



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO DE FIN DE GRADO

MÉTODOS ACTUALES UTILIZADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA PROFUNDIDAD DE LAS QUEMADURAS Y SU PROBABILIDAD DE CURACIÓN. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Sergio Marín Jiménez

Grado en Medicina

Facultad de Medicina

Año Académico 2021-22

MÉTODOS ACTUALES UTILIZADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA PROFUNDIDAD DE LAS QUEMADURAS Y SU PROBABILIDAD DE CURACIÓN. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Sergio Marín Jiménez

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de Medicina

Universitat de les Illes Balears

Año Académico 2021-22

Palabras clave del trabajo:

Quemadura, Profundidad, Diagnóstico

Burns, Depth, Assessment

Nombre del Tutor / la Tutora del Trabajo: Iván Monge Castresana

Nombre del Cotutor / la Cotutora: Josep Oriol Roca Mas

Se autoriza a la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor/a		Tutor/a	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. RESUMEN.

Introducción. Las quemaduras son lesiones variables, por ello es imprescindible determinar la profundidad de las mismas, ya que compromete el curso de su curación. Una evaluación temprana precisa de la profundidad es esencial para decidir entre manejo conservador o quirúrgico. El principal problema surge con las quemaduras de espesor parcial, donde la observación clínica no es capaz de distinguir correctamente la profundidad de la lesión. Ante este inconveniente han surgido multitud de técnicas: Videoangiografía con verde de Indiocianina (ICG), Laser Doppler (LDI) o Termografía. **Objetivos.** Realizar una revisión bibliográfica de los métodos diagnósticos utilizados para determinar la profundidad de las quemaduras de espesor parcial e intentar determinar si el uso de técnicas diagnósticas precisas ayudan a decidir en qué casos aplicar un tratamiento conservador o quirúrgico precoz que permita mejorar las secuelas ocasionadas. **Material y métodos.** Motor de búsqueda PubMed, Cochrane y diversos libros, revistas y artículos relacionados con cirugía plástica y quemaduras. **Resultados y discusión.** Laser Doppler: Los estudios incluidos revelan una sensibilidad y especificidad entre un 70-100% comparando el uso de Laser Doppler vs. Observación clínica, con un 60-75% de precisión. ICG: Los hallazgos resultantes se correlacionan con la histología y/o la clínica cerca del 100% de las ocasiones. La termografía es una técnica muy poco utilizada en la actualidad. **Conclusiones.** Ante la poca cantidad de estudios y la diferencias de resultados, se concluye que se necesitan más estudios con nivel de fiabilidad superior para la evaluación de un método diagnóstico fiable.

1.1 ABSTRACT.

Introduction. Burns are variable lesions, therefore it is essential to determine the depth of burns, as it compromises the course of healing. Accurate early assessment of depth is essential to decide between conservative or surgical management. The main problem arises with partial thickness burns, where clinical observation is not able to correctly distinguish the depth of the lesion. In view of this drawback, a multitude of techniques have emerged: Indocyanine green

videoangiography (ICG), Laser Doppler imaging (LDI) or thermography. **Objectives.** To carry out a literature review of the diagnostic methods used to determine the depth of partial thickness burns and to try to determine whether the use of precise diagnostic techniques helps to decide in which cases to apply conservative or early surgical treatment to improve the sequelae caused. **Material and methods.** Search engine PubMed, Cochrane and various books, journals and articles related to plastic surgery and burns. **Results and discussion.** Laser Doppler: The included studies reveal a sensitivity and specificity between 70-100% comparing the use of Laser Doppler vs. clinical observation, with 60-75% accuracy. ICG: The resulting findings correlate with histology and/or clinical findings nearly 100% of the time. Thermography is a very rarely used technique at present. **Conclusions.** Given the small number of studies and the differences in results, it is concluded that more studies with a higher level of reliability are needed for the evaluation of a reliable diagnostic method.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	III
1.1 ABSTRACT.....	III
2. INTRODUCCIÓN.....	1
3. OBJETIVOS.....	3
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	4
4.1 Búsqueda de literatura.....	4
4.2 Criterios de selección y exclusión.....	6
4.3 Selección de estudios relevantes.....	6
4.4 Resumen de los artículos seleccionados.....	7
5. RESULTADOS.....	10
5.1 ¿QUÉ MÉTODOS DIAGNÓSTICOS EXISTEN Y COMO FUNCIONAN?.....	10
5.2 CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS INDIVIDUALES DE LOS ESTUDIOS SOBRE LOS MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DE LA PROFUNDIDAD DE LAS QUEMADURAS.....	12
5.2.1 Estudio 1 (Karim et al., 2020): Indeterminate-Depth Burn Injury. Exploring the Uncertainty ⁽⁵⁾	12
5.2.2 Estudio 2 (Mariëlle E.H Jaspers et al., 2018). A systematic review on the quality of measurement techniques for the assessment of burn wound depth or healing potential (7).	15
5.2.3 Estudio 3 (Kasier et al., 2011). Noninvasive assessment of burn wound severity using optical technology: A review of current and future modalities (8).	16
5.2.4 Estudio 4 (Monstrey et al., 2008). Assessment of burn depth and burn wound healing potential (9)	17

5.2.5	Estudio 5 (McUmbert et al., 2019). Burn Depth Analysis Using Indocyanine Green Fluorescence: A Review (10)	19
5.2.6	Estudio 6 (Dissanaike et al., 2014). Variatons in burn perfusión over time as measured by portable ICG fluorecence: A case series (11)	19
5.2.7	Estudio 7 (McGill et al., 2007). Assessment of burn depth. A prospective, blinded comparison of laser Doppler imaging and videomicroscopy (12).	20
5.2.8	Estudio 8 (Kyung Cho et al., 2008). Relationship between healing time and mean perfusión units of laser Doppler imaging (LDI) in pediatric burns (13).	23
5.2.9	Estudio 9 (Yong Shin et al., 2016). Diagnostic accuracy of laser Doppler imaging in burn depth assessment: Systematic review and meta-analysis (14).	23
5.2.10	Estudio 10 (Khatib et al., 2014). A systematic review of the evolution of laser doppler techniques in burn depth assessment ⁽⁶⁾	24
5.2.11	Estudio 11 (Henk Hoeksema et al., 2009). Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn (15).	24
5.2.12	Estudio 12 (Sainsbury, 2015). Critical evaluation of the clinimetrics of laser Doppler imaging in burn assessment (16).	26
6.	DISCUSIÓN.	27
7.	CONCLUSIONES.	31
8.	BIBLIOGRAFÍA.	32
9.	ANEXO.	35
9.1	Tabla resumen resultados y conclusiones.	35

2. INTRODUCCIÓN.

Comenzando por la definición, las quemaduras son *“lesiones producidas en los tejidos vivos por la acción de diferentes agentes físicos: llamas, líquidos, objetos calientes, radiación, corriente eléctrica, frío, químicos (cáusticos) y biológicos; que provocan alteraciones que van desde un simple eritema hasta la destrucción total de las estructuras dérmicas y subdérmicas”* (1).

Éstas son lesiones traumáticas muy comunes a nivel global. La OMS estima que 11 millones de personas en el mundo sufren quemaduras que requieren atención médica anualmente (2). Del número total de lesiones, se estima que las quemaduras ocasionan 180.000 muertes al año aproximadamente (3). Éstas se producen mayormente en el ámbito doméstico y laboral, aunque encontramos diferencias entre géneros. En mujeres y niños es más frecuente que las lesiones se produzcan en casa, mientras que entre los hombres es más común que se produzcan en el trabajo o realizando actividades fuera de casa (2).

En España, unas 120.000 personas al año sufren algún tipo de quemadura, pero solo un 5% de éstos necesitan cuidados hospitalarios. La mortalidad en nuestro país se estima en 200 personas por año (incluyendo pacientes de todas las edades). Entre un 60-80% de estas lesiones se producen en el ámbito doméstico, mientras que entre el 10-15% en el medio laboral. La explosión y la llama son los mecanismos de producción más frecuentes, seguidas de las eléctricas y químicas (4).

Las quemaduras pueden conllevar gran cantidad de secuelas, dependiendo del grado de afectación de las mismas. Las quemaduras de primer grado no dejan ninguna secuela habitualmente, mientras que las de tercer grado (las más graves), dejan secuelas importantes, tales como queloides, discromías, cicatrices hipertróficas, retracciones cutáneas y secuelas psicológicas (5). Entre ellas, hasta un 43% de los pacientes reportan problemas de apariencia (incluso en quemaduras menores). Además, estas lesiones pueden llegar a afectar al 50% de los pacientes en el ámbito laboral, produciendo incapacidad laboral

permanente hasta en el 5% de los pacientes que presentan grandes quemaduras (6).

Estas lesiones necesitan ser valoradas por personal sanitario cualificado y entrenado para ello. Entre los objetivos de éstos se encuentra diagnosticar correctamente la profundidad de las mismas, ya que este parámetro compromete el curso de su curación, necesidad de cirugía y morbilidad asociada al daño producido (7). Debemos tener en cuenta que se ha demostrado que las quemaduras que presentan un periodo de curación mayor a 3 semanas presentan peores resultados estéticos y funcionales (8). Por ello, una evaluación temprana precisa de la profundidad de las quemaduras es esencial para decidir entre un manejo conservador o quirúrgico, para así proponer a cada paciente el tratamiento más seguro y rentable para su caso en concreto, promoviendo así una medicina individualizada y basada en la evidencia, ya que las lesiones superficiales con tratamiento conservador obtienen buenos resultados mientras que las quemaduras profundas necesitan de cirugía para poder curar correctamente.

El problema principal surge con las quemaduras de espesor parcial, donde la observación clínica (eficaz para la valoración de quemaduras de espesor superficial o total) no es capaz de objetivar correctamente la gravedad de la lesión. Ante este problema, se han propuesto a lo largo de los años multitud de técnicas para su determinación, como la Videoangiografía con verde de Indocianina (ICG por sus siglas en inglés), Laser Doppler (LDI) o la termografía. Obtener un método diagnóstico preciso, rápido y de fácil interpretación es clave para que el tratamiento que se proponga sea lo más eficaz posible, operando a los pacientes que lo necesiten mucho antes, reduciendo el tiempo de recuperación del paciente y evitando de la misma manera someter a cirugía a las quemaduras que no lo necesitan, reduciendo la morbilidad que la propia intervención quirúrgica conlleva.

Cabe resaltar que existen multitud de artículos que evalúan de forma individual las técnicas diagnósticas utilizadas para la determinación de la profundidad de las quemaduras, pero ninguno que ponga en común las ventajas y desventajas

de éstas técnicas, es decir, que las compare, por lo que este trabajo trata de revisar los métodos diagnósticos y exponer estos aspectos para intentar clarificar cuál podría ser más útil y efectivo a la hora de un uso rutinario como método de evaluación preciso.

3. OBJETIVOS.

Los objetivos principales de este Trabajo de Fin de Grado son:

- Realizar una revisión bibliográfica de los métodos diagnósticos utilizados para determinar la profundidad de las quemaduras de espesor parcial.
- Estudiar el curso de las quemaduras en base al método diagnóstico utilizado, momento de uso del mismo y decisión terapéutica aplicada.
- Determinar si el uso de técnicas diagnósticas precisas ayudan a decidir cuando aplicar un tratamiento conservador o quirúrgico.
- Investigar mediante los artículos seleccionados la evolución de los métodos diagnósticos a lo largo del tiempo.

Objetivos secundarios:

- Conocer la incidencia y prevalencia de las quemaduras a nivel mundial y nacional.
- Saber qué métodos diagnósticos existen y conocer cómo funcionan.
- Averiguar qué métodos son los más utilizados actualmente en la práctica médica.
- Identificar si los métodos diagnósticos son fáciles de usar o necesitan personal experimentado para su comprensión.
- Conocer las secuelas que pueden conllevar las quemaduras.

4. MATERIAL Y MÉTODOS.

4.1 Búsqueda de literatura.

Se realiza la búsqueda de artículos en las bases de datos de PubMed, que corresponde a la base de datos MedLine (recoge artículos y revistas de la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos) y Cochrane (base de datos de revisiones sistemáticas). Se ha utilizado el sistema PICO para realizar la búsqueda y el sistema de operadores booleanos.

Tabla 1. Pregunta PICO.

Pregunta PICO	
Paciente/Problema	En pacientes con quemaduras de espesor parcial
Intervención	El uso de métodos diagnósticos especializados
Comparación	Frente al diagnóstico por métodos de observación clínica
Resultados	¿Ayuda a decidir cuando aplicar un tratamiento conservador o quirúrgico?

Los términos utilizados para la búsqueda de artículos han sido en idioma inglés y castellano. En el caso de las búsquedas en inglés, se incluyen las palabras “Burn”, “Depth”, “Assesment”, utilizando el operador booleano “and” como nexos. En castellano, se incluyen las palabras “Quemadura”, “Profundidad”, “Diagnóstico”, utilizando el operador booleano “y”.

A fecha de 27 de enero de 2022, la búsqueda en PubMed usando los términos MeSH “Burns”, “Depth” y “Assessment” se obtuvieron un total de 711 artículos. Una vez aplicados los criterios de selección y exclusión, un total de 60 artículos fue el resultado, de los cuales se leyeron los *abstracts* de todos ellos y se escogieron 9 artículos para la revisión definitiva.

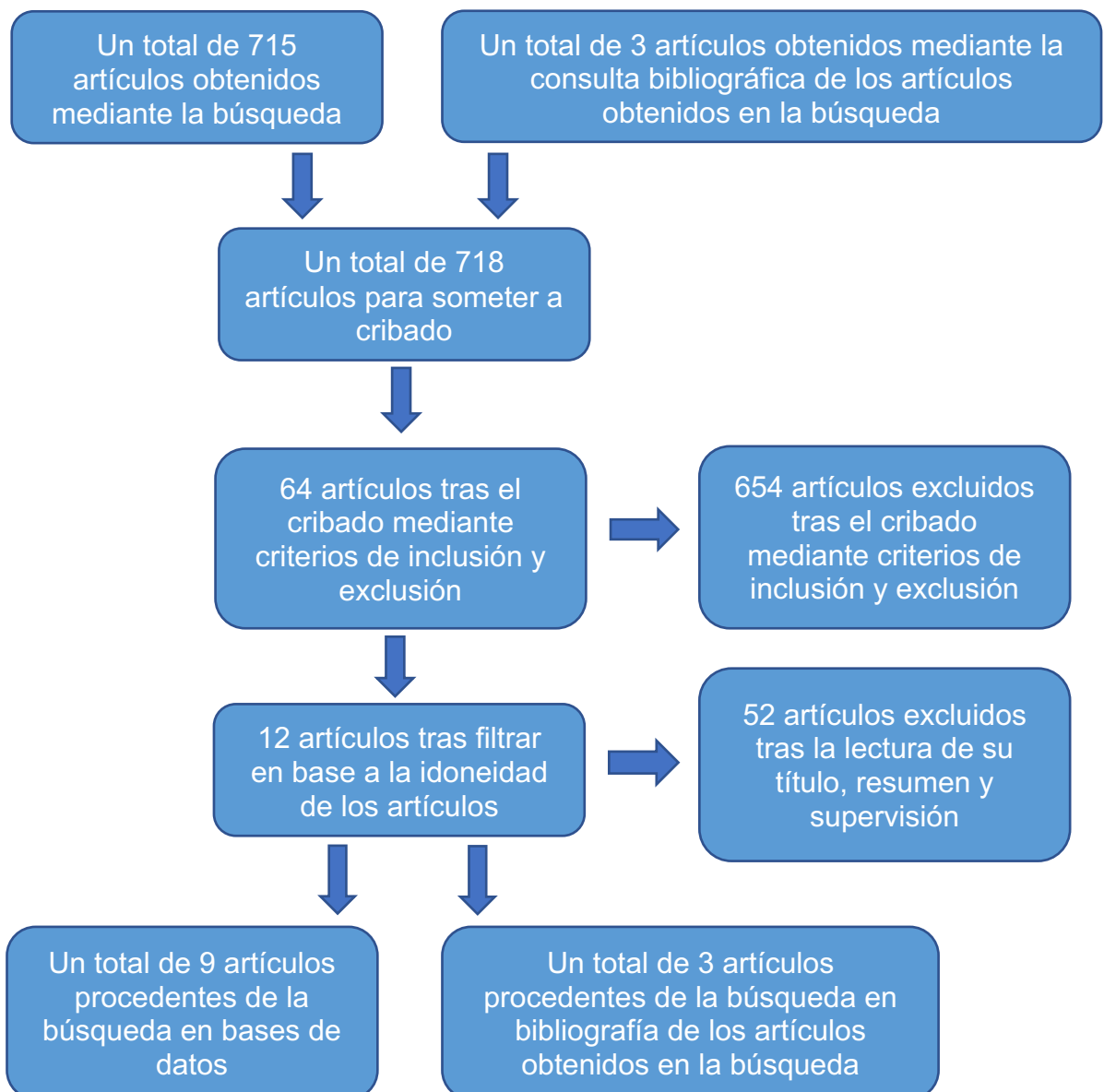
La búsqueda realizada en Cochrane con los términos “Burn depth assessment” dio un total de 4 resultados, de los cuales todos cumplían los criterios de selección y exclusión, aunque todos ellos fueron excluidos por su título y

resumen, ya que no están relacionados con el tema a estudio o no son relevantes para el mismo.

El resto de artículos fueron escogidos revisando la bibliografía de los artículos escogidos en PubMed, revisando que cumplieran con nuestros criterios de selección y exclusión.

Por último, se revisaron diversos libros, revistas y artículos relacionados directamente con cirugía plástica y quemaduras a los que se llegó de forma indirecta y sirven para clarificar conceptos o definiciones de este TFG.

Figura 1. Diagrama de flujo construido en base a la selección de artículos.



4.2 Criterios de selección y exclusión.

Los criterios de selección fueron:

- Estudios realizados en humanos (de todas las edades)
- Publicaciones en idioma inglés y español.
- Publicaciones realizadas en los últimos 15 años (2007 en adelante).

Los criterios de exclusión fueron:

- Estudios no realizados en humanos.
- Estudios en otro idioma que no sea Inglés o Español.
- Publicaciones realizadas antes del año 2007.

4.3 Selección de estudios relevantes.

Los estudios escogidos y plasmados en la bibliografía de este trabajo fueron escogidos por el autor (Sergio Marín Jiménez), bajo supervisión y cooperación de los especialistas en Cirugía Plástica, Estética y Reparadora:

- Dr. Iván Monge Castresana.
- Dr. Josep Oriol Roca Mas.

Leyenda:

E → Estudio "X";

LDI → Laser Doppler;

ICG → Videoangiografía con verde indocianina.

4.4 Resumen de los artículos seleccionados.

Título	Autor principal; Año; Revista; DOI	Tipo de Estudio	Objetivo
E1. Indeterminate-Depth Burn Injury-Exploring the Uncertainty.	Karim et al., 2020 (7). <i>The Journal of surgical research.</i> DOI: 10.1016/j.jss.2019.07.063	Revisión bibliográfica	Estudio de resultados sobre técnicas diagnósticas actuales para quemaduras de espesor parcial.
E2. A systematic review on the quality of measurement techniques for the assessment of burn wound depth or healing potential.	Mariëlle E.H Jaspers et al., 2018 (9). <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/j.burns.2018.05.015	Revisión sistemática.	El objetivo de esta revisión es evaluar, comparar y resumir la calidad de las propiedades de medición relevantes de las técnicas que pretenden cuantificar la profundidad de la herida por quemadura o el potencial de cicatrización.
E3. Noninvasive assessment of burn wound severity using optical technology: a review of current and future modalities	Kasier et al., 2011 (10). <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/j.burns.2010.11.012v	Manuscrito de autor.	Revisión de las técnicas diagnósticas ópticas en uso clínico actualmente.
E4. Assessment of burn depth and burn wound healing potential	Monstrey et al., 2008 (11) <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/j.burns.2008.01.009	Revisión bibliográfica.	Revisión de modalidades diagnósticas actuales para proporcionar una evaluación objetiva de la profundidad de la quemadura, desde la evaluación clínica hasta la biopsia y la histología y las técnicas de medición de la perfusión.

Título	Autor principal; Año; Revista; DOI	Tipo de Estudio	Objetivo
E5. Burn Depth Analysis Using Indocyanine Green Fluorescence: A Review.	McUmber et al., 2019 (12) <i>Journal of burn care & research: official publication of the American Burn Association</i> DOI: 10.1093/jbcr/irz054	Revisión bibliográfica	Evaluar y revisar críticamente la literatura sobre ICG para proporcionar una descripción del potencial de esta técnica para diagnosticar la profundidad de las quemaduras de espesor parcial.
E6. Variations in burn perfusion over time as measured by portable ICG fluorescence: A case series	Dissanaike et al., 2014 (13) <i>Burns & Trauma</i> DOI: 10.4103/2321-3868.142397	Reporte de casos.	Estudiar resultados sobre la técnica ICG aplicada de forma precoz en quemaduras de espesor parcial en base a resultados obtenidos en casos reales (n=3).
E7. Assessment of burn depth: A prospective, blinded comparison of laser Doppler imaging and videomicroscopy	McGill et al., 2007 (14) <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/J.BURNS.2006.10.404	Reporte de casos	Comparar la evaluación de la profundidad de las quemaduras mediante videomicroscopía óptica con el Laser Doppler (LDI) en pacientes con quemaduras.
E8. Relationship between healing time and mean perfusion units of laser Doppler imaging (LDI) in pediatric burns	Kyung Cho et al., 2009 (15) <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/J.BURNS.2008.12.009	Reporte de casos	Evaluar relación entre tiempo de curación y cantidad de perfusión observada en LD y determinar valor de corte para LD que prediga si una quemadura curará en 14 días.

Título	Autor principal; Año; Revista; DOI	Tipo de Estudio	Objetivo
E9. Diagnostic accuracy of laser Doppler imaging in burn depth assessment: Systematic review and meta-analysis.	Yong Shin et al., 2016 (16) <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/j.burns.2016.03.012	Revisión bibliográfica	Evaluación de la precisión diagnóstica de la LDI en los estudios incluidos en este artículo.
E10. A systematic review of the evolution of laser Doppler techniques in burn depth assessment.	Khatib et al., 2014 (8) <i>Plastic surgery international</i> DOI: 10.1155/2014/621792	Revisión sistemática.	Revisión sistemática de los estudios relacionados con técnica Laser Doppler y destacar las controversias actuales y las áreas en las que es necesario seguir investigando con respecto a esta técnica.
E11. Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn	Henk Hoeksema et al., 2009 (17) <i>Burns : journal of the International Society for Burn Injuries</i> DOI: 10.1016/j.burns.2008.08.011	Reporte de casos	Estudiar la precisión en la evaluación temprana de la profundidad de las quemaduras mediante la técnica Laser Doppler y estudio de esta en diferentes días post-lesión.
E12. Critical evaluation of the clinimetrics of laser Doppler imaging in burn assessment.	Sainsbury, 2008 (18) <i>Journal of wound care</i> DOI: 10.12968/jowc.2008.17.5.29155	Revisión bibliográfica	Estudio de resultados sobre la técnica LDI en la evaluación de quemaduras.

5. RESULTADOS.

5.1 ¿QUÉ MÉTODOS DIAGNÓSTICOS EXISTEN Y COMO FUNCIONAN?.

Antes de comenzar a analizar los resultados de los artículos que componen este trabajo, se debe conocer cuáles son y como funcionan los diferentes métodos diagnósticos existentes para evaluar la profundidad de las quemaduras. Estos son:

- **Microangiografía con verde de indocianina (ICG):** La indocianina es una molécula anfipática que cuando se inyecta en el torrente sanguíneo se une a la lipoproteína (ICG-LP), protegiendo el dominio hidrófilo de la molécula de ICG para que no se una a la bicapa lipídica de las membranas celulares intactas. De esta manera, la microangiografía por video fluorescente permite una evaluación dinámica en tiempo real de la perfusión tisular. En las quemaduras, la disminución del flujo sanguíneo relacionado con la oclusión microvascular y el edema conduce a una reducción de la fluorescencia del ICG, lo que permite identificar la profundidad de la lesión con alta sensibilidad. Hace poco además se identificó una propiedad novedosa sobre esta técnica. Se vio que el dominio hidrofóbico expuesto de ICG se unió a los fosfolípidos expuestos de las membranas celulares necróticas, actuando así como un tinte ávido de necrosis. El uso de esta propiedad de ICG podría aprovecharse para aumentar la determinación preoperatoria e intraoperatoria del tejido necrótico para mejorar la evaluación visual en la toma de decisiones quirúrgicas en lesiones por quemaduras (7). El sistema de videoangiografía por verde indocianina utiliza un diodo laser para iluminar la parte que se desea analizar. La cámara implantada puede ser configurada para captar secuencias de imágenes desde 3,75 a 70 frames/segundo. Las imágenes obtenidas son revisadas en un monitor de alta definición en tiempo real. El verde de indocianina se une rápidamente a la albúmina presente en el plasma, y es exclusivamente excretada por vía biliar en forma desconjugada, evitando así la circulación enterohepática. Su vida media en sangre es de 2,5-3 minutos y puede ser

administrado múltiples veces en la misma persona de forma completamente segura (19).

- **Termografía:** Esta técnica se basa en la premisa de que la piel emite radiación infrarroja que puede correlacionarse con la temperatura. La disminución del flujo sanguíneo da como resultado una disminución de la temperatura en las quemaduras dérmicas profundas y de espesor total, mientras que las quemaduras superficiales demuestran un aumento del flujo sanguíneo y emiten una mayor radiación. Existe una técnica experimental más moderna que ofrece mejoras sobre la termografía estática, llamada termografía dinámica activa (ADT), que ha mostrado ser prometedora en estudios piloto. La ADT mide las tendencias de conducción de calor a lo largo del tiempo después de la aplicación de calor a la piel. El tejido normal disipa el calor a través de radiación y por conducción o convección a los vasos sanguíneos, mientras que la piel quemada solo puede conducir el calor a través de la radiación. Esta variación en la conducción de calor se puede utilizar para crear una imagen en 3D de la herida. (7).
- **Laser Doppler:** La flujometría Doppler se basa en los principios de Doppler que establecen que cuando las ondas de luz monofrecuencia se reflejan en objetos en movimiento, experimentan un cambio de frecuencia. Entonces, la luz láser que se dirige a las células sanguíneas en movimiento, muestran un cambio de frecuencia que es proporcional a la cantidad de perfusión en el tejido, por ello, como las lesiones por quemadura tienen comprometida la perfusión, se puede determinar la perfusión existente en la zona herida, evaluando así la profundidad de la misma (11).
- **Mediciones con tecnología óptica:** Se basan en la obtención de datos en base a los cambios ópticos en los componentes dérmicos de la piel desnaturalizada (colágeno, cantidad de agua, flujo sanguíneo...), midiendo la absorción y la dispersión de la luz al incidir contra la lesión. En los últimos tiempos se ha utilizado una combinación de tres técnicas: fotopletoisigrafía, imagen real y obtención de imágenes multiespectrales. La combinación de estas tres técnicas demostró ser superior al uso por separado de las mismas, pero presentan sus ventajas y desventajas (7).

5.2 CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS INDIVIDUALES DE LOS ESTUDIOS SOBRE LOS MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DE LA PROFUNDIDAD DE LAS QUEMADURAS.

5.2.1 Estudio 1 (Karim et al., 2020): Indeterminate-Depth Burn Injury. Exploring the Uncertainty (7).

Este artículo realiza una buena síntesis de todos los métodos diagnósticos usados actualmente. En este, se pone de manifiesto que el método diagnóstico clásico para la determinación de la profundidad de las quemaduras es la evaluación visual. Sin embargo, un estudio incorporado en este artículo analizó 951 casos de quemaduras de <15% del área de superficie corporal total y encontró que en el 27.5% de las quemaduras, el diagnóstico inicial de profundidad fue diferente al diagnóstico final, siendo 18 de estas heridas (el 44%) no tan profundas como se diagnosticaron inicialmente.

Cabe resaltar, que el método diagnóstico Gold Estándar para la evaluación de la profundidad de las quemaduras es la evaluación histológica, pero esta no se realiza habitualmente por los múltiples problemas asociados, tales como el dolor asociado a la realización de una biopsia, la heterogeneidad del lecho de la herida que requiere múltiples biopsias dentro de una herida y el tiempo que lleva el procedimiento de tinción. Por tanto, esta técnica diagnóstica se reserva casi exclusivamente para el ámbito de la investigación.

La imagen que se muestra a continuación expone varios tipos de quemadura mediante la técnica Gold Estándar, la histología, pudiéndose observar así las diferencias entre las lesiones de espesor parcial, completo y tejido sin daño.

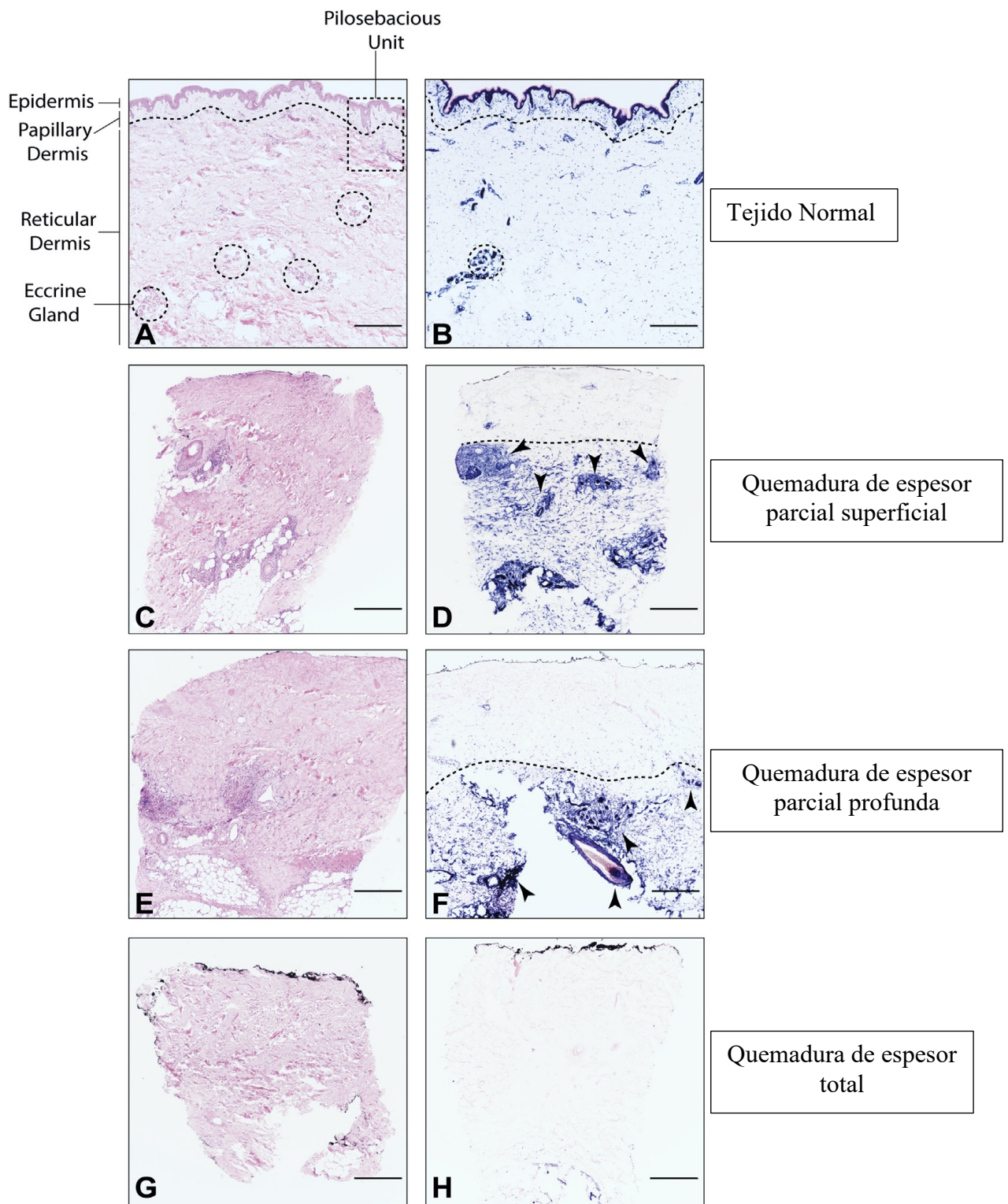


Imagen 1. Secciones histológicas de piel humana normal y biopsias con quemaduras de espesor parcial y completo. A, C, E y G son tejidos teñidos con hematoxilina y eosina. B, D, F y H son tejidos teñidos de lactato deshidrogenasa (LDH) con células viables teñidas de azul. Paneles C y D representan una quemadura superficial de espesor parcial. Paneles E y F muestran una quemadura profunda de espesor parcial. Paneles G y H representan una quemadura de espesor total sin potencial regenerativo visible.

En cuanto a técnicas de imagen, este artículo Karim et al., 2020, analiza los siguientes métodos.

- Microangiografía con verde de indiocianina: En un estudio incluido en el artículo de 20 pacientes con quemaduras de varias profundidades a los cuales se le realizó microangiografía ICG dio como resultado correlación con la histológica de las quemaduras. Sin embargo, este mismo estudio encontró que las mediciones están influenciadas por vendajes, sangre y ungüentos, lo que resulta en una disminución de la absorción de la señal ICG que podría conducir a una sobreestimación o subestimación de la profundidad de las quemaduras.
- Termografía: En un artículo analizado, se pudo comprobar que esta técnica pudo predecir la profundidad de la herida de las quemaduras en un 90% con el análisis histológico, utilizando una técnica llamada termografía estática. Sin embargo, los resultados de esta técnica puede confundirse por la pérdida de calor por evaporación, la profundidad variable de los vasos sanguíneos según la ubicación de la quemadura y cambios activos en la herida como resultado de la formación de tejido de granulación.
- Laser Doppler: Varias investigaciones incluidas en este artículo, estiman una precisión del 70% al 100% en la predicción de heridas que sanaría, y del 93 %-100% de precisión para determinar las heridas que no sanarían. Sin embargo, se evidenció que esta técnica está limitada por el comportamiento variable de la perfusión de la herida en función de la profundidad de la lesión y los factores ambientales y fisiológicos.
- Mediciones con tecnología óptica: Al ser una técnica tan novedosa, a día de hoy no existen estudios suficientes para determinar la eficacia de este tipo de técnicas, aunque a medida que esta tecnología continúa perfeccionándose, este tipo de técnicas pueden representar el futuro de la determinación de la profundidad de las quemaduras.

5.2.2 Estudio 2 (Mariëlle E.H Jaspers et al., 2018). A systematic review on the quality of measurement techniques for the assessment of burn wound depth or healing potential (9).

El artículo *Mariëlle E.H Jaspers et al., 2018*, realizado a modo de revisión sistemática, analiza una cantidad de 36 artículos, plasmando sus resultados en base al nivel de evidencia. *Resaltar que para este TFG se escogieron los estudios con nivel de evidencia fuerte que analiza este artículo, siendo un total de 4 artículos, ya que se considera que son los más representativos.*

Un estudio realizado en 2014 (Hoeksema Belgium, 2014) que incluía una n=204 pacientes y comparaba el uso de Laser Doppler vs. Observación clínica, evidenció que con la primera técnica la Sensibilidad era de un 91,9%, la Especificidad de un 96%, VPP 91,6% y VPN 96%.

Otro estudio (Holland Australia, 2014) que incluía una n=49 (niños), y que comparaba el uso de Laser Doppler frente a la observación clínica, puso en manifiesto que en <14 días la sensibilidad era de un 97% y la especificidad un 72%. Entre los días 14-21 la sensibilidad disminuía hasta el 71%, mientras que la especificidad subía hasta el 96%. En >21 días la sensibilidad era del 70% y la especificidad del 100%

Un último estudio (La Hei, Australia, 2006), que incluía una n=31 pacientes, reveló una sensibilidad del 97% y una especificidad del 100%.

En resumen, todos los artículos incluidos en esta revisión sistemática, revelan una sensibilidad entre el 70-100% y una especificidad entre el 70-100% en cuanto a la técnica láser doppler, resaltando que la gran mayoría revela una sensibilidad mayor en los primeros días post-lesión, que es inversamente proporcional a la especificidad, que aumenta según pasan los días desde el momento de la quemadura.

En cuanto a las técnicas de termografía, un estudio (Singer USA, 2015) que incluía un total de 24 pacientes y comparaba el uso de esta técnica con la observación de la lesión y su histología, reveló una sensibilidad del 87 %, una especificidad del 87,5%, una VPP 90,9% y un VPN del 82,4%.

Este artículo propone la técnica de Laser Doppler como la más favorable de las estudiadas, aunque aún así se necesitaría un uso mayor para comprobar su precisión.

5.2.3 Estudio 3 (Kasier et al., 2011). Noninvasive assessment of burn wound severity using optical technology: A review of current and future modalities (10).

El artículo Kasier et al (2011) profundiza en las técnicas con Láser Doppler y Videoangiografía con verde de indocianina. En cuanto al diagnóstico con Láser Doppler, este artículo pone en manifiesto que por la manera de funcionar de esta técnica y explorar los vasos sanguíneos de la lesión, es congruente que los resultados que se obtienen al realizar dicha técnica se correlacionan en un 95% de las veces con la histología de la misma, que determina la necesidad de escisión quirúrgica e injerto.

El Láser Doppler ofrece ventajas como que no es invasivo (ya que se puede realizar a > de 1 m del paciente), puede evaluar un área grande, no irradia, etc. Aunque, no queda libre de imperfecciones ya que actualmente el dispositivo es grande, difícil de colocar y con un coste económico elevado, además de que el paciente debe permanecer inmóvil durante la evaluación de la lesión para evitar artefactos, que puede llegar a durar varios minutos. Además, algunos errores de diagnóstico que pueden aparecer se deben a la reactividad vasomotora, acumulación de sangre en respuesta a cambios de temperatura ambiente, posición del paciente, o problemas como anemia, celulitis o enfermedad vascular periférica. No obstante, aun exhibiendo todos los problemas que podrían aparecer, cabe resaltar que dicha técnica es extremadamente valiosa para la evaluación de heridas por quemaduras.

En cuanto a la Videoangiografía con Verde Indocianina, este artículo pone en manifiesto que los hallazgos con esta técnica se correlacionaron con la histología y/o la clínica cerca del 100% de las veces. Con esta técnica se pueden producir escaneos rápidos y fáciles de interpretar que se asemejan a los resultados del Laser Doppler, pero en un dispositivo más compacto y económico. Además, se ha demostrado que con esta técnica se puede distinguir quemaduras de espesor parcial muy temprano, dentro de las primeras horas post-lesión. Una clara ventaja de este método diagnóstico es que aunque existan patologías microvasculares como pueden ser la diabetes o la insuficiencia cardíaca, es completamente útil, sin aparecer artefactos. Las desventajas radican en la

necesidad de su administración intravascular, además de que el verde de indocianina aunque es altamente seguro puede asociar prurito, urticaria, cefalea, diaforesis y riesgo de anafilaxia. Otro problema asociado a esta técnica es la necesidad de que sea operador-dependiente experimentado, ya que la diferenciación entre fluorescencia normal o disminuida o aumentada puede ser muy leve, por lo que la evaluación podría no ser clara.

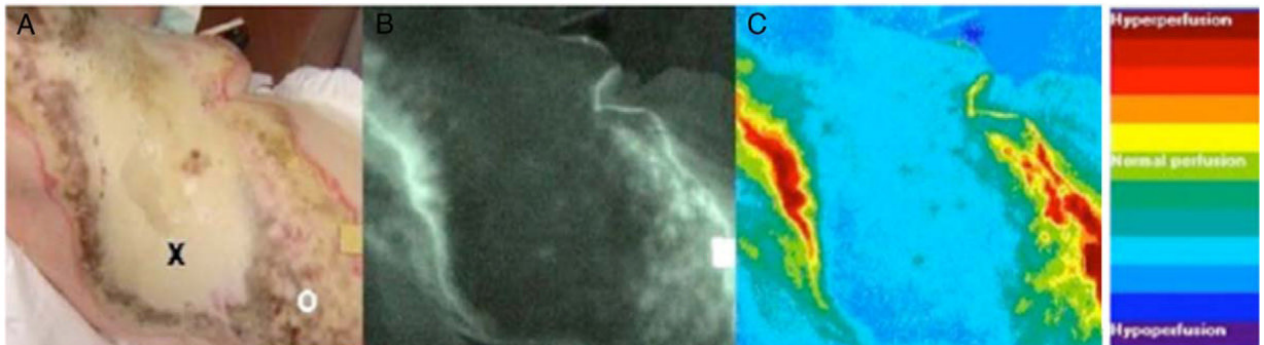


Imagen 2. Videoangiografía con verde de indocianina. A) Fotografía de una quemadura en el tórax con zona central de espesor total (marcado con una "X") y zonas periféricas de espesor parcial (marcado con una "O"). B) Imagen de angiografía sin procesar con áreas más brillantes correspondientes a las regiones de mayor perfusión. C) Imagen generada por ordenador cuantificando la fluorescencia, siendo las zonas de mayor perfusión representadas en rojo y las de menor perfusión en azul.

5.2.4 Estudio 4 (Monstrey et al., 2008). Assessment of burn depth and burn wound healing potential (11) .

El artículo Monstrey et al., 2008, analiza la Termografía y el Laser Doppler como técnicas diagnósticas. Comenzando por la termografía, se sabe que las heridas más profundas son más frías que las superficiales, consecuencia de la menor perfusión vascular en la superficie de la lesión. Se encontraron diferencias de hasta 2°C entre la piel lesionada y la no lesionada. Entonces, aunque la termografía es una técnica fácil de usar, ésta se encuentra limitada por los efectos confusos de la pérdida de calor ambiental. La pérdida de calor por evaporación hacia el medio ambiente hace que se creen artefactos, pudiendo clasificar una herida como más profunda sin realmente serlo. Además, la precisión se ve comprometida si las lesiones comienzan a sintetizar tejido de granulación, por lo que el momento adecuado para usar esta técnica diagnóstica es durante los 3 primeros días post-lesión.

En cuanto a la Videoangiografía con Verde Indocianina, este artículo informa que dicho método diagnóstico determina la viabilidad dérmica con alta sensibilidad y la ventaja de poder correlacionar la estructura (por ej. vasos dérmicos coagulados) con la función (perfusión local alterada). Aun así, se demostró que ungüentos y apósitos pueden provocar una disminución de la absorción del componente de hasta un 63%, lo que conlleva a una sobreestimación muy elevada de la profundidad de las quemaduras. Para solucionar este posible problema se propone la eliminación y limpieza de todas las sustancias tóxicas de la lesión al menos 10 minutos antes de la realización de la técnica diagnóstica.

En cuanto a la técnica Laser Doppler, se expone que este método diagnóstico es una medida muy válida para el diagnóstico de la profundidad de las quemaduras, ya que se ha informado en otros estudios incluidos en este artículo de una precisión de hasta el 99% (excluyendo heridas infectadas). Los estudios más recientes incluidos sugieren que mediante la realización de esta técnica diagnóstica se pueden distinguir las quemaduras que sanaran o no mediante reepitelización en 3 semanas. Se expone también que la precisión de la evaluación mediante Laser Doppler fue del 100% en comparación con la biopsia-histología y solo del 65% para la evaluación clínica. Para evaluar la profundidad de la quemadura, se informó de una precisión del 97% con esta técnica. Otros estudios incluidos en este mismo artículo, informan de una precisión de 95-97% para las exploraciones realizadas entre el día 3-5 post-lesión respectivamente, en comparación con el 52,5% y el 71,4% que se obtuvo con la evaluación clínica. Se informó que el uso de esta técnica permitió una determinación mas temprana de la necesidad de extirpar e injertar quemaduras y demostraron que el uso de LDI ayudó a evitar cirugías innecesarias. En pacientes pediátricos, la estancia hospitalaria se redujo a una media de 9,8 días con el diagnóstico temprano mediante Laser Doppler, en comparación con 15,1 días antes de su introducción. Además, debemos tener en cuenta que a diferencia de la técnica ICG, con respecto al uso de ungüentos y apósitos, se ha observado que el Láser Doppler tolera frotis ligeros.

5.2.5 Estudio 5 (McUmbler et al., 2019). Burn Depth Analysis Using Indocyanine Green Fluorescence: A Review (12) .

Este artículo (McUmbler et al., 2019), realiza una revisión sobre el uso del Verde de Indocianina para el diagnóstico de las quemaduras. Analiza un total de 4 estudios. Este estudio a través de la revisión de datos realizado, concluye que la evaluación clínica es una forma muy común y cómoda para determinar la profundidad, pero ha demostrado únicamente entre un 60-75% de precisión, con los problemas que esto conlleva, ya que conduce a una escisión e injerto retrasados, produciendo mayor riesgo de infección, mayor tiempo de hospitalización y mayor coste del tratamiento.

La Videoangiografía ICG presenta un fácil uso en quirófano y buena representación visual de las estructuras analizadas, por lo que los cirujanos pueden observar a tiempo real los cambios de fluorescencia, lo que permite mejorar la precisión en el diagnóstico de casos donde la evaluación clínica no fue capaz por si misma.

Este estudio resalta el problema existente actualmente, en el que muchos de los artículos publicados no informan de las precisiones porcentuales, las sensibilidades o las especificidades, por lo tanto, clasificar objetivamente la capacidad de ICG para ayudar en el diagnóstico es difícil.

5.2.6 Estudio 6 (Dissanaike et al., 2014). Variatons in burn perfusión over time as measured by portable ICG fluouescence: A case series (13) .

Este artículo (Dissanaike et al., 2014), estudia una serie de casos reales donde fue utilizada la técnica de diagnóstico por Videoangiografía con Verde de Indocianina, exponiendo así una serie de conclusiones sobre su uso.

Se comienza exponiendo el problema que supone el esperar y ver la evolución de las quemaduras de espesor parcial, que aunque sea día a día, frecuentemente toma entre 5-7 días de retraso para decidir si necesita intervención quirúrgica, aumentando así el tiempo de ingreso en el hospital, entre otras comorbilidades asociadas. Por ello, este estudio propone el uso de ICG para el diagnóstico precoz. Los pacientes incluidos en el estudio fueron personas con quemaduras de espesor parcial de menos de 15% de superficie corporal

afectada. A través de 3 casos, se demostró que la técnica de ICG demostraba un gran potencial para diferenciar la profundidad de las quemaduras el mismo día que se produjo la lesión. Debemos tener en cuenta las limitaciones que existen en este estudio al ser la "n" (=3) muy pequeña, pero objetivó que si bien la perfusión medida varió con la profundidad de la quemadura, esta diferencia fue también evidente incluso cuando varias áreas padecían de una lesión muy profunda o superficial, con el problema que esto conlleva, que puede ser que sea difícil establecer un punto de corte para tomar una decisión sobre el tratamiento quirúrgico. No hubo diferencia significativa en el caso de este estudio que requirió cirugía y el caso que curó por métodos conservadores en cuanto a la perfusión absoluta. Si que existió una variabilidad sustancial en la perfusión entre los días 3-4 entre el paciente que precisó cirugía y el que no, lo que indica que el momento de la intervención afectará a los resultados.

5.2.7 Estudio 7 (McGill et al., 2007). Assessment of burn depth. A prospective, blinded comparison of laser Doppler imaging and videomicroscopy (14).

Este artículo (McGill et al., 2007), expone que la escisión inmediata y el injerto de piel es un tratamiento aceptado para el manejo de las quemaduras dérmicas profundas que ha demostrado acortar la estancia hospitalaria, la reducción de infecciones y por tanto la necesidad de antibióticos. Esto revela la necesidad de determinación precisa de la profundidad de las quemaduras. La evaluación clínica es subjetiva, posee una precisión entre un 60-80%. El análisis histológico mediante biopsia se desestima y se aparta únicamente para la realización de estudios, ya que es un procedimiento invasivo que únicamente proporciona una instantánea de la quemadura, por lo que pueden existir errores. Se debe resaltar la importancia del plexo capilar dérmico en el contexto de las heridas por quemaduras, por ello, la técnica Laser Doppler posee tanta importancia. Varios estudios demuestran que la LDI es fiable, reproducible y que existe una buena concordancia entre ésta y los hallazgos histológicos. Las imágenes producidas por ésta técnica tienen la ventaja de ser no invasivas, sin contacto y que pueden escanear grandes áreas a la vez para proporcionar un mapa de la profundidad de la quemadura que se puede usar para determinar si se necesita intervención

quirúrgica. Una desventaja es que adquirir el material necesario para este método es altamente costoso. Por ello, existe una alternativa a esta técnica que es más asequible, la Videomicroscopía transcutánea, que se ha demostrado que proporciona información fiable sobre la permeabilidad de los vasos. Por tanto, este artículo se encarga de analizar y comparar estas dos técnicas diagnósticas.

La Videomicroscopía transcutánea consiste en evaluar la integridad de los vasos dérmicos. Para ello, se usa una lente que requiere de contacto directo con la superficie quemada, por ello se debe cubrir con un paño estéril la lente. La profundidad de la quemadura se evalúa observando la presencia de un plexo capilar dérmico intacto, esto significa que es una quemadura de espesor parcial superficial. Sin embargo, si se objetiva presencia de destrucción capilar y depósitos de hemoglobina en la dermis, se diagnostica una lesión de espesor parcial profunda. La ausencia completa de capilares denota una lesión de espesor completo.

El estudio realizado en este artículo, presenta un total de 27 pacientes divididos en 3 grupos en base al tratamiento y tiempo de curación: 14/27 (52%) se trataron de forma conservadora y curaron en 21 días; 3/27 (11%) fueron tratados de forma conservadora y no curaron en 21 días; 10/27 (37%) fueron sometidos a cirugía (escisión temprana e injerto de piel).

El primer grupo (14/27) que demostró curación primaria en <21 días, fueron quemaduras de espesor parcial superficial. La técnica LDI identificó altos niveles de perfusión, mientras que la videomicroscopía reveló que la destrucción capilar era mínima.

En el segundo grupo (3/27), la técnica LDI identificó áreas de disminución de perfusión de la piel concordante con una lesión de espesor parcial profundo, mientras que las áreas restantes sí que eran superficiales. La videomicroscopía encontró lesiones grado 3 (lesiones de espesor parcial profundo a lesión de espesor completo) en las mismas zonas que reveló la técnica laser Doppler.

En el tercer grupo (10/27), la primera evaluación con ambas técnicas reveló quemaduras de espesor parcial profundo o total, por lo que se decidió intervención quirúrgica. En general, la correlación de resultados entre la técnica LDI y la videomicroscopía fue fuerte.

Por tanto, estudios previos concluían que la LDI era reproducible y confiable, con una sensibilidad entre el 90-100% y una especificidad entre el 92-96%. Este estudio demuestra que la sensibilidad de la LDI para detectar lesiones de espesor parcial superficiales fue el 100%. En cuanto a videomicroscopía, este estudio revela que la sensibilidad para detectar quemaduras de espesor parcial superficial fue del 100%. El principal inconveniente de esta técnica es que requiere contacto directo con la lesión. En este estudio, la evaluación mediante técnicas diagnósticas fue realizada entre 31h y 72 h post lesión. Esto se debe a que estudios anteriores concluyen que este momento es el más confiable para realizar la técnica diagnóstica, ya que durante las primeras 24 horas existe estasis capilar que puede comprometer los resultados de la evaluación. Por tanto, los resultados de este estudio sugieren que el videomicroscopio es una alternativa viable al LDI como método para diferenciar las lesiones de espesor parcial y profundas, teniendo un costo más reducido.

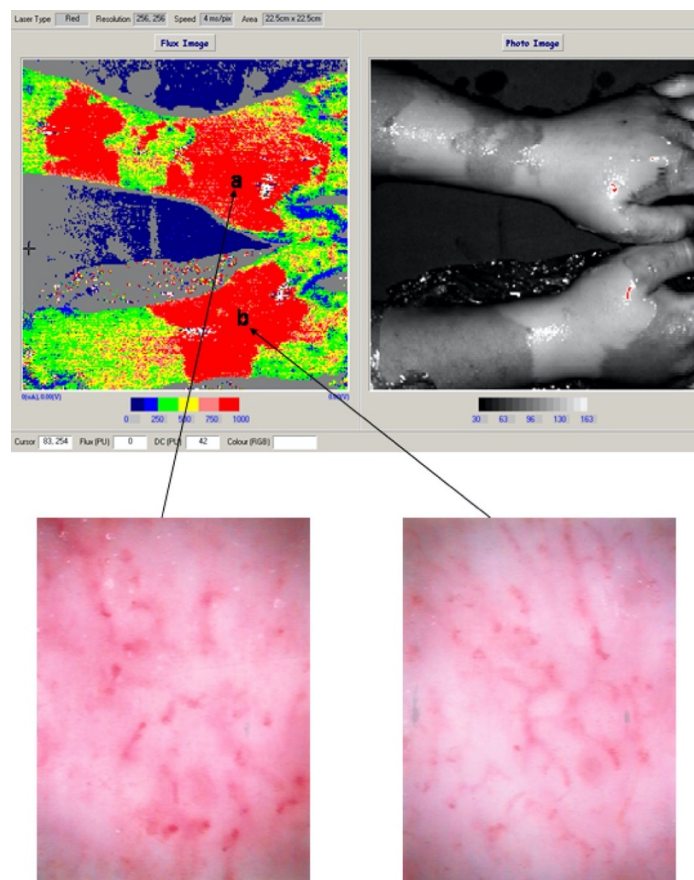


Imagen 3. Las imágenes de LDI muestran una alta perfusión (rojo) compatible con una lesión superficial de espesor parcial, mientras que las imágenes de videomicroscopía demuestran un plexo capilar intacto en ambos antebrazos

5.2.8 Estudio 8 (Kyung Cho et al., 2008). Relationship between healing time and mean perfusión units of laser Doppler imaging (LDI) in pediatric burns (15).

Este artículo (Kyung Cho et al., 2008), realiza un estudio que incluye un total de 109 pacientes menores de 15 años, que presentaban 181 lesiones por quemadura. De éstas, 94 fueron diagnosticadas clínicamente como quemaduras dérmicas superficiales y 87 como heridas profundas mediante Laser Doppler. Un total de 90 de 94 lesiones superficiales (95,7%), cicatrizaron en 14 días, y el resto (4 lesiones, 4.3%), requirieron más de 14 días; 48 de 87 (55,2%) de las lesiones profundas tardaron más de 14 días en cicatrizar, mientras el resto (39 de 87, 44.8%) cicatrizaron en 14 días.

Tras estudiar los resultados, se vio que unas unidades de perfusión medias mayores a 250 indicaban que la herida cicatrizaría en 14 días (sensibilidad 80,6% y especificidad 76,9%). Por ello, en este estudio, se subestimaron 4 (4,3%) casos al diagnosticar quemaduras dérmicas superficiales y se sobreestimaron 39 (44,8%) casos al diagnosticar quemaduras profundas. Esto explica la tendencia a diagnosticar erróneamente las quemaduras de espesor parcial como quemaduras profundas, ya que la sobreestimación no suele producir daño a los pacientes, mientras que la subestimación si que puede provocar eventos adversos.

5.2.9 Estudio 9 (Yong Shin et al., 2016). Diagnostic accuracy of laser Doppler imaging in burn depth assessment: Systematic review and meta-analysis (16)

Este artículo (Yong Shin et al., 2016), realizado a modo de revisión sistemática y meta-análisis revisa un total de 10 estudios que incluyen un total de 1154 pacientes. Cuando los 10 estudios son considerados juntos, la sensibilidad del LDI es de un 66.7% - 100% y la especificidad de 69.8% - 100%. La media de sensibilidad y especificidad que revelan estos 10 estudios fue del 89% (intervalo de confianza del 95%, IC 85-93%) y del 93% (intervalo de confianza del 95%, IC 91-95%) respectivamente. Este artículo evidenció que el LDI es una poderosa herramienta diagnóstica para la evaluación de las quemaduras, pero, sin

embargo, la sensibilidad que se evidencia es algo menor que en los comentados anteriormente, por ello propone considerar cuidadosamente y estudiar el caso antes de utilizar esta técnica como método diagnóstico para la evaluación de la profundidad de las quemaduras. Anteriormente a la realización de este estudio se estudió que las heridas por quemadura son dinámicas y no se pueden evaluar con precisión hasta 48h después de la lesión, por lo tanto, la escisión quirúrgica temprana se realizará después de las 48 h posteriores a la quemadura.

5.2.10 Estudio 10 (Khatib et al., 2014). A systematic review of the evolution of laser doppler techniques in burn depth assessment (8).

Este artículo (Khatib et al., 2014), realizado a modo de revisión sistemática, incluye gran cantidad de artículos. La gran mayoría de los estudios analizados utilizan la técnica LDI para la evaluación. El total de los pacientes estudiados contando todos los estudios es de 873. La sensibilidad varía entre un 74% - 95%, y la especificidad entre un 75 – 92,7%. Estos dos parámetros aumentan cuantos más días pasan desde el momento de la lesión. Los estudios muestran una mejora significativa en la curación y reducción del tiempo de decisión sobre realizar intervención quirúrgica cuando se compara esta técnica con la evaluación clínica. Uno de los problemas radica en que en los estudios analizados no concordaban los puntos de corte de los valores de perfusión.

5.2.11 Estudio 11 (Henk Hoeksema et al., 2009). Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn (17).

Este artículo (Monstrey et al., 2009), evalúa en un periodo de 12 meses a 40 pacientes con quemaduras con profundidad intermedia, cuyo porcentaje medio del área de superficie corporal total lesionada era del 15% (rango 3-50%). La determinación final de la profundidad de la quemadura fue evaluada mediante análisis histológico, que se comparó que los resultados que arrojaba la técnica LDI.

Los resultados de la evaluación clínica mostraron que la precisión en los días 0, 1, 3, 5 y 8 fue del 40,6 %, 61,5 %, 52,5 %, 71,4 % y 100 %, respectivamente,

cuando la precisión de la evaluación del LDI es del 54,8 %, 79,5 % y 95,0%, 97,1%, 100%.

En el día 0 de la lesión, hubo una diferencia en la precisión de la evaluación, 54,8 % para LDI y 40,6 % para la evaluación clínica. La diferencia fue aún mayor el primer día: el 79,5 % de las evaluaciones correctas se realizaron con el LDI, en comparación con el 61,5 % de las medidas clínicamente correctas. En el día 3, la diferencia fue estadísticamente significativa con una puntuación LDI correcta del 95 % y una puntuación clínicamente correcta del 52,5 %. En el día 5, encontramos que la puntuación LDI correcta fue del 97 %, en comparación con el 71,4 % para el enfoque clínico. El día 8 después de la quemadura, se evaluó clínicamente a 25 pacientes con LDI y todas las evaluaciones fueron correctas para ambas técnicas.

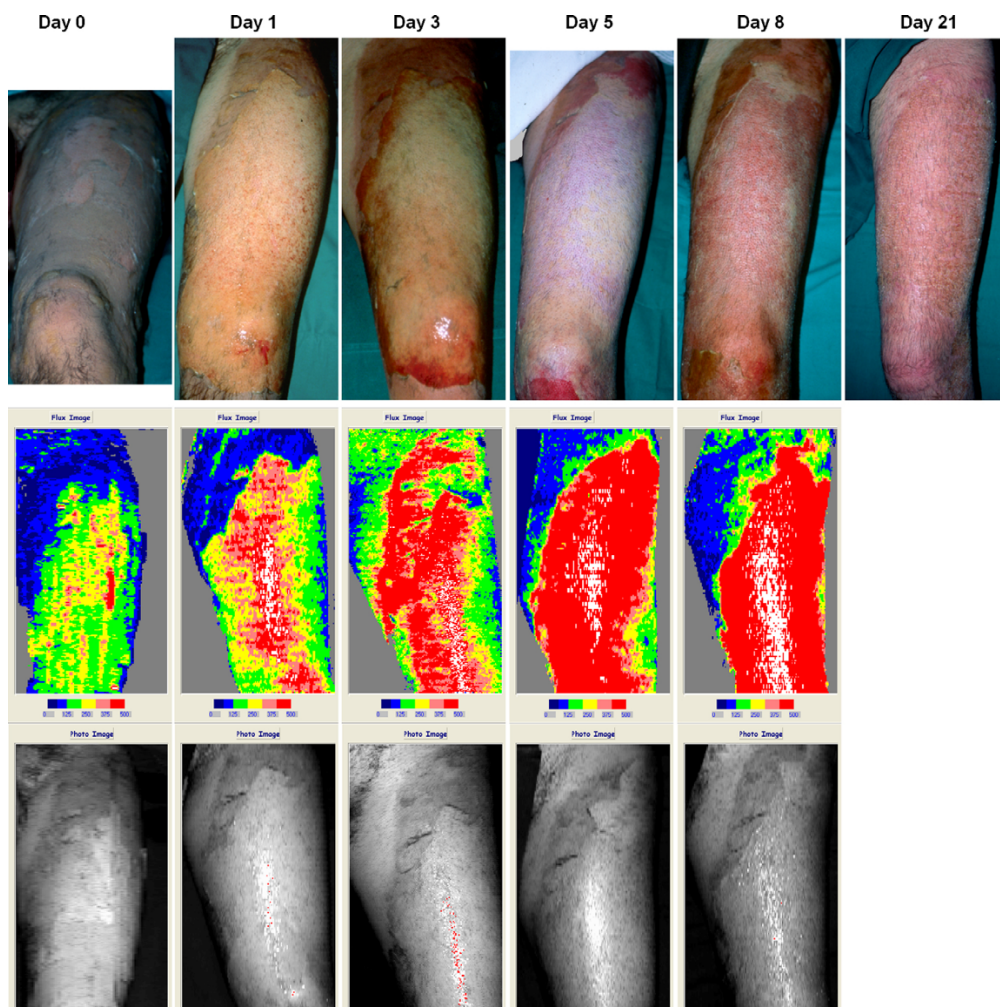


Imagen 4. Progresión de la cicatrización de la herida e imágenes Láser Doppler en los días 0, 1, 3, 5 y 8 después de la quemadura. Herida curada en el día 21. Áreas de color rojo indican alta perfusión capilar, áreas de azul menos.

5.2.12 Estudio 12 (Sainsbury, 2015). Critical evaluation of the clinimetrics of laser Doppler imaging in burn assessment (18).

Este artículo (Sainsbury, 2015), revela que las tasas de sensibilidad de las imágenes con Láser Doppler oscilaron entre el 90 %-100 % y las tasas de especificidad entre el 92-97 %. Se debe tener que en cuenta que las imágenes con Láser Doppler son sensibles a una profundidad de 1 a 2 mm, pero la piel de las plantas y la espalda puede tener una profundidad de hasta 4 mm, lo que supone un problema. Ninguno de los estudios incluidos en este artículo mencionó la ubicación de la quemadura, lo que puede afectar en la sensibilidad y la especificidad. Como el operador inevitablemente ve la quemadura (u otra herida) cuando realiza la LDI, es posible que utilice el juicio clínico al realizar una evaluación, lo que introduce la posibilidad de sesgo al mejorar artificialmente la sensibilidad y la especificidad de la LDI.

Los datos de sensibilidad y especificidad tiene validez de criterio cuando en comparación con la evaluación estándar de oro (biopsia y posterior análisis histológico).

6. DISCUSIÓN.

Como se ha ido nombrando a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, el diagnóstico correcto de la profundidad de las quemaduras es fundamental para el diseño de un plan de tratamiento rápido, rentable y eficiente para el paciente quemado. Además, junto con la extensión de la quemadura y la edad del paciente, la profundidad de la lesión es un indicador pronóstico primario de mortalidad. Por ello, un método diagnóstico eficaz, capaz de satisfacer las demandas descritas y que permita una evaluación precisa, permitiría indicar de manera más eficiente la intervención clínica más adecuada para cada tipo de paciente.

En cuanto a la técnica Laser Doppler, los estudios incluidos en este trabajo revelan una sensibilidad y especificidad entre un 70-100% comparando el uso de Laser Doppler vs. Observación clínica, con un 60-75% de precisión (8,9,12,17,18). Según el estudio (17), en el día 0 de la lesión hubo una diferencia en la precisión de la evaluación, 54,8 % para LDI y 40,6 % para la evaluación clínica. La diferencia aumentó el primer día post-lesión, siendo el 79,5 % de las evaluaciones correctas cuando se realizaron con el LDI, en comparación con el 61,5 % de las medidas clínicamente correctas. En el día 3, la diferencia fue estadísticamente significativa con una puntuación LDI correcta del 95 % y una puntuación clínicamente correcta del 52,5 %. El día 8 después de la quemadura, todas las evaluaciones fueron correctas para ambas técnicas. Se demuestra así, que la precisión de ambas técnicas se iguala cuando pasan varios días desde el momento de la lesión, por ello, una evaluación temprana permite tomar una decisión diagnóstica que podría evitar comorbilidades asociadas al tiempo de espera necesario si únicamente se utilizara la observación clínica.

Los estudios incluidos en este trabajo revelan una precisión del 70-100% de las heridas que sanarían, y del 93%-100% de precisión para heridas que no sanarían (7) con el método Laser Doppler. Cabe resaltar que el estudio (10) afirma que los resultados que se obtienen al realizar la técnica Laser Doppler se correlacionan un 95% de las veces con la histología de la misma, siendo esta última el método que determina la necesidad de escisión quirúrgica e injerto.

Únicamente un estudio presenta una sensibilidad y especificidad menor al 70% con el uso de este método diagnóstico (16). De un total de 1154 pacientes, se concluyó que la sensibilidad y especificidad eran del 69.8%-100%. Aunque sea poca la diferencia, se propone considerar cuidadosamente y estudiar el caso antes de utilizar esta técnica como método diagnóstico, siendo este el único artículo que sugiere declinar su uso rutinario como método diagnóstico de elección.

Debemos tener en cuenta que este método diagnóstico cuenta con una serie de desventajas, tales como que el dispositivo necesario es grande (aunque existe variedad de tamaño entre dispositivos de diferentes casas comerciales, por lo que esta desventaja podría encontrarse en entredicho), difícil de colocar y con un coste económico alto, además de necesitar inmovilidad por parte del paciente para evitar artefactos. Los resultados también pueden verse influenciados por reactividad vasomotora, anemia, celulitis, temperatura ambiente, etc. (10). Además, el estudio (15) analiza los resultados de LDI, dónde de 181 lesiones se subestimaron 4 y se sobreestimaron 39, lo que indica que existe una tendencia a diagnosticar erróneamente las quemaduras de espesor parcial como quemaduras profundas mediante el uso de esta técnica diagnóstica, cuya consecuencia podría un aumento del número de cirugías, que realmente serían innecesarias, ya que con tratamiento conservador éstas lesiones podrían haber curado.



Imagen 5. Ordenador central de LDI (20).

En cuanto a la Videoangiografía con Verde Indocianina, el estudio (10) revela que los hallazgos resultantes de realizar dicha técnica se correlacionan con la histología y/o la clínica cerca del 100% de las veces. El estudio (13) aunque posee una “n” poco representativa (3 casos), evidenció que esta técnica posee un gran potencial para diferenciar la profundidad de las quemaduras el mismo día que se produjo la lesión.

En cuanto a sus ventajas, es un dispositivo más compacto y económico en comparación con el Laser Doppler, además de que presenta un uso fácil en quirófano y buena representación de las estructuras analizadas, por lo que se puede observar a tiempo real los cambios de fluorescencia (10,12).

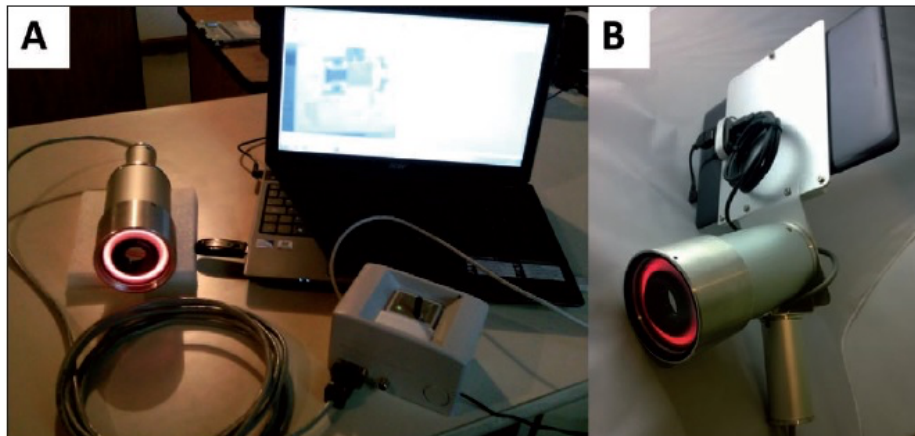


Imagen 6. Cámara empleada para la visualización de ICG en tiempo real. (21)

Se ha demostrado que esta técnica puede distinguir quemaduras de espesor parcial muy temprano, y que patologías microvasculares no causan artefactos, a diferencia del Láser Doppler. Aún así, existen desventajas, como la necesidad de administrar intravascularmente el verde de indocianina, que aunque es muy seguro, puede causar una serie de efectos secundarios, tales como prurito, urticaria, cefalea, etc. También se demostró que ungüentos y apósitos pueden provocar una disminución de la absorción del componente de hasta un 63%, lo que podría suponer una sobreestimación de la profundidad de las quemaduras, pudiendo conllevar así, un posible sobretratamiento, que en nuestro caso sería cirugía de escisión del tejido dañado y posterior reconstrucción con injerto/colgajo, con las comorbilidades que este tipo de tratamiento puede conllevar. Otra clara desventaja es que es una técnica operador-dependiente

experimentado, ya que la diferenciación entre fluorescencia normal o aumentada puede ser mínima, lo que puede inducir a errores de lectura (10,11).

Comparando las técnicas Láser Doppler y Videomicroscopia transcutánea, el artículo (14) sugiere que la segunda técnica descrita es una alternativa viable frente al Laser Doppler (más utilizada actualmente en todo el mundo), ya que demostró sensibilidad del 100% para detectar lesiones de espesor parcial superficial (al igual que el LDI), contando con la ventaja de tener un costo más reducido. Pero, la microscopia transcutánea, consiste en el uso de una lente que requiere contacto directo con la superficie quemada con los problemas que puede conllevar (infecciones, dolor, área de evaluación pequeña...), por lo que aunque sea más asequible, opinamos que a día de hoy existen otras técnicas diagnósticas que permiten una evaluación más rápida y eficiente.

En cuanto a la termografía, esta técnica es muy poco utilizada en la actualidad, ya que aunque es una técnica fácil de usar, se encuentra muy limitada por los efectos de la pérdida de calor ambiental, influyendo esto en la aparición de demasiados artefactos (11).

7. CONCLUSIONES.

Actualmente, la técnica más usada para el diagnóstico de la profundidad de las quemaduras es el Laser Doppler, ya que presenta resultados muy satisfactorios, reduciendo el tiempo de ingreso del paciente, la morbilidad o cirugías innecesarias, ya que permite diferenciar desde muy temprano la necesidad de tratamiento conservador o quirúrgico. Sin embargo, cabe resaltar que existen pocos estudios que se encarguen de evaluar técnicas novedosas y prometedoras, tales como la Videoangiografía con Verde Indocianina, que presenta ciertas ventajas sobre la técnica Laser Doppler, como menor coste, buena representación de las estructuras, o uso a tiempo real.

Aun así, es importante destacar la importancia de unificar los parámetros de medición y encontrar puntos de corte de los valores de perfusión, ya que muchos de los estudios incluidos en este TFG no mostraban acuerdo en este aspecto. Además se cuenta con pocos ensayos clínicos controlados aleatorizados en este campo, lo que supone una falta de evidencia científica para poder asegurar qué técnica aporta los mejores resultados.

Por todo ello, ante la poca cantidad de estudios y la diferencias de resultados obtenidos, se concluye que se necesitan más estudios con un nivel de fiabilidad superior para la evaluación de un método diagnóstico fiable que permita avances en este campo que conlleven a una mejora en la capacidad clínica asegurando un tratamiento adecuado con una relación coste-beneficio justificable, mejorando así la atención al paciente.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Servicio Gallego de Salud. Definición. Lesiones por quemadura - Información [Internet]. [cited 2022 Jan 26]. Available from: <https://ulcerasfora.sergas.gal/Informacion/Definición quemaduras?idioma=es>
2. Kelly D, Johnson C. Management of burns. Surg [Internet]. 2021;39(7):437–43. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263931921000995>
3. Organization WH. Quemaduras [Internet]. 2018. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/burns>
4. Servicio Gallego de Salud. Epidemiología. Lesiones por quemadura - Información [Internet]. 2018 [cited 2022 Jan 26]. Available from: <https://ulcerasfora.sergas.gal/Informacion/Epidemiologia--Queimaduras?idioma=es>
5. García González RF, Gago Fornells M, Rodríguez Palma M, Gaztelu Valdés V, García Collantes MÁ, Rodríguez JC. Reducir la secuela en una quemadura doméstica . Vol. 19, Gerokomos . scieloes ; 2008. p. 47–52.
6. Sánchez-Sánchez M, Martínez JR, Civantos B, Millán P. Perioperatorio de cirugía plástica reconstructiva y quemados en Medicina Intensiva. Med Intensiva [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2022 May 21];44(2):113–21. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0210569119301846>
7. Karim AS, Shaum K, Gibson ALF. Indeterminate-Depth Burn Injury- Exploring the Uncertainty. J Surg Res. 2020 Jan;245:183–97.
8. Khatib M, Jabir S, Fitzgerald O'Connor E, Philp B. A systematic review of the evolution of laser Doppler techniques in burn depth assessment. Plast Surg Int. 2014;2014:621792.
9. 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 Mar;45(2):261–81.
10. Kaiser M, Yafi A, Cinat M, Choi B, Durkin AJ. Noninvasive assessment of burn wound severity using optical technology: a review of current and future

- modalities. *Burns* [Internet]. 2010/12/23. 2011 May;37(3):377–86. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21185123>
11. Monstrey S, Hoeksema H, Verbelen J, Pirayesh A, Blondeel P. Assessment of burn depth and burn wound healing potential. *Burns* [Internet]. 2008;34(6):761–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417908000417>
 12. McUmbler H, Dabek RJ, Bojovic B, Driscoll DN. Burn Depth Analysis Using Indocyanine Green Fluorescence: A Review. *J Burn Care Res*. 2019 Jun;40(4):513–6.
 13. Dissanaikie S, Abdul-Hamed S, Griswold JA. Variations in burn perfusion over time as measured by portable ICG fluorescence: A case series. *Burn Trauma* [Internet]. 2014 Oct 1 [cited 2022 Jan 26];2(4):201. Available from: </pmc/articles/PMC5012158/>
 14. McGill DJ, Sørensen K, MacKay IR, Taggart I, Watson SB. Assessment of burn depth: A prospective, blinded comparison of laser Doppler imaging and videomicroscopy. *Burns*. 2007 Nov 1;33(7):833–42.
 15. Cho JK, Moon DJ, Kim SG, Lee HG, Chung SP, Yoon CJ. Relationship between healing time and mean perfusion units of laser Doppler imaging (LDI) in pediatric burns. *Burns*. 2009 Sep 1;35(6):818–23.
 16. Shin JY, Yi HS. Diagnostic accuracy of laser Doppler imaging in burn depth assessment: Systematic review and meta-analysis. *Burns*. 2016 Nov;42(7):1369–76.
 17. Hoeksema H, Van de Sijpe K, Tondu T, Hamdi M, Van Landuyt K, Blondeel P, et al. Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn. *Burns* [Internet]. 2009;35(1):36–45. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417908002593>
 18. Sainsbury DCG. Critical evaluation of the clinimetrics of laser Doppler imaging in burn assessment. *J Wound Care*. 2008 May;17(5):193-194,196-198,200.
 19. Joh JH, Park HC, Han SA, Ahn HJ. Intraoperative indocyanine green angiography for the objective measurement of blood flow. *Ann Surg Treat Res* [Internet]. 2016 May 1 [cited 2022 Jan 26];90(5):279–86. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27186573/>

20. Holland AJA, Ward D, La Hei ER, Harvey JG. Laser Doppler Line Scan Burn Imager (LDLS-BI): Sideways move or a step ahead? Burns [Internet]. 2014;40(1):113–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417913001551>
21. Otormín G, Novello G, Gambini JP, Juri HJ. Evaluación de la perfusión de colgajos mediante indocianina verde. Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana [Internet]. 2018;44(3):303–11. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/3655/365558095011/html/>

9. ANEXO.

9.1 Tabla resumen resultados y conclusiones.

Leyenda:

E → Estudio "X";

LDI → Laser Doppler;

ICG → Videoangiografía con verde indocianina.

Autor/Año	Resultados	Conclusiones
E1. Karim et al., 2020 (7).	<p>ICG: correlación con la evaluación visual e histológica de las quemaduras.</p> <p>LD: precisión del 70% al 100% en la predicción de heridas que sanarían, y del 93 %-100% de precisión para determinar las heridas que no sanarían.</p> <p>Termografía: correlación del 90% con el análisis histológico.</p>	<p>La evaluación visual de la profundidad de la quemadura es imprecisa. LDI es la técnica más ampliamente adoptada. Las quemaduras de espesor parcial continúan representando un dilema de diagnóstico y manejo para el cirujano de quemados.</p>
E2. Mariëlle E.H Jaspers et al., 2018 (9).	<p>Incluye 36 artículos que evaluaron técnicas láser Doppler, termografía.</p> <p>Se encontraron pruebas sólidas de validez adecuada de las imágenes con láser Doppler (LDI).</p> <p>Se encontró evidencia moderada de validez de termografía, videomicroscopía.</p>	<p>Teniendo en cuenta la evidencia disponible, parece que LDI es actualmente la técnica más favorable; evaluando así el potencial de cicatrización de heridas por quemadura. Se necesita investigación adicional en termografía, videomicroscopía y SFDI para evaluar todo su potencial. Los estudios futuros deben centrarse en la confiabilidad y el error de medición, y proporcionar una descripción precisa de qué constructo se pretende medir.</p>

Autor/Año	Resultados	Conclusiones
E3. Kasier et al., 2011 (10).	LD: Los resultados se correlacionan en un 95% de las veces con la histología de la misma. ICG: Los resultados se correlacionaron con la histología y/o la clínica cerca del 100% de las veces.	Si bien aún quedan muchas preguntas por responder, la experiencia hasta la fecha indica que el campo de la óptica contribuirá con un grado invaluable de precisión y conocimiento al campo de la evaluación de quemaduras.
E4. Monstrey et al., 2008 (11)	ICG: determina la viabilidad dérmica con alta sensibilidad y la ventaja de poder correlacionar la estructura LD: precisión de la evaluación mediante Laser Doppler fue del 100% en comparación con la biopsia-histología y solo del 65% para la evaluación clínica.	Para las decisiones de tratamiento reales, el láser Doppler es la única técnica que ha demostrado predecir con precisión el resultado de la herida con un gran peso de evidencia.
E5. McUmber et al., 2019 (12)	Evaluación clínica muestra 60-75% de precisión. ICG presenta un fácil uso en quirófano y buena representación visual de las estructuras analizadas, lo que permite mejorar la precisión en el diagnóstico de casos donde la evaluación clínica no fue capaz por si misma.	ICG muestra una gran promesa al ser una forma particularmente efectiva de diagnosticar la profundidad de la quemadura. y justifica más estudios para investigar la mejor manera de utilizar esta técnica en un entorno clínico.

Autor/Año	Resultados	Conclusiones
E6. Dissanaïke et al., 2014 (13)	<p>ICG:3 casos demostraron que la técnica presentaba gran potencial para diferenciar la profundidad de las quemaduras el mismo día que se produjo la lesión. La perfusión medida varió con la profundidad de la quemadura y fue también evidente incluso cuando varias áreas padecían de una lesión muy profunda o superficial. Existió variabilidad sustancial en la perfusión en los días 3-4 entre el paciente que precisó cirugía y el que no, lo que indica que el momento de la intervención afectará a los resultados.</p>	<p>Este estudio propone el uso de ICG para el diagnóstico precoz. La perfusión media varió con la profundidad de la quemadura y se detectaron cambios en lesiones mínimas o muy profundas, por lo que existe el problema de que puede ser difícil establecer un punto de corte para tomar una decisión sobre el tratamiento quirúrgico.</p>
E7. McGill et al., 2007 (14)	<p>Se examinaron 27 heridas por quemadura. En las lesiones superficiales de espesor parcial, la videomicroscopia demostró confiablemente una estructura vascular dérmica intacta o casi intacta. En el caso de quemaduras de espesor total se observó grandes cantidades de destrucción capilar y depósito de hemoglobina. Los hallazgos de videomicroscopia se correlacionaron fuertemente con los del LDI.</p>	<p>Videomicroscopia es capaz de evaluar con precisión y objetividad la profundidad de la quemadura. Los resultados se correlacionaron bien tanto con el resultado clínico como con los hallazgos del láser Doppler. Además, la videomicroscopía es significativamente más barata que LDI y evita varias de las desventajas de LDI.</p>

Autor/Año	Resultados	Conclusiones
E8. Kyung Cho et al., 2008 (15).	LD: 103 pacientes con 181 heridas por quemaduras de espesor parcial. Cuando se utilizaron 250 PU (unidades de perfusión) como valor de corte para predecir la cicatrización temprana, la sensibilidad y la especificidad fueron del 80,6 % y el 76,9 %, respectivamente en cuanto a esta técnica.	Este estudio sugiere que el PU (unidades de perfusión) medio determinado por LDI se puede utilizar como una herramienta valiosa para predecir el tiempo de curación de las heridas por quemaduras.
E9. Yong Shin et al., 2016 (16).	10 artículos para revisión. Se encontró que la sensibilidad y la especificidad agrupadas de LDI en todos los estudios y subgrupos reclutados eran igualmente altas. Sin embargo, la sensibilidad de LDI en nuestro metanálisis no fue tan alta como la identificada en estudios previos.	Aunque la LDI en la evaluación de la profundidad de las quemaduras se identificó como una herramienta de medición precisa en este metanálisis, se debe realizar una evaluación clínica cuidadosa junto con la LDI en pacientes con quemaduras profundas.
E10. Khatib et al., 2014 (8)	LD: Total pacientes 873. La sensibilidad varía entre un 74% - 95%, y la especificidad entre un 75 – 92,7%. Estos dos parámetros aumentan cuanto más días pasen desde el momento de la lesión.	Mejora significativa en la predicción de la curación de quemaduras y la reducción del tiempo para decidir operar cuando se compara la evaluación de LD con la evaluación clínica.

Autor/Año	Resultados	Conclusiones
E11. Henk Hoeksema et al., 2009 (17)	LD: Evaluación días 0, 1 3, 5 y 8. fueron del 54 %, 79,5 %, 95 %, 97 % y 100 % en comparación con las precisiones de la evaluación clínica del 40,6 %. 61,5%, 52,5%, 71,4% y 100%, respectivamente.	La evaluación de la profundidad de la quemadura con LDI fue más confiable que la evaluación clínica únicamente. Se recomienda que todas las quemaduras de profundidad intermedia se analicen con una combinación de LD y evaluación clínica, ya que ha demostrado ser más precisa que cualquiera de las dos técnicas por sí solas para garantizar un tratamiento precoz y adecuado de la herida.
E12. Sainsbury, 2015 (18)	LD: Tasas de sensibilidad de las imágenes con láser Doppler oscilaron entre el 90 %-100 % y las tasas de especificidad entre el 92-97 %.	LD posee muy buenos resultados como técnica diagnóstica, no son invasivas, no causan dolor y son relativamente fáciles de usar e interpretar. La ICG puede ser una alternativa viable, más económica, más portátil, pero se necesitan más estudios para su evaluación.