPM. Insights into the use of thermography to assess burn wound healing potential: a reliable and valid technique when compared to laser Doppler imaging. *J Biomed Opt* 2016 -09-01;21(9):96006.
- (20) Jaspers MEH, van Haasterecht L, van Zuijlen PPM, Mekkink LB. A systematic review on the quality of measurement techniques for the assessment of burn wound depth or healing potential. *Burns* 2019 -03;45(2):261-281.
- (21) Wearn C, Lee KC, Hardwicke J, Allouni A, Bamford A, Nightingale P, et al. Prospective comparative evaluation study of Laser Doppler Imaging and thermal imaging in the assessment of burn depth. *Burns* 2018 -02;44(1):124-133.
- (22) Horta R, Nascimento R, Vilas-Boas J, Sousa F, Orvalho V, Silva A, et al. Thermographic analysis of facially burned patients. *Burns* 2016 -02;42(1):236-238.

**ANEXO 1. Tesauros.**

<b>DeCS</b>	<b>MESH</b>	<b>Definición</b>
Termografía	Thermography	Imágenes de las temperaturas en un material, o en el cuerpo o un órgano. Las imágenes se basan en la auto-emanación de radiación infrarroja (RAYOS INFRARROJOS), o en cambios en las propiedades del material o tejido que varían con la temperatura, como la ELASTICIDAD; CAMPO MAGNÉTICO; o LUMINISCENCIA.
Quemaduras	Burns	Lesiones tisulares producidas por contacto con calor, vapor, productos químicos (QUEMADURAS QUIMICAS), electricidad (QUEMADURAS POR ELECTRICIDAD), o semejantes.