



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **APLICACIONES DE LA FLUORESCENCIA EN CIRUGÍA PLÁSTICA Y REPARADORA.**

**Laura López Pellicer**

**Grado en Medicina**

**Facultad de Medicina**

**Año Académico 2021-22**

# APLICACIONES DE LA FLUORESCENCIA EN CIRUGÍA PLÁSTICA Y REPARADORA.

**Laura López Pellicer**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Medicina**

**Universitat de les Illes Balears**

**Año Académico 2021-22**

Palabras clave del trabajo:

Fluorescencia, ICG, fluoróforo, LIMON, fluoresceína, azul de metileno, tecnecio 99m, cetuximab, ganglio centinela, NIR.

*Nombre del Tutor / la Tutora del Trabajo: Josep Oriol Roca Mas*

*Nombre del Cotutor / la Cotutora (si procede): Iván Monge Castresana*

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"/>

## Resumen

La introducción de la fluorescencia en el entorno hospitalario ha supuesto una revolución a la hora de detección de patologías, prevención de complicaciones, mejora del tiempo quirúrgico, así como en los resultados de las intervenciones quirúrgicas.

En este trabajo se realizará una revisión bibliográfica de varios artículos en relación con la fluorescencia en el ámbito de la medicina y más concretamente en cirugía plástica, y sus nuevas aplicaciones que facilitan tanto al diagnóstico como a la mejora terapéutica del paciente.

Por último, se expondrán posibles ideas sobre nuevas aplicaciones de la fluorescencia en el campo de cirugía plástica y dos casos clínicos donde se ha introducido el uso de ICG preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio, para la predicción de la viabilidad del procedimiento quirúrgico.

## ÍNDICE

1. Qué es la fluorescencia. ....pág. 5.
2. Uso de la fluorescencia en otras especialidades.....pág. 6.
3. Instrumentos de fluorescencia en cirugía plástica.....pág. 21.
4. Aplicaciones en cirugía plástica.....pág. 24.
5. Ideas e innovaciones para el uso en cirugía plástica.....pág. 36.
6. Presentación de casos clínicos .....pág. 38.
7. Conclusiones.....pág. 48.
8. Bibliografía.....pág. 49.

## 1. QUÉ ES LA FLUORESCENCIA.

La definición de fluorescencia se puede abordar tanto desde el punto de vista de la física como desde el punto de vista de su aplicación en medicina.

Según su definición física, la fluorescencia, es un tipo particular de luminiscencia, es la emisión de radiación por parte de algunos compuestos que previamente han sido expuestos a una fuente lumínica. Las especies excitadas se relajan al estado fundamental, liberando su exceso de energía en forma de fotones.<sup>1</sup>

Las sustancias que son capaces de emitir luz al ser excitadas por la radiación se denominan fluoróforos. Dependiendo de la longitud de onda que emita el compuesto fluorescente, es posible obtener una amplia variedad de colores por fluorescencia.

Las biomoléculas pueden marcarse de esta forma con un grupo químico fluorescente mediante una reacción química simple permitiendo de esta forma la detección sensible y cuantitativa de una molécula.

En medicina, se está dando cada vez más uso a las técnicas de fluorescencia, y más concretamente, el uso del verde indocianina tanto clínica como quirúrgicamente.

El verde de indocianina (ICG) se ha utilizado ampliamente para fines clínicos desde su aprobación por FDA en 1954 y principalmente solo tenía esta aplicación. El uso de esta partícula ha cobrado fuerza en los últimos años debido a que se trata de una modalidad sencilla, con alta sensibilidad, relativamente económica, fácil de reproducir y útil en determinadas especialidades quirúrgicas, siendo un trazador que nos permite ver la funcionalidad y vitalidad de los tejidos in vivo e in vitro.

El ICG tiene unas características farmacológicas de gran relevancia, por lo que lo convierten en un excelente agente de contraste vascular y linfático, y en una molécula con muchas aplicaciones en la práctica clínica.<sup>2</sup> Destacamos las siguientes propiedades:

- **Seguridad del paciente**, puesto que no es un producto tóxico ni ionizante
- **Vida media corta** en la circulación permitiendo de esta forma realizar repetidas aplicaciones en el mismo acto. La vida media de ICG es de 2-3 minutos tras ser inyectado con una penetración en el tejido de hasta 5 mm, siendo una limitación si se quiere estudiar planos profundos.
- **Buena difusión en lipoproteínas** de la sangre, siendo un buen instrumento para la angiografía.<sup>21</sup> La ICG se excita entre 760 y 785nm, emitiendo a 830nm y con la ayuda de la fluorescencia de infrarrojos cercanos es posible la captación de las ondas emitidas por el verde de indocianina. Tras su inyección intravascular, el ICG se une en un 95% a

la albúmina y a lipoproteínas, dando como resultado una baja tasa de fuga al espacio extravascular. <sup>3</sup>

No obstante, además de la parte clínica, el uso de la fluorescencia a nivel quirúrgico ha permitido identificar estructuras de difícil localización, y la evaluación de la perfusión de tejidos en vivo, y sus procesos metabólicos tras la administración de un fluoróforo o en algunos casos, sin la necesidad de administrar de compuestos ajenos debido a la capacidad de autofluorescencia de determinadas estructuras en el organismo.

La mejora de la imagen con fluorescencia puede ayudar a prevenir lesiones inadvertidas durante procedimientos quirúrgicos de estructuras anatómicas críticas que incluyen el árbol biliar, nervios, uréteres, etc.<sup>4</sup>

Por lo tanto, la fluorescencia es un campo emergente y muy innovador consiguiendo una mejora poderosa para la visualización tradicional de luz blanca de bajo contraste, ofreciendo una delineación de pseudo-color en tiempo real de complejos elementos anatómicos.

## 2. USO DE LA FLUORESCENCIA EN OTRAS ESPECIALIDADES.

El verde de indocianina (ICG) se ha utilizado durante más de 50 años en la evaluación clínica de la función cardiovascular, el aclaramiento hepático y la angiografía de retina. Tal y como se describe en su ficha técnica, sus principales indicaciones diagnósticas son:

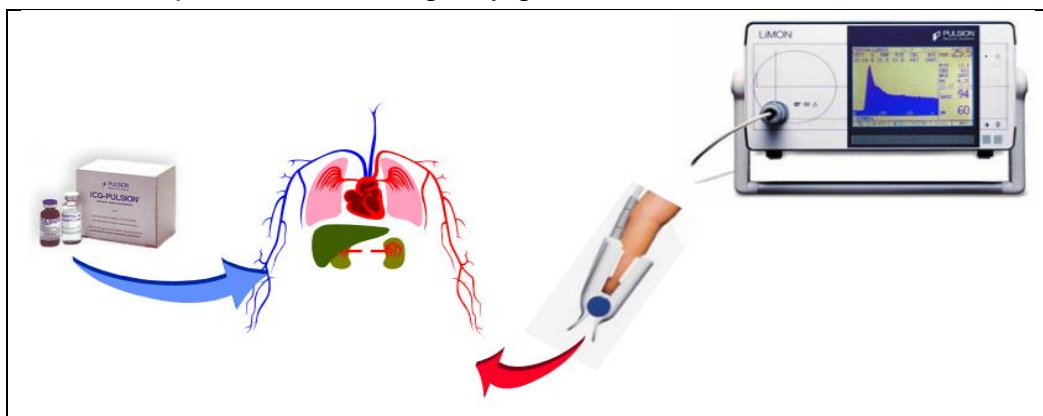
- **Diagnóstico cardíaco, circulatorio y microcirculatorio:** El ICG se utiliza para la medición del gasto cardíaco y del volumen de eyección, medición de los volúmenes de sangre circulante o medición de la perfusión cerebral.

La velocidad con la que ICG desaparece del organismo tiene carácter pronóstico, ya que la proporción en que su concentración disminuye del plasma se ha estudiado en diferentes patologías y se correlaciona con el pronóstico como es en el caso de hepatopatías o en el paciente crítico en shock circulatorio.

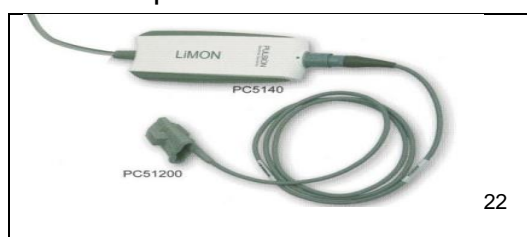
El ICG comenzó a utilizarse para medir gasto cardíaco, flujos sanguíneos regionales y hepatoesplácnico de forma invasiva con un catéter de fibra óptica que se introduce en la vena hepática. Actualmente, existen métodos no invasivos transcutáneos que han demostrado tener buena

correlación con el sistema de fibra óptica (LiMON, PULSION medical systems, Munich, Germany).

De esta forma, se administra ICG por un acceso venoso y su eliminación es captada por el sensor digital y transformada por el monitor siendo el resultado representado analógica y gráficamente.<sup>25</sup>



- **Diagnóstico de la función hepática:** Su principal función es la medición de la función excretora del hígado.
  - La medición no invasiva de la función hepática se realiza con la tecnología LiMON, al igual que con la función cardíaca, y se basa en la eliminación del verde indocianina (ICG). El ICG es un colorante fluorescente diseñado para utilizarse en forma de inyección intravenosa. Debido a que el ICG sólo se elimina a través del hígado, el índice de detección es un valioso indicador para el funcionamiento hepático.



- Es de vital importancia el estudio de la función hepática para la selección de candidatos para una resección hepática segura, previniendo de esta forma una posible insuficiencia hepática postoperatoria o incluso la muerte del paciente tras la realización de una hepatectomía, sin saber la función hepática de base. Las mediciones intraoperatorias de la tasa de eliminación de ICG son

útiles **para estimar la función futura del hígado remanente de los pacientes durante la hepatectomía**, lo que ayuda a determinar la preservación de una cantidad suficiente de parénquima hepático y previene la insuficiencia hepática postoperatoria.<sup>5</sup>

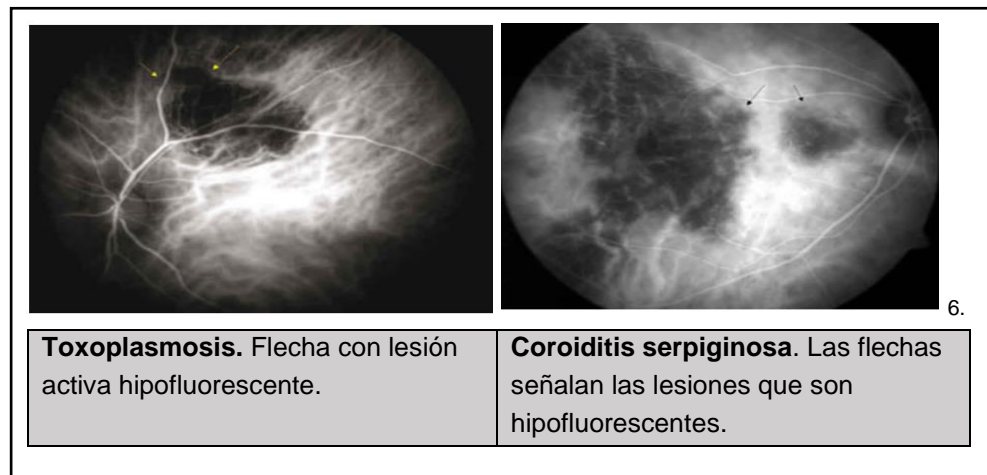
La ICG, por tanto, ha supuesto una mejora en la seguridad operativa en la resección del hígado cirrótico y juega un papel determinante en los resultados de la resección hepática en paciente con carcinomas hepatocelulares de pequeño tamaño, extirpables quirúrgicamente y para la **localización de tumores hepáticos** de difícil localización y tras su extirpación para evidenciar la presencia de márgenes libres de malignidad. <sup>5</sup>



- **Angiografía oftalmológica:** La angiografía con fluoresceína y la angiografía ICG se utilizan para la evaluación retiniana. Sin embargo, ICG ofrece una visión más precisa de la circulación coroidea. ICG es un medio de contraste fluorescente más favorable que otros tintes fluorescentes emisores de luz debido a sus características fluorescentes infrarrojas. La luz fluorescente infrarroja pasa más fácilmente a través de pigmentos, fluidos turbios, lípidos y hemorragias, lo cual es común en el tracto óptico del globo ocular.
  - La angiografía con ICG es favorable para **detectar la neovascularización coroidea** en la degeneración macular senil exudativa en comparación con la angiografía con fluoresceína.



- Es una herramienta complementaria para **diferenciar tumores retinianos o coroideos** y se ha aplicado para ayudar en el diagnóstico de trastornos inflamatorios coroideos.
- Con el ICG también se puede detectar afecciones patológicas como el desprendimiento del epitelio pigmentario de la retina vascularizado (EPR), la vasculopatía coroidea polipoidea, la rotura coroidea traumática, la maculopatía diabética, la retinopatía serosa central y las drusas maculares. <sup>5</sup>
- Además, se pueden visualizar trastornos coriorretinianos incluyendo las patologías inflamatorias como **coroiditis**, **toxoplasmosis**, sarcoidosis etc.



No obstante, aunque sus tres principales indicaciones sean las anteriormente nombradas, podemos adentrar de forma más específica en sus usos en la medicina y sus nuevas aplicaciones:

- **CIRUGÍA ENDOCRINA.**

Principalmente destacamos la aplicación de la fluorescencia en la cirugía de **la glándula tiroides, las glándulas paratiroides y la glándula suprarrenal.**<sup>2</sup>

- **Tiroides y paratiroides.** La fluorescencia y captación con ICG en las glándulas tiroideas es inferior en comparación con las paratiroides, siendo visible el tejido glandular tras su infusión desde los 35-60 segundos hasta aproximadamente 19-20 minutos.

Se han estudiado los casos de hiperfluorescencia, y en los que existía hipercalcemia preoperatoria o el aumento de tamaño de la glándula presentaban más captación. Además, se ha demostrado que existe relación entre la hipercaptación del tejido glandular paratiroideo y la función paratiroidea postoperatoria.

Es imprescindible evitar la hipofunción postoperatoria, siendo posible gracias a la identificación intraoperatoria con ICG del tejido para dejar al menos una glándula paratiroidea funcionante y vascularizada, teniendo menos relevancia controles analíticos o tratamientos profilácticos.<sup>7</sup>

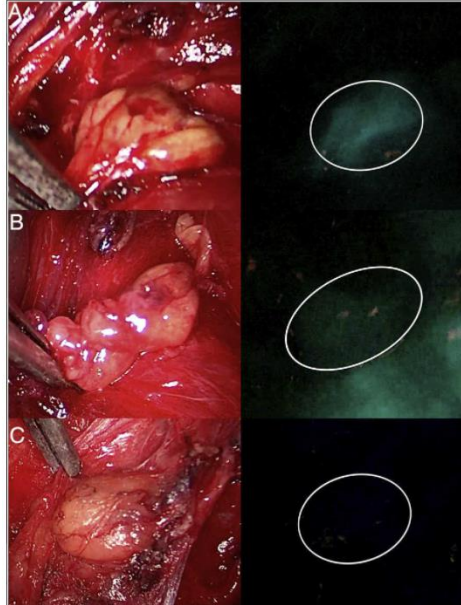
Uno de los puntos desafiantes es **tener la capacidad para preservar de las glándulas paratiroides durante la tiroidectomía** y el otro es la **localización de las glándulas paratiroides** antes de los procedimientos quirúrgicos que están dirigidos a los trastornos paratiroides.

Por este motivo, se ha estudiado la angiografía con fluorescencia ICG para localizar o evaluar la viabilidad de las glándulas paratiroides durante BABA (abordaje axilo-mama bilateral) y la tiroidectomía abierta convencional.

Recientemente, la angiografía fluorescente ICG se ha utilizado en la cirugía de tiroides y paratiroides, similar al azul de metileno y al 5-ALA.

Sin embargo, el 5-ALA y el azul de metileno aún no han alcanzado el uso estándar en cirugía endocrina, en parte debido al riesgo de efectos secundarios.

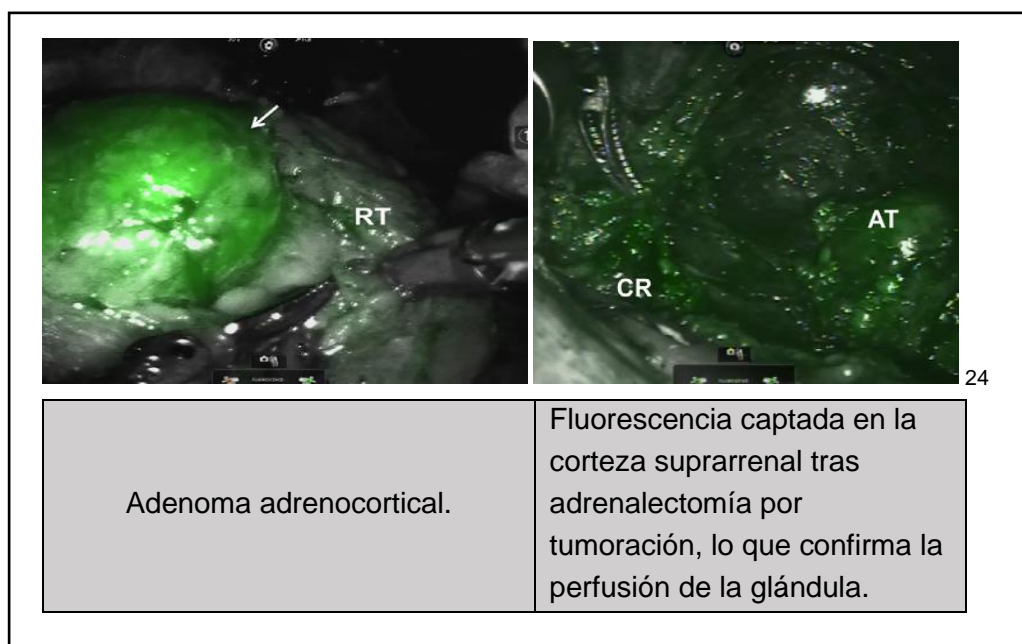
El ICG se puede usar en procedimientos laparoscópicos, no necesita tiempo de operación ni personal adicional, y tiene menos efectos secundarios en comparación con el 5-ALA y el azul de metileno, lo que hace que el **ICG sea superior a otros agentes fluorescentes**. Los estudios clínicos de fluorescencia ICG en cirugía endocrina se centran principalmente en dos temas; para evaluar la viabilidad de las glándulas paratiroides después de la tiroidectomía y para localizar las paratiroides durante la cirugía paratiroidea.<sup>8</sup>



En esta imagen vemos como en la A hay un tejido con funcionamiento heterogéneo, en la B observamos como las paratiroides están hipercaptantes y en la C hay hipocaptación de toda la glándula.

- **Adrenalectomía laparoscopia.** El uso de ICG para visualizar la vascularización adrenal permite reducir tanto el riesgo de sangrado como el tiempo operatorio, siendo una técnica segura y factible en la realización de la adrenalectomía. Además, se ha estudiado la secuencia de visualización de la fluorescencia en las glándulas suprarrenales siendo las arterias suprarrenales las que primero emiten fluorescencia, seguidas del parénquima adrenal, y finalmente, de la vena suprarrenal. Por lo tanto, la visualización de la vascularización mediante fluorescencia podría mejorar el control de la misma en las maniobras previas a la suprarrenalectomía, y sobre todo para evitar crisis noradrenérgicas en el abordaje del feocromocitoma o para ayudar a evitar hemorragias intraoperatorias.<sup>7</sup> En el estudio con mayor calibre realizado sobre adrenalectomías con ICG, se comparó el tipo de tumoración según su fluorescencia respecto al resto de la glándula, siendo de **mayor utilidad en**

**tumoraciones de origen cortical** ya que se mostraban hipercaptantes y de lo contrario, en las de origen medular se mostraban hipocaptantes (como los feocromocitomas) probablemente por déficit de expresión de la enzima bilitranslocasa.<sup>9</sup>



- **CIRUGÍA TORÁCICA.**

La cirugía toracoscópica asistida por video (VATS) se ha convertido en la cirugía torácica convencional. Sin embargo, la identificación de la vascularización durante la operación a veces es difícil debido al campo de visión limitado.

Esta limitación podría solucionarse con el uso de ICG, visualizándose la vascularización claramente incluso cuando está bloqueada por tejido pulmonar, en el que el espacio de aire contribuye a la mayor parte del volumen pulmonar.

Las aplicaciones más destacadas de la fluorescencia en cirugía torácica son:

- **La identificación de las líneas segmentarias** durante la segmentectomía VATS inyectando ICG en la vena sistémica periférica tras la ligadura de la arteria segmentaria.

- Determinación del **estado de perfusión de la anastomosis** en intervenciones como la esofagectomía y la reconstrucción de sonda gástrica.
- **Identificación de vasos y conductos linfáticos**, tales como el conducto torácico, facilitando su reparación ante una fuga.
- **Identificación de tumores pequeños** de difícil localización intraoperatoria. Se ha diagnosticado un número cada vez mayor de cánceres de pulmón ocultos triviales a medida que aumenta el uso de la tomografía computarizada en la detección precoz del cáncer de pulmón. Se ha utilizado ICG para visualizar estos tumores. El ICG se administra por vía intravenosa 24 h antes del procedimiento quirúrgico. <sup>5</sup>

- **CIRUGÍA DIGESTIVA**

- **Cirugía hepática.**

Como ya hemos remarcado anteriormente, tanto identificar la función hepática como la localización de tumores hepáticos es una de las principales aplicaciones de la fluorescencia desde sus inicios en la medicina.

El tratamiento principal de los tumores del hígado es la resección hepática y su finalidad principal es conservar la máxima función hepática.

La obtención de las imágenes basada en el uso de verde de indocianina mejora la visualización del parénquima hepático en la cirugía hepatobiliar.

- **Cirugía pancreática.**

La detección temprana tumoral a nivel pancreático es la mejor opción para disminuir la cifra de muertes por cáncer de páncreas, ocupando el séptimo puesto en mortalidad a nivel mundial el adenocarcinoma ductal pancreático y sus tasas de supervivencia son de 1 a 5 años.

No obstante, es de difícil detección debido a que no presenta síntomas específicos y no existen biomarcadores tumorales específicos para este tipo de cáncer, conllevando a un diagnóstico en muchas en estadios avanzados de la enfermedad.

Por esta razón, la aparición de nuevas técnicas para el diagnóstico precoz de la enfermedad es necesario, apareciendo innovaciones, que, aunque actualmente se encuentren en estudio, pueden suponer un cambio en la mortalidad por enfermedad pancreática.

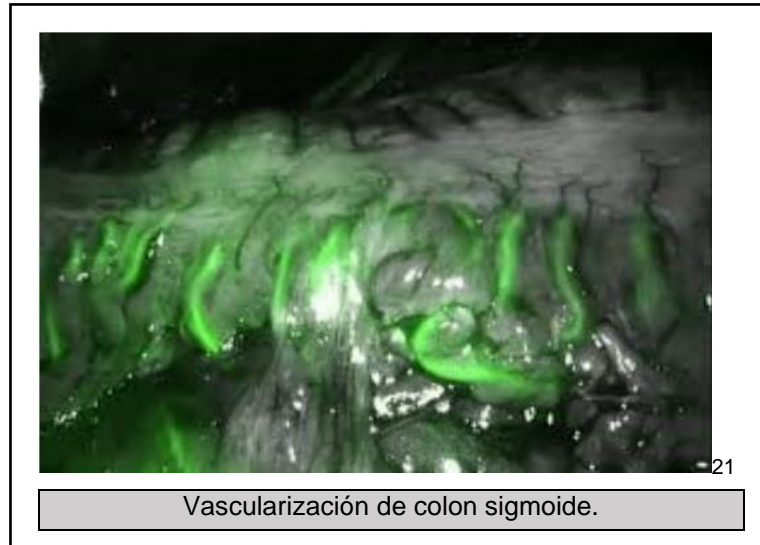
Destacamos el **cetuximab**, que es un anticuerpo monoclonal IgG1 que tiene como diana el receptor del factor del crecimiento epidérmico (EGFR). Este receptor se manifiesta en el 70% de los carcinomas pancreáticos, por lo que, el cetuximab unido a colorantes fluorescentes puede detectar y delimitar las neoplasias pancreáticas, así como sus límites y sus posibles metástasis a estómago, duodeno, hígado y otros órganos.

Otra opción es el **péptido RGD**, que se une a la integrina, la cual se sobreexpresa en diferentes tipos de tumores como en el pancreático. De esta forma, unido a un colorante fluorescente se puede detectar la neoplasia.

Estos dos ejemplos están en estudio clínico, pero nos abren puertas a las numerosas aplicaciones de la fluorescencia y su uso para la detección de neoplasias.<sup>2</sup>

- **Cáncer colorrectal.**

- Usando ICG podemos obtener de forma instantánea la perfusión del intestino, evidenciando cualquier área isquémica en cualquier momento de la operación, ya sea tras la anastomosis o antes de la disección del intestino. De esta forma, supone una mejora en el tiempo de identificación de la isquemia, ya que de media se necesitan 10 minutos para poder visualizar una isquemia intestinal con luz estándar.

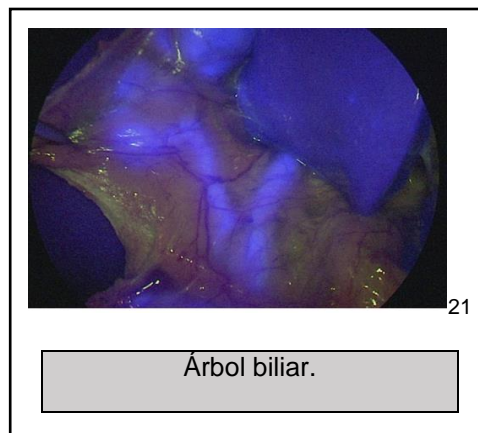


- El ICG puede ser una buena herramienta para el campo de la **oncología**, ya que, al ser una molécula de pequeño tamaño, se puede administrar vía intratumoral o subcutánea y de esta forma penetrar en los vasos linfáticos desde el espacio intersticial, por lo que nos puede ayudar en la obtención del mapeo linfático y la detección de ganglios centinela. Este mapeo linfático es más común en otras tumoraciones como la de mama o melanoma, pero en cáncer de colon no se realiza de rutina, por lo que introducirlo como procedimiento ordinario en el estadiaje de cáncer de colon sería interesante, ya que si se localizan ganglios metastásicos fuera del campo de resección tradicional sería de gran utilidad. Por lo tanto, la introducción de ICG en la detección de cáncer de colon, nos podría ayudar a cambiar la estrategia quirúrgica en función de la información que obtengamos en el procedimiento, cambiando por ejemplo de una resección transanal a una más radical.
- Además de la localización de lesiones metastásicas, la ICG podría ayudar disminuyendo la tasa de recidiva por metástasis, debido a que se pueden **establecer márgenes de resección más específicos**.

- Por último, está en proceso de estudio el **marcaje de tumores colorrectales**, con la inyección preoperatoria (uno o dos días antes) de ICG para su posterior detección en el quirófano.<sup>3</sup>

- **Colecistectomía laparoscópica.**

La colangiografía fluorescente durante la colecistectomía laparoscópica es una de las aplicaciones de ICG, ya que su excreción a nivel hepático nos permite observar la vía biliar y mejorar la visibilidad e interpretación de las estructuras anatómicas, disminuyendo la incidencia de complicaciones, siendo la más temida la lesión de la vía biliar.



- **Cirugía esofagogástrica.**

El uso de ICG en cirugía esofagogástrica puede ayudar en la **prevención de deshicencias y la evaluación de las posibles fugas anastomóticas**, ya que son una complicación frecuente y grave en la cirugía gastrointestinal. La evaluación de la perfusión con ICG reduce significativamente el riesgo de fuga anastomótica en comparación con los controles sin la evaluación de ICG.<sup>2</sup>

La evaluación intraoperatoria de la **perfusión intestinal** le brinda al cirujano la oportunidad de individualizar la cirugía y asegurar un suministro de sangre suficiente para la anastomosis. En la práctica clínica, los cirujanos verifican la viabilidad del intestino mediante una inspección general del color intestinal, la pulsación palpable y el sangrado del borde cortado.



Sin embargo, esta inspección en muchos casos no les proporciona la información exacta. Por eso se requiere de una herramienta adecuada para evaluar la perfusión intestinal durante la cirugía. Parece ser que el uso de ICG podría ser esta herramienta para objetivar este flujo de sangre a la anastomosis y así poder disminuir la tasa de fuga anastomótica. El uso ICG durante la reconstrucción del tubo gástrico puede ayudar a prevenir la necrosis del tubo gástrico.

- **Carcinomatosis peritoneales.**

La difícil detección de las metástasis a nivel peritoneal es un hecho, ya que solo disponemos de la evaluación visual y la palpación del cirujano. El uso de partículas fluorescentes que tenga que capacidad de unirse a receptores expresados en este tipo de metástasis podría aumentar la detección intraoperatoria y conseguir resecciones quirúrgicas más completas mejorando el pronóstico de los pacientes.<sup>3</sup>



- **CIRUGÍA GINECOLÓGICA.**

La detección del ganglio centinela tiene dos principales objetivos:

- **Evitar la morbilidad de la linfadenectomía**, ya que pueden aparecer muchas complicaciones tras este procedimiento destacando linfedemas, lesiones vasculares, infecciones o linfocitos sintomáticos. Todas estas complicaciones aumentan la mortalidad de la paciente.
- **Identificar de forma más precisa la región ganglionar** afectada para realizar un tratamiento más dirigido. La localización del ganglio centinela nos permite identificar la primera estación linfática, y nos ayuda en la detección de micrometástasis, aumentando así un 2,7 la tasa de detección de metástasis.

Existen varios radioisótopos para su detección, destacando el **tecnecio 99m**, **azul de metileno** o **IGC**.

- El tecnecio 99m, es el radioisótopo coloide más común en la técnica, aportando una localización prequirúrgica (PET-TAC) y se puede detectar en 3D a nivel intraoperatorio.
- Los trazadores **azules** (azul isosulfano 1% y azul de metileno 1%) también son utilizados visualización directa de ganglio centinela.
- **El uso de verde indocianina (IGC) ha reemplazado el uso del Tc99m** en muchas prácticas ya que es equivalente tanto en la detección total como en la bilateral, además presenta otras ventajas como su bajo coste, su solubilidad en agua, el fácil manejo o su unión rápida a la albúmina.

Los estudios han revelado que el trazador azul es inferior al ICG en la detección de ganglio centinela y la combinación de ambos ha demostrado una mayor tasa de detección. Por lo tanto, además de todas las ventajas que posee el uso de ICG, también evitamos que el paciente pase por el procedimiento de inyección intra o peritumoral de un radiofármaco para su detección, así como su estudio preoperatorio con la necesidad de ayuda del servicio de Medicina Nuclear y la irradiación del paciente.<sup>10</sup>

En esta tabla destacamos las ventajas y desventajas de los diferentes colorantes:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Azul</b>	Barato	Detección baja.
<b>Tc 99m</b>	Localización prequirúrgica precisa (SPECT/TC), elevada tasa de detección.	Alto coste, requiere de medicina nuclear, no confortable.
<b>IGC</b>	Bajo coste, fácil interpretar en la cirugía, reproducible, confortable, elevada tasa de detección.	Inyección intersticial, requiere torre óptica infrarrojos.
<b>Hierro supramagnético oxidado</b>	Localización precisa (RMN)	En investigación inicial.

- **CARDÍACO.**

Como novedades además de la detección del gasto cardíaco, fracción de eyección y lo anteriormente comentado, está en estudio la detección de endocarditis infecciosa.

La endocarditis infecciosa es una enfermedad con alta mortalidad y se necesita urgentemente un diagnóstico para diagnosticar con precisión esta enfermedad, especialmente en el caso de la endocarditis de válvula protésica. La maltohexosa conjugada con verde de indocianina (MH-ICG) puede detectar la infección por *Staphylococcus aureus* en un modelo de endocarditis infecciosa en ratas.<sup>11</sup>

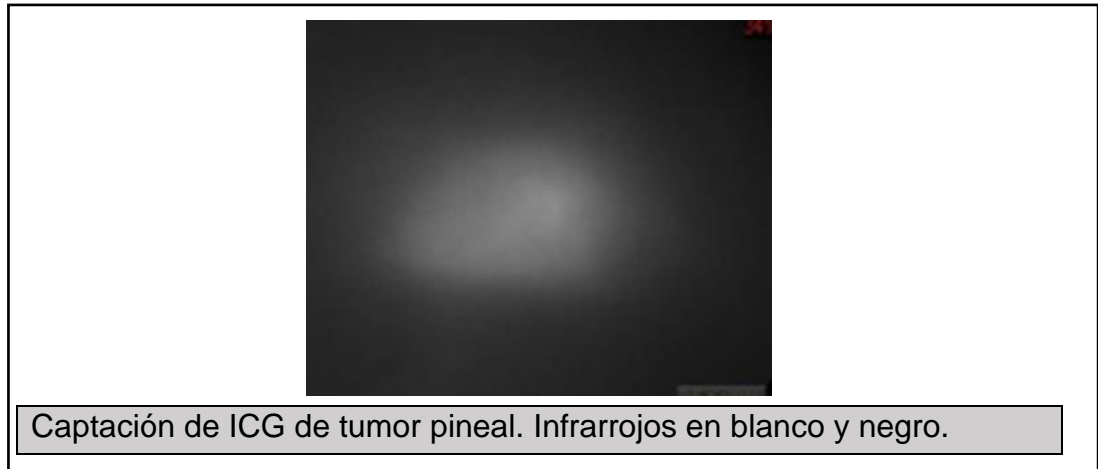
- **NEUROCIRUGÍA.**

El verde de indocianina se usa comúnmente para visualizar la vascularización cerebral, particularmente en el manejo de aneurismas cerebrales. También ha habido intentos de usar ICG para la visualización de tumores.

La inyección de ICG seguida de microscopía de fluorescencia inmediata está limitada por el corto período de tiempo para la obtención de imágenes y la administración y la profundidad restringida de la obtención de imágenes. Second Window Indocyanine Green (SWIG) es una técnica actualmente novedosa que se utiliza para la visualización intraoperatoria de tumores en tiempo real con una infusión de alta dosis de ICG 24 horas antes de la cirugía. Esta técnica, aborda las limitaciones anteriormente comentadas al permitir tiempos de contraste más prolongados y la obtención de imágenes de regiones más profundas del tejido cerebral.<sup>26</sup>

La biopsia de las lesiones de la médula espinal a menudo es difícil por una variedad de razones, incluida la naturaleza delicada del tejido y la diferenciación visual del tejido normal del lesionado, especialmente en lesiones con realce heterogéneo.

ICG es eficaz para visualizar lesiones de la médula espinal que de otro modo serían visualmente insignificantes. Esta tecnología puede facilitar la biopsia de estas lesiones y posiblemente su resección quirúrgica.<sup>12</sup>



- **CIRUGÍA RENAL.** Se está introduciendo el ICG en el ámbito del trasplante renal, para evaluar la perfusión renal postrasplante.

A modo resumen, la fluorescencia está ocupando un lugar importante en casi todas las especialidades quirúrgicas ya que su uso puede prevenir y evitar numerosas complicaciones tanto iatrogénicas como sobreañadidas de la cirugía.

En esta tabla se refleja las aplicaciones de la ICG en las diferentes estructuras anatómicas y las complicaciones que se pueden evitar con su uso:

ESTRUCTURA	APLICACIONES	COMPLICACIONES
<b>Nervios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de estructuras nerviosas</li> <li>- Neurorrafia,</li> <li>- Procedimientos mínimamente invasivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daño iatrogénico.</li> <li>- Más tiempo en identificación de nervio.</li> </ul>
<b>Uréter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora en su detección, procedimientos mínimamente invasivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daño iatrogénico.</li> </ul>
<b>Vía biliar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapa de perfusión hepática y biliar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daño en conducto biliar.</li> <li>- No resección completa</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colectomía y pancreatoduodenectomía</li> <li>- Trasplante de órganos.</li> <li>- Cirugía endoscópica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anastomosis subóptimas</li> </ul>
<b>Sistema linfático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de canales linfáticos, ganglio centinela y metástasis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No identificación completa.</li> <li>- Daño linfático.</li> <li>- Linfedema.</li> </ul>
<b>Sistema venoso.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar perfusión e identificar anatomía vascular.</li> <li>- Mejora cirugía cardíaca y vascular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eventos tromboembólicos</li> <li>- Reconstrucciones subóptimas.</li> </ul>
<b>Líquido cefalorraquídeo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de pérdida de LCR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No identificación.</li> </ul>

### 3. INSTRUMENTOS DE FLUORESCENCIA EN CIRUGÍA PLÁSTICA.

Existen numerosos sistemas disponibles en el mercado que son utilizados en cirugía abierta y laparoscópica. Las marcas más utilizadas son **Stryker, IC-View** (Pulsion Medical Systems, Munich, Alemania), D-Light de **Storz** (Alemania), **PDE-neo Sistema** (Hamamatsu Photonics, Hamamatsu, Japón), o el SPY Elite Kit (LifeCell Corporation, Bridgewater, NJ, EE. UU.).<sup>3</sup>

Las principales casas comerciales que podemos destacar para el uso de ICG son las siguientes:

- **STORZ.** Aporta una imagen óptima y obtiene información adicional para practicar la técnica quirúrgica con mayor precisión.

Esta casa, con aparataje como OPAL1® de KARL STORZ permite la reproducción de imagen por fluorescencia NIR/ICG, usando el verde de indocianina y una luz con longitudes de onda en el espectro del infrarrojo cercano (NIR).



- **FLUOPTICS** ©. Las imágenes de fluorescencia proporcionan información cualitativa y cuantitativa para una mejor evaluación de la perfusión. Esta información permite al cirujano realizar un análisis objetivo de la perfusión en tiempo real, siendo la señal de fluorescencia representativa de esta perfusión tisular.

La angiografía por fluorescencia permite a los cirujanos:

- Identificar las perforantes del colgajo antes de la operación.
- Verificar las anastomosis vasculares y la perfusión del colgajo en tiempo real.
- Evaluar la perfusión tisular en el posoperatorio

La angiografía de fluorescencia se realiza con la cámara NIRF FLUOBEAM®, combinada con la inyección intravenosa de verde de indocianina (ICG) durante la cirugía y FLUOBEAM® muestra en pantalla imágenes claras de la dinámica del flujo sanguíneo.

Las imágenes desplegadas por Fluobeam® brindan información adicional, lo que permite al cirujano mejorar su comprensión para prevenir eventuales complicaciones postoperatorias.



- **Stryker.** El sistema portal de imagen SPY utiliza la tecnología de imágenes de fluorescencia SPY y permite a los cirujanos visualizar la circulación, incluidos vasos linfáticos y sanguíneos, así como la perfusión tisular relacionada, mediante imágenes de fluorescencia por infrarrojo cercano en diferentes procedimientos quirúrgicos. Destacamos las siguientes características:

- Calidad de imagen. Resolución de 1080p a 60 fps, ofreciendo imágenes nítidas.
- Varios modos de visualización.
- Distancia de trabajo flexible y amplitud de campo de imágenes.
- Inmunidad a la luz ambiental.



- **PDE.**

La evaluación cualitativa a pie de cama de la perfusión tisular de forma no invasiva, aumentando la calidad de la terapia y disminuye la morbilidad y la duración de la estancia hospitalaria.

Sus principales aplicaciones son:

- Cirugía. Para la perfusión de anastomosis y extensión de la resección isquemia intestinal
- Quemaduras. Para la evaluación de la profundidad de la quemadura y definir del área de resección
- Oncología. Detección de ganglio linfático centinela

- Perfusión periférica. Síndrome del pie diabético, nivel de amputación, arteriosclerosis, úlceras por decúbito etc.
- Cirugía plástica. Su principal aplicación es para la reconstrucción, para colgajos cutáneos y libres, perfusión microvascular etc.



En resumen, existen muchas marcas comerciales para la técnica de visualización con ICG, y no existe preferencia según la marca si no por el coste y elección según el hospital o sección donde se utilice.

#### 4. APLICACIONES EN CIRUGÍA PLÁSTICA

Las aplicaciones de la fluorescencia, y más concretamente la ICG en cirugía plástica son principalmente **la linfangiografía** en el mapeo del ganglio linfático centinela para el cáncer de mama y el melanoma, la revisión de **perfusión o anastomosis en microcirugía**, la estadificación y **tratamiento del linfedema crónico**, y por último y más novedoso para la **evaluación de la perfusión de colgajos pediculados, libres** o grandes colgajos cutáneos tras degloving.

- **Mapeo de ganglios linfáticos centinela.**

El mapeo de ganglios linfáticos centinela se realiza sobre todo en el abordaje del cáncer de mama, aunque ahora se está extendiendo a todos los procesos neoplásicos con capacidad metastásica linfática.

- **CÁNCER DE MAMA.**

La metástasis en los ganglios regionales es uno de los factores pronósticos más importantes en el cáncer de mama. Para diagnosticar estas metástasis, el procedimiento adoptado durante mucho tiempo fue el vaciamiento ganglionar electivo, pero a costa



de varias complicaciones, como linfedema, déficit funcional, parestesias, dolor crónico y secuelas estéticas.

Como alternativa a esta conducta surgieron el mapeo linfático y la biopsia del ganglio centinela.

El ganglio centinela es el primero en recibir drenaje linfático de un tumor y, por lo tanto, el que tiene mayor riesgo de desarrollar metástasis.

La técnica más utilizada para la identificación del ganglio centinela es el método de modalidad dual que implica la inyección de nanocoloide marcado con tecnecio-99m (Tc) y colorante azul (BD) en la región peritumoral o periareolar.

Los ganglios detectados mediante un contador de centelleo portátil y los ganglios identificados durante la cirugía se reconocen como ganglios centinela y se extraen, seguidos de la confirmación histopatológica de metástasis.

Las técnicas novedosas estudiadas en los últimos años incluyen aquellas que usan **fluorescencia de verde de indocianina (ICG)**, nanopartículas de óxido de hierro superparamagnético (SPIO) e imágenes de ultrasonido mejoradas con contraste usando microburbujas (CEUS).

La técnica de fluorescencia ICG ocupó el primer lugar en términos de detección, además de tener la tasa de falsos negativos más baja de las técnicas comparadas.

El ranking de otras técnicas en orden descendente fue SPIO, Tc, modalidad dual (Tc/BD), CEUS y BD en términos de tasa de detección.<sup>13</sup>

El método de biopsia del ganglio linfático centinela se ha utilizado ampliamente para evaluar el estado linfático axilar.

La linfografía con verde de indocianina (ICG) ofrece un método potencial para visualizar los linfáticos mamarios e identificar morfologías anormales que podrían facilitar un diagnóstico e intervención más tempranos.

La SLNB guiada por verde de indocianina es una tecnología prometedora en pacientes con cáncer de mama en estadio temprano. La técnica básicamente consiste en inyectar ICG, y una

vez inyectado tarde entre 1 y 10 minutos en transferirse a los ganglios linfático centinela, mientras tanto, se apaga la luz de quirófano y se utiliza la cámara CCD para detectar el drenaje de ICG peritumoral. Una vez detectados, las luces se vuelven a encender y se procede a la biopsia.<sup>27</sup>

○ MELANOMA.

Para el estudio de ganglios centinela en el melanoma, con la combinación del colorante azul y los radiocoloides se consigue identificar con precisión los ganglios centinela en el 96% de los pacientes con melanoma cutáneo.

La tasa general de identificación de ganglios centinela con la combinación de estos dos métodos no alcanza el 100% ya que el flujo del trazador es deficiente especialmente en paciente con tumores primarios ubicados en tronco o extremidades proximales después de la escisión o biopsia.

ICG permite un flujo suave a lo largo de la vía linfática y puede permitir la identificación de los ganglios centinelas no identificables por el método de los radioisótopos por el flujo deficiente del trazador radiactivo.

Se han hecho varios estudios investigando la tasa de detección según el tipo de colorante utilizado y la combinación de ambos y todos han demostrado que el uso concomitante de colorante azul, radiocoloides e ICG permite reducir la tasa de falsos negativos en su detección.<sup>14</sup>

Por lo tanto, se puede concluir que cuando se usa ICG con colorante azul o <sup>99m</sup>Tc, aumenta tanto la sensibilidad como la precisión de detección de ganglios. Ningún estudio recomienda el uso de ICG como marcador único para el mapeo de ganglios centinela en el melanoma cutáneo.<sup>15</sup>



- **Micro / supermicrocirugía para el linfedema crónico.**

El linfedema es un proceso crónico que afecta, generalmente, a las extremidades. Se caracteriza por el acúmulo de fluido rico en proteínas en el espacio intercelular del tejido subcutáneo y la piel.

El linfedema crónico es una enfermedad que afecta a 250 millones de personas en todo el mundo y su principal etiología es la lesión o destrucción de los ganglios por diversas causas (cirugía, radiación, infección). Concretamente, la causa más frecuente de linfedema adquirido en nuestro medio es la cirugía, sobre todo, y el tratamiento oncológico.

Otras causas menos frecuentes en nuestro medio de linfedema adquirido son: las infecciones (Filariasis, TBC...); la invasión tumoral, debido a la obstrucción de los ganglios linfáticos por un tumor; y los procesos inflamatorios.

La aplicación más reciente de ICG en pacientes con linfedema es la **transferencia de ganglios linfáticos vascularizados**. Esta técnica requiere el uso concomitante de inyecciones subcutáneas distales preoperatorias de radiocoloides e inyección proximal de ICG. Por lo tanto, el operador solo puede coger los ganglios linfáticos del abdomen inferior sin riesgo de tomar los que drenan la extremidad inferior.

Esta técnica reduce el riesgo de inducción de linfedema y además es segura, mínimamente invasiva y adecuada para la evaluación pre, intra y postoperatoria del canal linfático. Sus principales utilidades son:

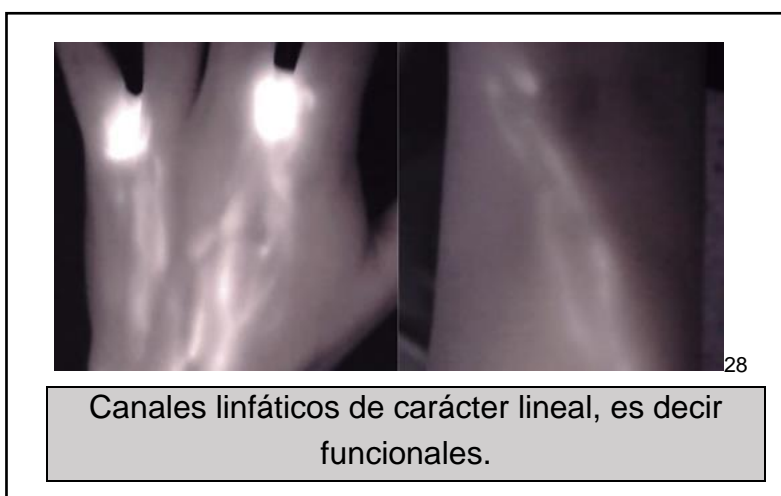
- Identificar vasos linfáticos funcionales y ubicaciones anatómicas óptimas para realizar una derivación linfaticovenular.

- Evaluar la gravedad funcional del linfedema y permitir a los cirujanos clasificar y seleccionar antes de la operación a los pacientes más adecuados para la derivación linfaticovenular.
- Evaluar objetivamente los cambios en el estado del linfedema en pacientes después de una cirugía de linfedema.

La linfografía se considera el estándar de oro para detectar anomalías del flujo linfático y proporcionar una evaluación cuantitativa de la función linfática. Es una buena técnica para detectar vías linfáticas y **realizar anastomosis linfaticovenular (LVA)**, y reportaron hallazgos de linfografía ICG como “reflujo dérmico” e “imagen de fluorescencia obstruida” como patrones característicos observados en el linfedema secundario de miembros inferiores.

La linfografía con verde indocianina consiste en la administración de forma inyectada a nivel subcutáneo de la molécula que al ser excitada por una longitud de onda emite fotones captados por la cámara de infrarrojos y se puede visualizar como imagen en el monitor.

De esta forma, se pueden visualizar los canales linfáticos a tiempo real y no solo nos informa sobre los canales realzados con fluorescencias, sino también su apariencia, contractibilidad, localización y capacidad de transporte.



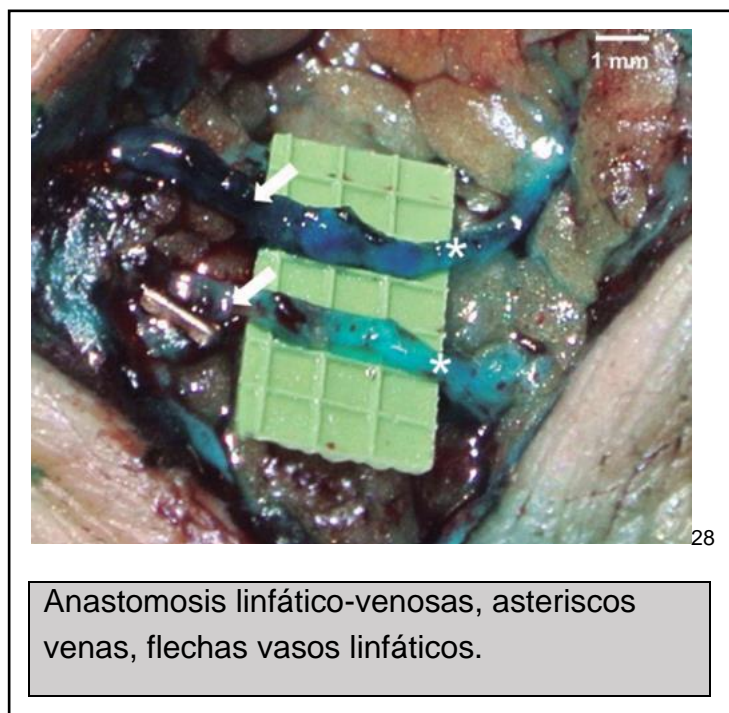
**La linfografía con verde indocianina posee muchas ventajas, no obstante, presenta una limitación importante que se trata de que esta prueba sólo es capaz de detectar vasos linfáticos a una profundidad inferior a 1,5-2 cm de la superficie cutánea.**

Por tanto, puede estudiar el sistema linfático superficial pero no las estructuras profundas.

El algoritmo de elección terapéutica, por lo tanto, se realiza en base a las pruebas preoperatorias: (individualización de cada caso y recursos)

- Si el estudio mediante ICG y RM revela que no hay evidencia de canales linfáticos funcionantes y el linfedema es avanzado y sin fóvea, la indicación terapéutica son las técnicas de carácter reductor de volumen (liposucción, desbridamiento de partes blandas...)
- Si el estudio mediante ICG y RM revela que no aparecen canales linfáticos y existe fóvea, hay que llevar a cabo la terapia de rehabilitación intensiva para revalorar posteriormente la posibilidad de técnica reductora.
- Si el estudio mediante ICG y RM nos muestra que hay evidencia de canales linfáticos funcionantes, optamos por una técnica reconstructiva u otra en función del daño localizado en el sistema linfático. Las principales técnicas reconstructivas son la **transferencia ganglionar y las anastomosis linfáticos-venosas.**
  - **La transferencia microvascular de ganglios linfáticos** es una técnica quirúrgica habitual en cirugía plástica, mediante la cual se obtiene un colgajo de tejido autólogo de una zona distante, trasplantado a la zona receptora. Se preserva su vascularización mediante anastomosis de los vasos del colgajo y vasos localizados en la región receptora.
  - **Las anastomosis linfático-venulares** consisten en la realización de mínimas incisiones (2-3 cm de longitud) a nivel de la superficie cutánea de la extremidad afectada. El proceso comporta una mínima disección para localizar mediante microscopio de alta magnificación a nivel subdérmico los vasos linfáticos y las vénulas subdérmicas, los cuales se anastomosarán entre sí mediante suturas de 11-0, 12-0 con el objetivo de drenar la linfa

directamente a la circulación venosa. Es un proceso con mínima morbilidad, que en algunos casos puede llevarse a cabo bajo anestesia local y que requiere un corto período de hospitalización.<sup>16</sup>



**La ecografía Doppler** con color es una buena elección para la planificación preoperatoria de la anastomosis linfaticovenular. La ecografía Doppler color permite visualizar tanto los colectores linfáticos como las vénulas.

En cuanto a los colectores, esto es útil en dos circunstancias: cuando se ha detectado un canal linfático con linfografía con verde de indocianina, porque se puede determinar su calibre; y cuando la linfografía con verde de indocianina no puede detectar ningún colector, la ecografía Doppler color ayudará en su visualización.

En cuanto a la vénula, la ecografía Doppler color es superior a otras herramientas, ya que permite la localización precisa de la vénula, determinar su calibre para un mejor emparejamiento con el colector y, además, evaluar preoperatoriamente la ausencia de reflujo sanguíneo dentro de la vénula seleccionada por la presencia de una válvula.<sup>17</sup>

- **Angiografía fluorescente para evaluar la perfusión del colgajo libre.**

El uso de ICG puede ayudar al cirujano a detectar espasmos arteriales, congestión venosa e hipoperfusión regional.

La angiografía ICG en colgajos libres es una excelente herramienta intraoperatoria para evaluar la calidad de la anastomosis quirúrgica y la perfusión angiosomal para diseñar la extracción o remodelación del colgajo.

Para una evaluación preoperatoria de las perforantes, se prefiere la AngioTC, ya que sigue siendo el dispositivo más eficaz para determinar las ubicaciones y las vías de las perforantes antes de la incisión en la piel.

La angiografía ICG también puede ser útil en el posoperatorio en el caso de colgajos libres enterrados, como injertos de yeyuno libres o en colgajos libres de peroné con paleta de piel. Actualmente, ningún estudio clínico ha comparado la eficacia del ICG con la evaluación postoperatoria clínica o ultrasonográfica de los colgajos libres.<sup>15</sup>

- **La fluorescencia tiene un uso muy extendido en el campo de la neoplasia de mama, con el colgajo DIEP.**

En este colgajo, la perforante primeramente se elige de acuerdo con la angiografía por tomografía computarizada (angioTAC) de forma preoperatoria y a nivel intraoperatorio con Doppler manual y la visualización directa de la perforante.

Es preferible la perforante de mayor calibre en el lado ipsilateral de la mama para la reconstrucción, con menor curso intramuscular según la angio-TC y la mejor señal Doppler.

Cuando hay dos o más perforantes con características similares, las pinzamos alternativamente y realizamos una ICGA para cada una con el fin de evaluar su capacidad para perfundir el colgajo.

La perfusión intraoperatoria del colgajo se evalúa mediante angiografía con verde de indocianina asistida por láser (ICGA) y se realiza una vez que la perfusión del colgajo se basa en un solo vaso perforante.

La perfusión del colgajo se evalúa con un sistema de cámara de infrarrojo cercano. El cirujano marca en la piel los bordes de las

áreas sin fluorescencia o señal de fluorescencia muy baja detectada, que son las áreas isquémicas, es decir las que no presentan buena perfusión.

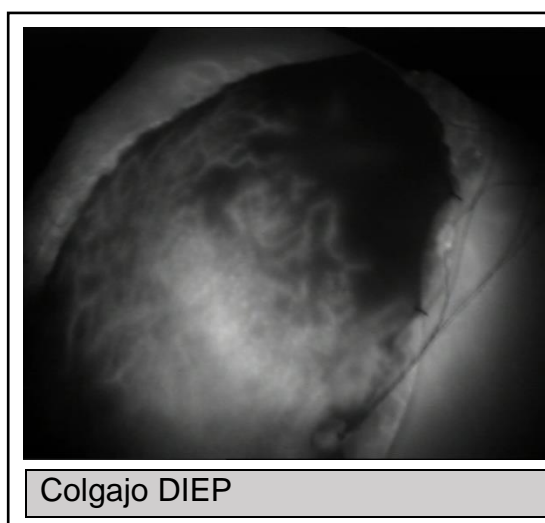
Después de la anastomosis a la arteria y vena mamaria interna, se verifica que no existe fluorescencia residual en el colgajo de la ICGA anterior, y luego se repite la prueba con la misma técnica.

Las áreas isquémicas se evalúan con presión arterial similar y después de un período de estabilización de 10 minutos.

El ICGA es, por lo tanto, una prueba intraoperatoria útil que se ha utilizado durante muchos años en cirugía reconstructiva, proporciona información sobre la perfusión del colgajo; se ha demostrado su seguridad y no hay aumento significativo del tiempo quirúrgico.

La realización de la ICGA en la zona donante facilita la identificación de las zonas mejor perfundidas del colgajo y también puede ser útil para elegir la mejor perforante, además de conocer de antemano el diseño del colgajo y su colocación y adaptación al sitio receptor.

Una segunda evaluación en el sitio receptor puede ser útil cuando un colgajo DIEP unilateral no tiene suficiente área bien perfundida en el sitio donante; si hay disminución del área isquémica se podrá incluir más volumen al colgajo final.<sup>18</sup>





- Aunque el DIEP es el colgajo libre más utilizado para la reconstrucción mamaria también podemos destacar otros como el colgajo musculocutáneo del recto abdominal (TRAM) o el colgajo de la arteria epigástrica inferior superficial (SIEA).<sup>29</sup>
- La angiografía fluorescente intraoperatoria se utiliza también en otros casos como en la transferencia de tejido libre en la reconstrucción de cabeza y cuello para identificar la ubicación del pedículo, realizar una evaluación angiosomal, visualizar el flujo anastomótico y evaluar la perfusión del colgajo cutáneo y osteocutáneo.
- De la misma forma, se realizan numerosos colgajos libres en otras localizaciones como son estos ejemplos:
  - Colgajo radial. Presenta un pedículo muy largo que es una gran ventaja, y pueden llegar a ser muy grandes. Es un colgajo fasciocutáneo, y de gran versatilidad ofreciendo gran variedad de alternativas reconstructivas como cubriendo defectos del brazo o como colgajo libre en defectos de cabeza, cuello, tronco, esófago, pene o extremidad inferior. <sup>30</sup>



- Colgajo ALT (Anterolateral del muslo).



- Colgajo de peroné. Se trata del gold estándar en reconstrucción de defectos óseos. Se utiliza mucho en reconstrucción mandibular, pero también para miembros inferiores.

- **Angiografía intraoperatoria para la evaluación de la perfusión cutánea.**

La angiografía intraoperatoria se utiliza para evaluar la perfusión cutánea de los colgajos pediculados clásicos y los colgajos de perforantes pediculados.

Después de un traumatismo, la reparación de huesos, tejidos, nervios, y vasos requiere una identificación precisa de las estructuras relevantes en el contexto de una anatomía distorsionada.

Categorías quirúrgicas de infección, aterosclerosis y neoplasias, representan tres ámbitos de la cirugía que son adecuados para el futuro de aplicaciones de imágenes de fluorescencia. <sup>19</sup>

La perfusión tisular inadecuada es una complicación frecuente en colgajos pediculados, tanto en los de vascularización aleatoria como en los axiales.

Al comprobar el déficit de perfusión tisular permite localizar el pedículo responsable y de esta forma rediseñar los colgajos para evitar la isquemia del tejido, ya es una necesidad aportar tejidos bien perfundidos para la cobertura de grandes defectos o de lo contrario el éxito de la operación estaría en riesgo. Esto se puede evaluar a nivel pre, intra y postoperatorio.

Cuando la confección de grandes colgajos regionales involucra áreas dadoras extensas o con gran importancia funcional, o cuando hay escasas opciones de reconstrucción, o cuando el terreno del paciente es desfavorable como para realizar más de una intervención quirúrgica, es de utilidad contar con una herramienta complementaria a la clínica en evaluación de perfusión en el intraoperatorio, otorgando seguridad al procedimiento.

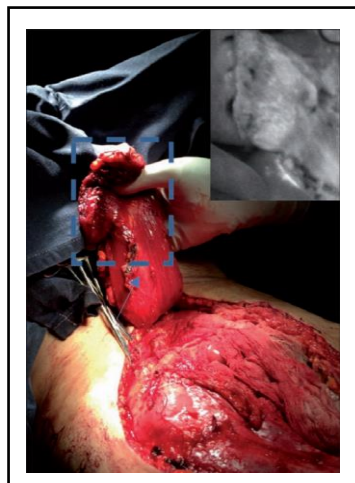
A pesar de que el uso de ICG presenta grandes ventajas, no está exento de limitaciones tales como:

- La probabilidad de subestimar o sobreestimar la perfusión en base a la imagen obtenida
- La existencia de factores como la temperatura de la piel y la presión arterial que pueden alterar la permeabilidad vascular intraoperatoria.

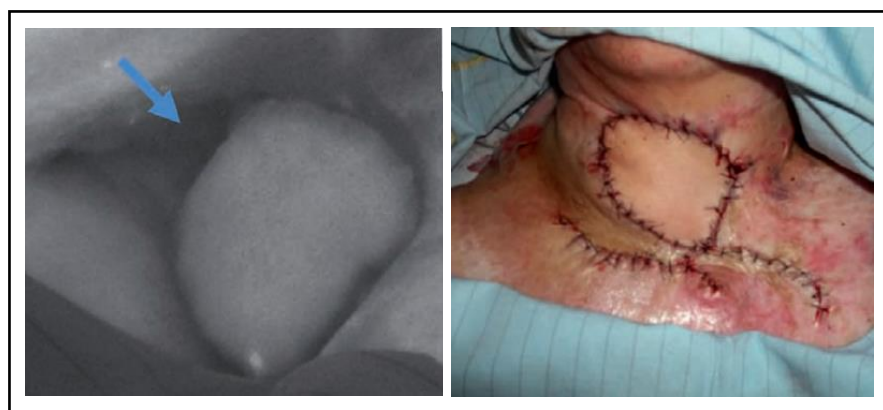
Por lo tanto, la ICG se debe aplicar como técnica complementaria a la clínica y no como único medio de evaluación.

Ejemplos de colgajos pediculados son:

- Colgajo vertical de músculo recto abdominal VRAM pediculado en el paquete epigástrico inferior.



- Colgajo músculo-cutáneo de trapecio inferior en isla, pediculado en la arteria escapular posterior (AEP).<sup>19</sup>



- Propeller de la pierna.



- Colgajo pectoral mayor. Se usa para reconstrucción de tejidos blandos de orofaringe, cavidad oral, hipofaringe, defectos de la piel del cuello, reparación de la faringe y para cubrir y prevenir roturas de estructuras vasculares.
- Dorsal ancho. Es el clásico en la reconstrucción de mama, pero no el gold estándar.
- Gemelo. Es el colgajo clásico para la reconstrucción de cobertura de rodilla y 1/3 superior de la pierna.

## 5. IDEAS E INNOVACIONES PARA EL USO EN CIRUGÍA PLÁSTICA.

- **CÉLULAS DESVITALIZADAS.** ¿Se podría utilizar la fluorescencia para identificar al tejido desvitalizado para realizar una extracción más precisa?

Actualmente los desbridamientos en pacientes quemados o con presencia de úlceras y piel desvitalizada son imprecisos, puesto que su tratamiento quirúrgico consiste en la limpieza y desbridamiento hasta dejar la piel sana según el criterio del cirujano.

Esta técnica no sigue ningún criterio basado en la evidencia para decidir cuando dejar de desbridar o saber cuándo la piel es sana, simplemente

se actúa en base al ojo del clínico. Por tanto, sería interesante utilizar la fluorescencia como herramienta de localización de tejido vivo vs muerto para extraer de forma más precisa el tejido sobrante y no sobrepasarnos ni por lo contrario no hacer una buena limpieza.

- **AREOLA-PEZÓN.** El complejo areola-pezón forma parte del último tiempo de reconstrucción mamaria, considerándose la culminación de dicha reconstrucción a nivel estético.

Existen numerosas técnicas descritas para la reconstrucción del CAP pero aún no se ha empleado la fluorescencia para comprobar la perfusión de este complejo.

Cuando realizamos un colgajo DIEP o dorsal ancho se puede realizar una desepidermización de la areola y colocación de autoinjerto CAP si las indicaciones lo permiten, o se puede reconstruir el pezón con colgajo local.

Actualmente no existe ninguna técnica para comprobar que el CAP tiene la irrigación necesaria para adherirse de forma correcta al colgajo y no sufrir isquemia.

La fluorescencia con verde indocianina podría ser útil para comprobar su correcta perfusión y ya que se utiliza para comprobar la del DIEP o dorsal ancho se podría hacer en el mismo tiempo quirúrgico.



Además, en el caso de la reducción mamaria, se diseña un pedículo para asegurar la adecuada vascularización del CAP. Existen diferentes tipos de pedículos que se eligen en función de la anatomía de la paciente, pero pueden ser superior, superomedial, inferior, lateral o medial. El más usado es el superomedial.

Es de vital importancia conocer bien la anatomía vascular puesto que si el CAP no tiene una buena vascularización podría aparecer necrosis cutánea.

Por lo tanto, ICG podría suponer una herramienta de prevención ante esta complicación y en el caso de que el pedículo no profundiera de forma adecuada se podría adaptar y reconvertir en un injerto libre de CAP.



## 6. PRESENTACIÓN DE CASOS CLÍNICOS.

### CASO 1.

- **MOTIVO DE CONSULTA**

Paciente varón de 63 años derivado de dermatología que acude a consulta por lesión interparietal tras traumatismo de larga evolución.

- **ANTECEDENTES PERSONALES.**

- Hepatitis C en tratamiento.
- Fumador de paquete y medio al día.
- Porfiria cutánea tratada.
- NAMC.
- No tratamiento domiciliario.

- **ANAMNESIS.**

Paciente varón de 63 años derivado de dermatología que acude a consulta por lesión interparietal que presenta desde 2008 tras traumatismo sin reconstrucción previa, con posterior exposición ósea.

Se le explica al paciente opciones quirúrgicas y riesgos tanto de intervención como de no intervención.

El paciente desestima inicialmente la intervención quirúrgica y acude posteriormente derivado a cirugía plástica con intención de cirugía, la cual acepta.

- **EXPLORACIÓN FÍSICA.**

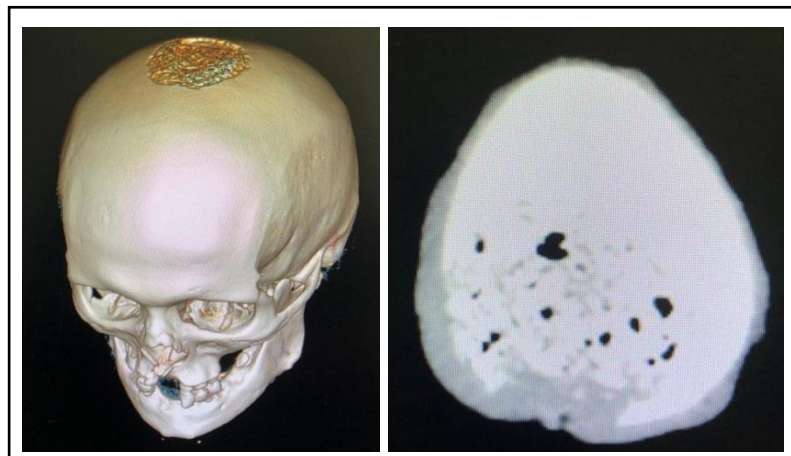
En la exploración física se observa lesión en zona parietal con exposición ósea y piel atrófica circundante.

Se observa defecto óseo con bordes eritematosos sugestivos de infección, dolor a la palpación y exposición de la duramadre.

- **PRUEBAS COMPLEMENTARIAS.**

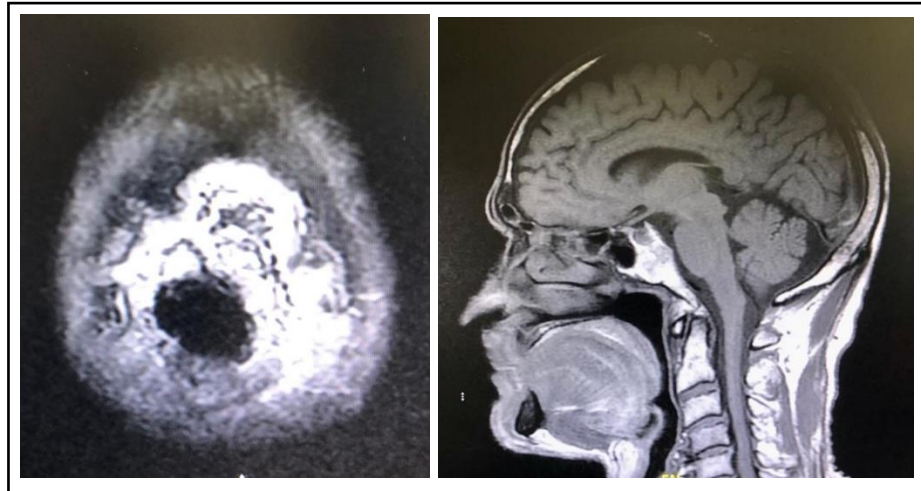
Ante la situación del paciente se realizan las siguientes pruebas complementarias:

- Se realiza **biopsia** para descartar malignidad, pero se concluye por anatomía patológica que se trata de **fibrosis dérmica cicatricial sin signos de malignidad.**
- **TAC CRANEAL:** Osteolisis parietal con engrosamiento dural que infiltra seno sagital superior.





- **RMN.** Lesión compatible con osteomielitis crónica con infiltración dural.



- **Cultivo** de exudado de la lesión: S. Aereus meticilin sensible.

- **DIAGNÓSTICO.**

- Osteomielitis crónica de calota por S. Aereus sensible
- Defecto cutáneo.
- Osteitis.

- **PLAN DE TRATAMIENTO.**

- Introducción en lista de espera quirúrgica.
- Desbridamiento de tejido óseo desvitalizado.
- Colgajo libre ALT para cubrir defecto.
- Anastomosis pedículo y vasos temporales.

- **PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO.**

La intervención propuesta aceptada por el paciente es el desbridamiento óseo y de piel con cobertura microquirúrgica con colgajo ALT.

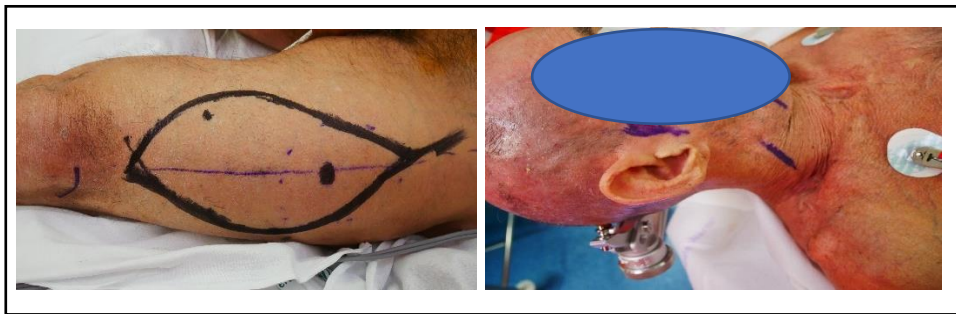
La intervención se lleva a cabo de la siguiente forma:

- Se realiza anestesia general, con profilaxis antibiótica con cefazolina 2 g.
- Se procede a la asepsia, antisepsia y entallado, además de enclavamiento por parte de neurocirugía.





- Antes de comenzar la intervención, se localizan los vasos perforantes de los territorios a tratar.

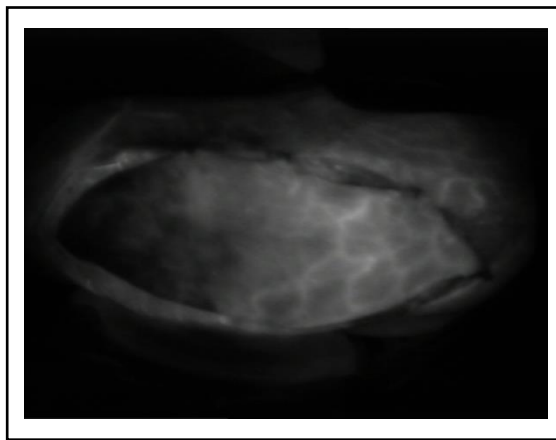


- En la región craneal se realiza desbridamiento de piel con margen amplio sobre el defecto óseo, donde se observa el hueso desvitalizado e infectado. Posteriormente se realiza desbridamiento por parte de neurocirugía hasta hueso sano. Se observa reacción inflamatoria de la dura madre por lo que se retira parcialmente y se realiza lavado y se deja compresa impregnada con vancomicina.



- En la extremidad inferior izquierda se realiza un levantamiento de colgajo ALT hasta pedículo ACFL y se respetan nervios motores de vasto lateral.

**Aquí se utiliza la primera vez en la intervención el verde indocianina para comprobar la perfusión del colgajo por el pedículo seleccionado. En este procedimiento se observa el colgajo bien perfundido excepto una región de hipoperfusión a nivel distal del colgajo.**

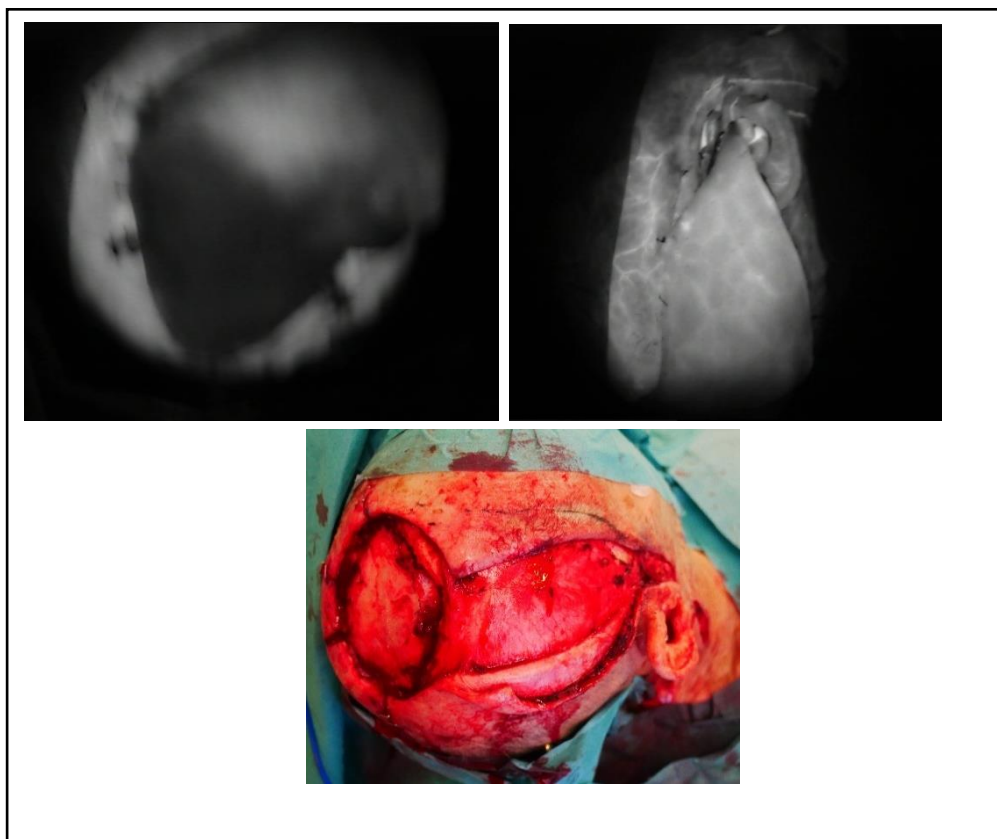


Tras realizado de la ICG, se procede a la disección de vena safena mayor a nivel de muslo izquierdo proximal para injerto venoso y ligadura transfixiante de cabos. Aproximación de vientres musculares y a nivel de musculatura de piel.

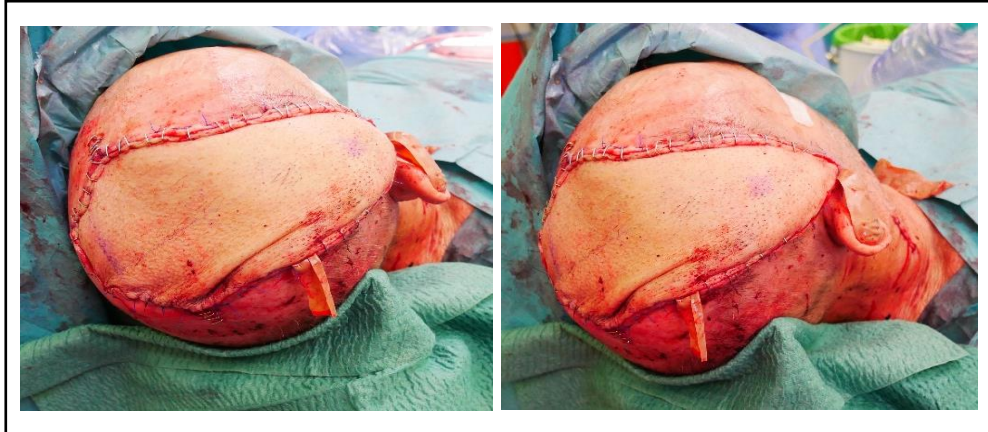
Cobertura de zona donante con autoinjerto de espesor parcial mallado de muslo contralateral.



- A nivel cervical se realiza disección de vasos temporales (una arteria y una vena en región preauricular). Se realiza disección y preparación de vena yugular externa derecha.
- Se realiza anastomosis T-T vena pedículo a vena temporal.
- Anastomosis T-T arteria pedículo y arteria temporal.
- Bypass venoso con vena de colgajo y vena yugular externa.
- **Tras realizar las anastomosis, volvemos a utilizar la ICG para comprobar que se han realizado de forma adecuada las anastomosis y el colgajo está bien perfundido. Se pudo observar una buena perfusión, pero con el mismo defecto de hipoperfusión distal. Por lo tanto, se adaptó la región más perfundida al defecto óseo y se adaptó y resecó la menos perfundida para evitar regiones de isquemias y posible necrosis del colgajo postoperatorio. Una mala perfusión nos podría haber provocado que, tras la intervención quirúrgica, el colgajo no fuese viable y que se volviera a quedar expuesto el defecto, pero gracias ICG pudimos prevenir esta complicación indeseable y adaptar el colgajo para una mejor perfusión.**



- Por último, se hace fijación con punto y agrafes a nivel de colgajo. Drenaje Penrose.



- **PLAN DE TRATAMIENTO EN HOSPITALIZACIÓN Y AL ALTA.**
  - Inicialmente se procede a tratamiento con antibiótico endovenoso con vancomicina y ceftacidima. Posteriormente con cloxacilina endovenosa hasta completar 2 semanas de tratamiento endovenoso. Posteriormente se inicia tratamiento con ciprofloxacino vía oral durante 6 semanas.
  - Reposo relativo.
  - No tocar extremidad inferior izquierda y realizar cura en pierna, cuello y cabeza con betadine gel bajo supervisión médica cada 2-3 días.
  - Limpieza diaria del resto de heridas con agua y jabón, secado posterior.



- Paracetamol 1 gr cada 8 horas si dolor.
- Acudir a CCEE curas.
- Acudir a CCEE para CPL.
- Ciprofloxacino de 750 mg 1 comprimido cada 12 horas durante 1 mes.
- Si empeoramiento acudir a urgencias.

## CASO 2.

- **MOTIVO DE CONSULTA**

Paciente mujer de 41 años de edad con antecedentes quirúrgicos de una neoplasia de cérvix que acude a consulta por linfedema para valoración y tratamiento si procede.

- **ANTECEDENTES PERSONALES.**

- Alergia posible a contraste yodado, no confirmado
- No hábitos tóxicos conocidos
- Intervenida en 2018 por neoplasia de cérvix con resección y desbridamiento iliaco bilateral con radioterapia posterior y quimioterapia. Aparición de linfedema al finalizar la radioterapia.
- Linfedema grado II, no episodios de sobreinfección.
- Ha sido valorada en Sant Pau donde ofrecieron anastomosis linfático-venosas bilaterales y liposucción del pubis.
- No tratamiento domiciliario.

- **ANAMNESIS.**

Paciente mujer de 41 años con linfedema por intervención quirúrgica por neoplasia de cérvix que acude a consulta de cirugía plástica para valoración y tratamiento de linfedema.

A la paciente se realiza una linfografía en clínica privada y aporta informes que evidencian importante reflujo dérmicos sugestivo de obstrucción y una ausencia de visualización de territorio aorto-iliaco, iliacos internos y menor visualización respecto a la normalidad en región inguinal bilateral. Alteración mayor en miembro inferior derecho que en el izquierdo.

La paciente refiere importante edema suprapúbico y en zona de labios mayores. Actualmente, la paciente realiza fisioterapia y el método Godoy en casa, con cierta mejoría.

Se vuelve a realizar linfografía con verde indocianina en consulta, donde se observan canalículos linfáticos funcionales en EEII hasta rodillas, en zona de muslos dermal back-flow que se extiende hasta hemiabdomen, sobre todo en lado izquierdo.

Por lo tanto, la paciente es tributaria a anastomosis linfático-venosas en ambas piernas hasta rodillas y liposucción del abdomen.

Se le explica la intervención, con implicaciones y posibles resultados y la paciente acepta y firma el consentimiento informado y se incluye en lista de espera quirúrgica.

- **DIAGNÓSTICO.**

- Linfedema grado II.

- **PLAN DE TRATAMIENTO.**

- Introducción en lista para quirófano.
- Anastomosis linfático-venosas
- Liposucción abdominal y púbica.

- **PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO.**

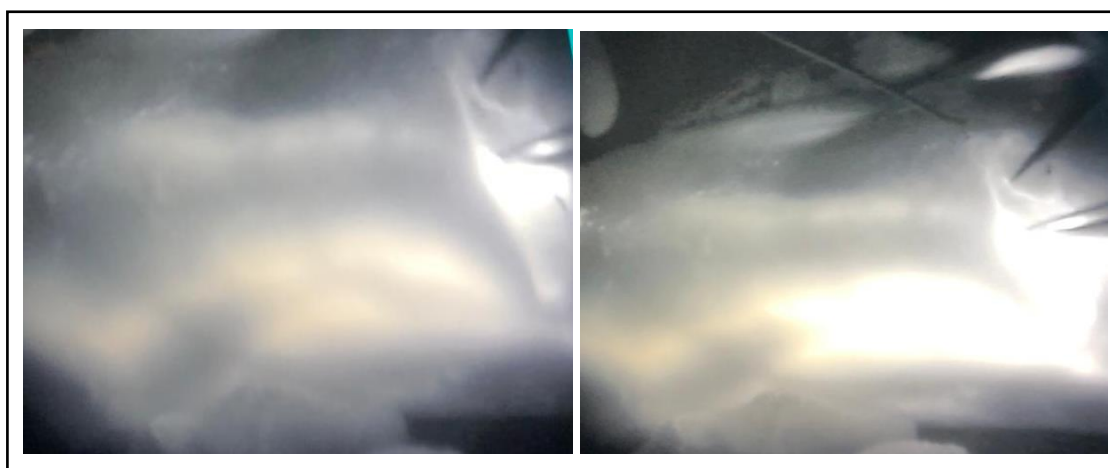
Se realiza con anestesia general bajo intubación orotraqueal, con una profilaxis antibiótica con cefazolina 2 g y se realiza asepsia, antisepsia y entallado.

La intervención se lleva a cabo de la siguiente forma:

- Primeramente, se realiza en quirófano la linfografía con verde indocianina con una inyección interdigital en ambos pies donde se observa vasos linfáticos permeables hasta la zona distal del muslo en ambas piernas. Por lo tanto, se marcan los vasos linfáticos permeables y las zonas de incisión.
- Después, se realiza la lipoaspiración a nivel de abdomen y pubis, tras infiltración con solución de Klein modificada.
- Tras la realización de la lipoaspiración, se comienza con el proceso de anastomosis linfático-venoso. Primero en la pierna derecha se realiza infiltración subdérmica de azul de metileno y se realiza incisión a nivel de tobillo derecho y se identifica con el verde indocianina dos

vasos linfáticos y dos vénulas permeables, por lo que se realizan dos anastomosis linfático-venulares T-T con 11/0.

- En la pierna izquierda, de la misma forma se infiltra de forma subdérmica el azul de metileno y se realiza una incisión a nivel del tercio medio, en cara interna. Se identifican con verde indocianina 1 vaso linfático y una vénula, por lo que se realiza una anastomosis linfático-venular T-T con 11/0.
- Por último, se cierra por planos y se pone vendaje compresivo en abdomen.
- **Por lo tanto, gracias a la linfografía con verde indocianina, hemos podido comprobar la viabilidad de los canales linfáticos y ver si era posible una operación y además, en tiempo quirúrgico poder localizar los vasos linfáticos y una vez realizadas las anastomosis comprobar su perfusión.**



## 7. CONCLUSIONES.

Esta revisión bibliográfica sobre el uso de la fluorescencia en varios campos de la medicina nos ha hecho ver de una manera global la gran variedad de aplicaciones que se le puede dar a una misma herramienta si se mira desde diferentes perspectivas.

Cada servicio del hospital, tanto el ámbito quirúrgico como el clínico, se podría beneficiar de esta técnica, que como se ha descrito en este trabajo se encuentra en pleno apogeo y que sin lugar a dudas puede suponer un avance en la detección, prevención, tratamiento y complicaciones de patologías, mejorando de esta forma la calidad de vida del paciente, que sin duda es el gran objetivo a conseguir en nuestros profesionales.



## 8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Lakowicz JR. Introduction to fluorescence. Principles of Fluorescence Spectroscopy. 3a ed., USA: Springer; 2006. 1-23.
2. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/NIKOL%20ALEXANDRA%20SEPULVEDA%20KAPLAN.pdf>
3. Archivos de Coloproctología, 2020, 3(2): 6-40 DOI:[https://doi.org/10.26754/ojs\\_arcol/archcolo.202024567](https://doi.org/10.26754/ojs_arcol/archcolo.202024567)
4. Singhal S. The future of surgical oncology: Image-guided cancer surgery. JAMA Surg., 2016; p.184-5. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1001/jamasurg.2015.3604>.
5. Lu CH, Hsiao JK. Verde de indocianina: una droga antigua con aplicaciones novedosas. Tzu Chi Med J. 2021;33(4):317–22.
6. García-Saenz MC, Gili Manzanaro P, Bañuelos Bañuelos J, Villarejo Díaz-Maroto I, Arias Puente A. Valoración de enfermedades inflamatorias coriorretinianas con angiografía verde indocianina. Arco Soc Esp Oftalmol. 2003;78(12):675–83.
7. Bonnin-Pascual J, Álvarez-Segurado C, Jiménez-Segovia M, Bianchi A, Bonnin-Pascual F, Molina-Romero FX, et al. Aportaciones de la fluorescencia a la cirugía endocrina. Cir Esp (Engl Ed). 2018;96(9):529–36.
8. Turan MI, Celik M, Ertürk MS. Indocyanine green fluorescence angiography-guided transoral endoscopic thyroidectomy and parathyroidectomy: First clinical report. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2020.
9. Colvin J, Zaidi N, Berber E. The utility of indocyanine green fluorescence imaging during robotic adrenalectomy: ICG Imaging in Robotic Adrenalectomy. J Surg Oncol. 2016;114(2):153–6.
10. Ehu.es. [citado el 15 de abril de 2022]. Disponible en: [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/43702/TFG\\_%20Hernandez\\_Garcia\\_Silvia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/43702/TFG_%20Hernandez_Garcia_Silvia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
11. Takemiya K, Røise JJ, He M, Taing C, Rodriguez AG, Murthy N, et al. Maltohexaose-indocyanine green (MH-ICG) for near infrared imaging of endocarditis. PLoS One. 2021;16(3):e0247673.
12. Mensah-Brown KG, Germi JW, Quattrone F, Maloney-Wilensky E, Lee JYK, Chen H-CI, et al. Use of Second Window ICG in spinal cord biopsy of a mildly contrast-enhancing lesion:

- Technical note and review of the literature. *Neurochirurgie*. 2022;68(2):239–42.
13. Mok CW, Tan S-M, Zheng Q, Shi L. Network meta-analysis of novel and conventional sentinel lymph node biopsy techniques in breast cancer. *BJS Open*. 2019;3(4):445–52.
  14. Namikawa K. Yamazaki Biopsia del ganglio linfático centinela guiada por fluorescencia verde de indocianina para el melanoma cutáneo. *Eur J Dermatol*. 2011;21(2):184–90.
  15. Burnier P, Niddam J, Bosc R, Hersant B, Meningaud J-P. Indocyanine green applications in plastic surgery: A review of the literature. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017;70(6):814–27.
  16. Tdx.cat. [citado el 15 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/383993/gpip1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  17. Visconti GM, Takumi MD, Ph D, Nobuko M. Akitatsu MD Anastomosis linfaticovenular asistida por ultrasonido para el tratamiento del linfedema periférico. *Cirugía Plástica y Reconstructiva*; 2017.
  18. Malagón-López P, Carrasco-López C, García-Senosian O, Vilà J, Del-Río M, Priego D, et al. When to assess the DIEP flap perfusion by intraoperative indocyanine green angiography in breast reconstruction? *Breast*. 2019;47:102–8.
  19. Otormín G, Novello G, Gambini JP, Juri HJ. Evaluación de la perfusión de colgajos mediante indocianina verde. *Cir plást ibero-latinoam*. 2018;44(3):303–9.
  20. Rudolph Geisse A. Mamoplastia de reducción con pedículo central y malla de dermis. *Cir plást ibero-latinoam*. 2021;47(1):35–48.
  21. Gila Bohórquez A, Suárez Grau JM, Gómez Menchero J. Role of the fluorescence image using indocyanine green (ICG) in emergency surgery. *Cir Andal*. 2019;30(1):66–71
  22. De Medicina F, De Farmacología D, Baladrón González V. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID [Internet]. Ucm.es. [citado el 17 de abril de 2022]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/47080/1/T39774.pdf>
  23. Saborido P, Trincado T, Pacheco M, Uso SD, Andal C, Andaluza C, et al. *Cir Andal 228 Cirugía Andaluza • Volumen 30 • Número 2 • Mayo 2019* [Internet]. Asacirujanos.com. [citado el 17 de abril de 2022]. Disponible en: [https://www.asacirujanos.com/admin/upfiles/revista/2019/Cir\\_Andal\\_vol30\\_n2\\_13.pdf](https://www.asacirujanos.com/admin/upfiles/revista/2019/Cir_Andal_vol30_n2_13.pdf)
  24. Kahramangil B, Kose E, Berber E. Characterization of fluorescence patterns exhibited by different adrenal tumors:

- Determining the indications for indocyanine green use in adrenalectomy. *Surgery* [Internet]. 2018;164(5):972–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surg.2018.06.012>
25. Tdx.cat. [citado el 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/4317/tmti1de1.pdf?sequence=1>.
  26. Cho A, Cho SS, Buch VP, Buch LY, Lee JYK. Second Window Indocyanine Green (SWIG) near infrared fluorescent transventricular biopsy of pineal tumor. *World Neurosurg* [Internet]. 2020;134:196–200. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2019.10.113>
  27. Polom K, Murawa D, Rho Y-S, Nowaczyk P, Hünerbein M, Murawa P. Current trends and emerging future of indocyanine green usage in surgery and oncology: a literature review: A literature review. *Cancer* [Internet]. 2011;117(21):4812–22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/cncr.26087>
  28. Pereira C. N, Pons P. G, Masià A. J. Linfedema asociado al cáncer de mama: factores de riesgo, diagnóstico y tratamiento quirúrgico. *Rev chil cir* [Internet]. 2019;71(1):79–87. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-40262019000100079>
  29. Application of indocyanine green fluorescence angiography in plastic surgery. Liu, Daniel, Mathes, David, Zenn, Michael, Neligan, Peter, (2011). *The journal of reconstructive microsurgery*, 27 (6), 355-364.
  30. ANDRADES C PATRICIO, CALDERÓN G MARÍA ELSA, DANILLA E STEFAN, BENÍTEZ S SUSANA, ERAZO C CRISTIAN, SEPÚLVEDA SERGIO. Colgajo radial: experiencia del equipo de Cirugía Plástica de la Universidad de Chile. *Rev Chil Cir* [Internet]. 2011 Oct [citado 2022 Abr 20]; 63(5): 459-467. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-40262011000500004&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-40262011000500004&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-40262011000500004>.

