

Tipo de artículo: Artículo de Revisión

Técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías para el trasplante de córnea: Enfoque Clínico

Surgical techniques supported by technologies for corneal transplantation: Clinical Approach

Angie Dayana Villamar Gavilanes,² , <https://orcid.org/0000-0003-2473-8766>
David Guillermo Morán Anzules^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-4900-0322>
Carvajal Barahona Víctor Fernando³ , <https://orcid.org/0000-0002-1783-8008>

¹ Investigador independiente, Guayaquil, Ecuador.

² Investigadora independiente, Guayaquil, Ecuador.

³ Investigadora independiente, Guayaquil, Ecuador.

* Autor para correspondencia: davoguille@hotmail.es

Resumen

El trasplante de órganos en la actualidad representa una alternativa donde la farmacología, la medicina y la cirugía convencional no lograron corregir el padecimiento presentado. La aplicación de nuevas técnicas quirúrgicas ha permitido mejorar la calidad en la preservación de órganos para garantizar mayor éxito en los trasplantes. Sin embargo, en trasplante como el de córnea se requiere garantizar alta precisión durante la intervención quirúrgica. La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio de las técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías para el trasplante de córnea. Se obtiene como resultado un mapeo de la literatura científica sobre el objeto de estudio y sus principales enfoques.

Palabras clave: trasplante de córnea; técnicas quirúrgicas; precisión; tecnologías.

Abstract

Organ transplantation currently represents an alternative where pharmacology, medicine and conventional surgery failed to correct the presented condition. The application of new surgical techniques has made it possible to improve the quality of organ preservation to guarantee greater success in transplants. However, in transplantation such as cornea, it is necessary to guarantee high precision during the surgical intervention. The present research aims to carry out a study of surgical techniques supported by technologies for corneal transplantation. The result is a mapping of the scientific literature on the object of study and its main approaches.

Keywords: corneal transplant; surgical techniques; precision; technologies.

Recibido: 19/01/2021

Aceptado: 20/03/2021

Introducción



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

La donación y los trasplantes de órganos han representado uno de los avances terapéuticos más importante en el campo de la salud de los últimos años. Sus logros han involucrado a las diferentes especialidades de la medicina moderna (Rojas Álvarez et al., 2012), (Hurtado-Sarrió et al., 2019).

Se define como trasplante de órganos a la sustitución de un órgano enfermo que ha perdido su funcionalidad, por un órgano sano. El trasplante ha solucionado padecimientos, donde la farmacología, la medicina y la cirugía convencional han fracasado (Hawa-Montiel, 2005). Los trasplantes han sido introducidos en diferentes especialidades incluyendo la Oftalmología, en la cual se han logrado resultados exitosos en los trasplantes de córnea (Dosal, 2018), (Coll et al., 2019).

El trasplante de córnea o queratoplastia se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. Inicialmente el procedimiento más común era la queratoplastia penetrante, que consiste en el reemplazo total de la córnea; y los registros indican que en la mayoría de las causas de ceguera corneal este procedimiento resulta exitoso (Claesson et al., 2002). En la actualidad, los especialistas han adoptado nuevas formas de cirugía como la queratoplastia lamelar, en la que se reemplaza selectivamente solo las capas enfermas de la córnea (Tan et al., 2012). Este ha sido un cambio fundamental en los últimos años ya que disminuye las probabilidades de rechazo endotelial.

En diversos procedimientos, garantizar alta precisión determina la efectividad del resultado final. Las cirugías de trasplante de córnea tienen una amplia gama de indicaciones y los resultados dependen en gran medida de la experiencia del cirujano. Las técnicas manuales tradicionales presentan limitaciones relacionadas con la preparación del tejido del donante y el lecho receptor que pueden afectar la predictibilidad de los resultados visuales, por lo que es necesario la utilización de los avances tecnológicos en esta área.

Diversas soluciones han sido abordadas por la ciencia en intervenciones quirúrgicas con el empleo de las tecnologías (Castañón Pompa & Duvergel Fabier, 2019). El trasplante corneal constituye un área de la Oftalmología que ha sido beneficiada significativamente por las tecnologías donde se destaca la robótica y la tecnología láser (Verdiguél-Sotelo et al., 2017). Estos avances han permitido la implementación de nuevas técnicas emergentes como la reconstrucción de la superficie ocular (Tseng, 2001), la cirugía asistida por láser de Femtosecond (Abell et al., 2014), las córneas de bioingeniería (Buznyk et al., 2015) y la cirugía de córnea artificial o queratoprótesis (Zhang et al., 2019), que se han vuelto ampliamente disponibles debido a los rápidos avances tecnológicos.

En conjunto, el avance de la tecnología y el empleo de diversas técnicas quirúrgicas han dado sorprendentes y alentadores resultados, que disminuyen significativamente el número de casos de ceguera corneal. El empleo de la tecnología resulta imprescindible cuando la escala de manipulaciones de herramientas quirúrgicas requeridas desafía los límites de la agudeza visual, la percepción sensorial y la destreza física del cirujano.



La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio de las técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías para el trasplante de córnea. La investigación se encuentra estructurada en introducción, materiales y métodos y resultados y discusión. La sección de materiales y métodos describe la aplicación del método de investigación a partir del mapeo sistemático de la literatura. Por último los resultados y discusiones presentan los principales autores que marcan referencia sobre el objeto de estudio.

Materiales y métodos

Para el proceso de recopilación documental se realiza un mapeo sistemático de la literatura referido a las técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías para el trasplante de córnea. La investigación estuvo guiada por el método de la investigación científica análisis de contenido (Herrera, 2018), (Piñeiro-Naval). Se utilizaron además técnicas relacionadas con la recuperación de información y análisis de textos. La figura 1 muestra un esquema que ilustra método empleado para realizar el mapeo sistemático de la literatura (Carrizo & Rojas, 2016).

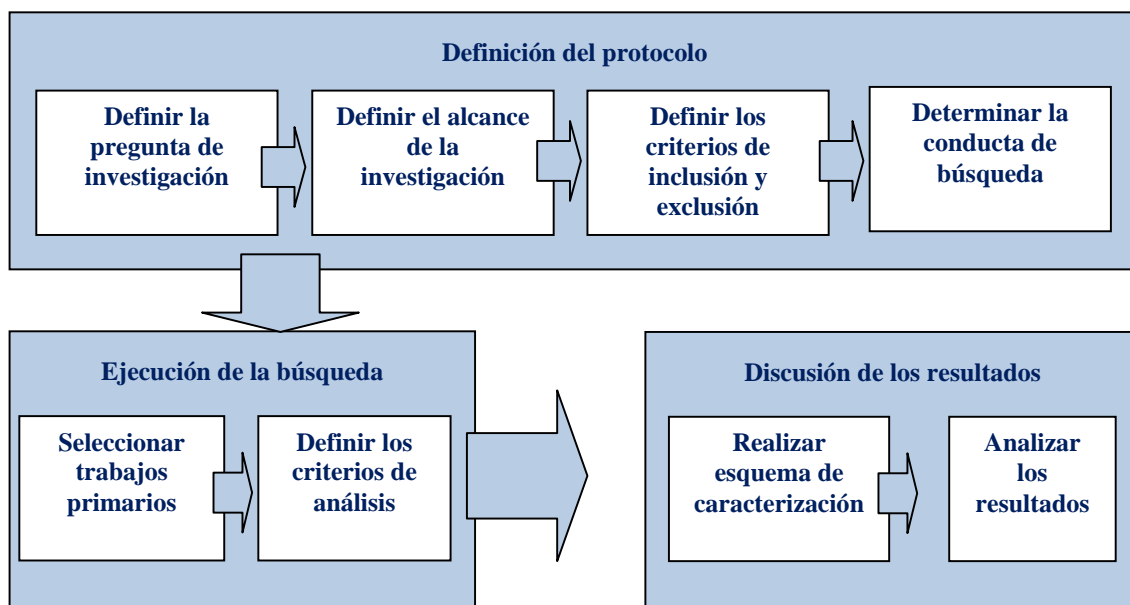


Figura 1: Estructura del método para realizar el mapeo sistemático de la literatura.

Fuente: Elaborado por los autores a partir de: (Carrizo & Rojas, 2018).

Definición del protocolo



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Como parte de la definición del protocolo se determina la pregunta de investigación. El estudio se enfoca en responder a las siguientes preguntas de investigación ¿Cuáles son las principales técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías para el trasplante de córnea?

Los criterios de inclusión o exclusión permiten extraer las posibles referencias de estudios primarios sobre el tema (criterios de selección). Con estos criterios se busca asegurar que exista coherencia entre el tema del estudio y la pregunta que se pretende contestar con la revisión (es decir, criterios de selección temáticos) y que el diseño de los estudios cumpla ciertas condiciones básicas.

Ejecución de la búsqueda

Para la actividad de ejecución de la búsqueda se consultaron bases de datos de publicaciones especializadas y de alto impacto en con las Ciencias Médicas y su relación con las tecnologías. La presente investigación se enmarca en el área del conocimiento de la Oftalmología, específicamente el trasplante de cornea. Para la ejecución de la búsqueda se consideró las bases de datos IEEE, Scielo, Scopus. Los buscadores utilizados en el proceso fueron el Science Research, Semantic Scholar, Google scholar, Science Direct e IEEE Xplore Digital Library se identificó la tendencia actual sobre las investigaciones relacionadas.

Se realizaron búsquedas oportunistas, referencias de artículos relacionados y otros artículos ya identificados. El período de búsqueda incluye publicaciones desde 2017 hasta 2021, de esta forma se pretende garantizar la actualidad tecnológica.

Para la selección de estudios primarios se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Se incluyen todas las publicaciones científicas relacionadas con la Oftalmología en cuya estructura se expresaran análisis y discusiones relacionadas con el trasplante de cornea y la utilización de tecnologías.
- Se incluyeron estudios cualitativos y cuantitativos realizados por investigadores de las Ciencias Médicas.
- Se incluyen trabajos en inglés y español.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de exclusión:

- Se excluyeron todos aquellos estudios sin revisiones por pares, los artículos sin diseño de investigación y opiniones de expertos (*position paper*) que no presentan evidencias.

La cadena fundamental de búsqueda utilizada en la base de datos fue: (trasplante de córnea OR tecnología) AND (técnicas quirúrgicas AND trasplante de córnea).

Para identificar los trabajos primarios se realizaron filtros de: revisión de títulos, revisión de resumen o abstract. Las publicaciones que pasaron el filtrado mencionado se consideraron para su lectura y análisis completo de su contenido.



Resultados y discusión

La presente sección relaciona los principales resultados del procesamiento. A partir de los criterios de inclusión y exclusión obtenidos en la ejecución de la búsqueda, se obtiene un total de 28 trabajos primarios que se relacionan con el tema de investigación. En el marco de la investigación se realizaron lecturas extensivas, intensivas y temáticas de los textos, para identificar contenidos relevantes en torno a los objetivos, y consultar los reportes médicos sobre resultados en trasplantes de córnea.

El resultado del mapeo sistemático de la literatura se presenta como respuesta a la pregunta planteada en la planificación. Un resumen de la identificación de los trabajos encontrados, con información sobre su origen, se muestra en la Tabla 1, también se puede ver el grado de validación que presenta cada estudio y qué método de representación utilizan para el modelo o metodología propuesta.

Tabla 1: Principales trabajos primarios identificados.

Autores	Año	Tipo de estudio	Resultado	Referencias
Marc De Smet; Gerrit JL Naus; Koorosh Faridpooya; Marco Mura	2018	Teórico	Análisis documental	(De Smet et al., 2018)
T. L. Edwards, K. Xue, H. C. M. Meenink, M. J. Beelen, G. J. L. Naus, M. P. Simunovic et al.	2018	Estudio de caso	Análisis documental	(Edwards et al., 2018)
Suresh K Pandey; Vidushi Sharma	2019	Teórico	Análisis documental	(Pandey & Sharma, 2019)
Brenton Keller; Mark Draelos; Kevin Zhou; Ruobing Qian; Anthony N. Kuo; George Konidaris; Kris Hauser	2020	Reporte técnico	Otro	(Keller et al., 2020)
Richard SC Kerr	2020	Teórico	Revisión bibliográfica	(Kerr, 2020)
Matthew J. Gerber; Moritz Pettenkofer; Jean-Pierre Hubschman	2020	Exploratorio	Análisis documental	(Gerber et al., 2020)
Ikjong Park; Hong Kyun Kim; Wan Kyun Chung	2020	Reporte técnico	Otros	(Park et al., 2020)
Marc R Avram; Shannon Watkins	2020	Teórico	Revisión bibliográfica	(Avram & Watkins, 2020)
Hyung Gon Shin; Ikjong Park; Keehoon Kim; Hong Kyun Kim; Wan Kyun Chung	2021	Reporte técnico	Otros	(Shin et al., 2021)

El mapeo sistemático permite obtener una visión específica de los estudios primarios. Para el contexto de la presente investigación la Figura 2 muestra una representación del mapeo realizado en la forma de un gráfico de burbuja. La figura realiza una clasificación de los trabajos primarios según los criterios de análisis establecidos anteriormente.



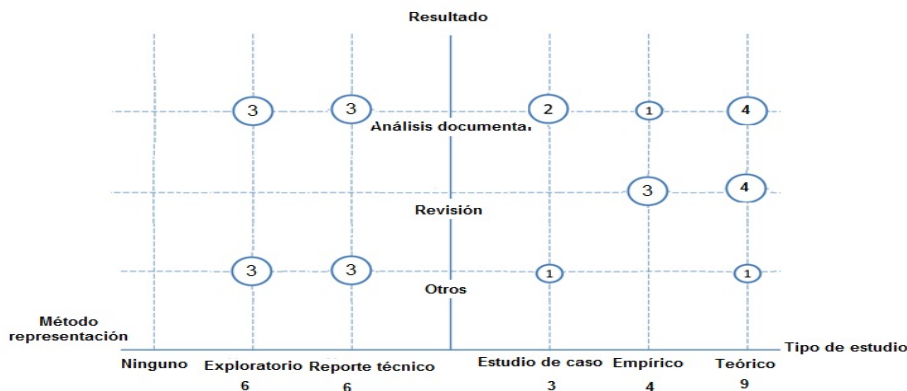


Figura 2. Gráfico de burbujas mapeo sistemático.

Fuente: Elaborado por los autores

La tabla 2 muestra una representación que relacionan los principales resultados.

Tabla 2: Relación de principales autores que refieren tecnologías para el trasplante de córnea.

No	Autor	Referencias
1	Brenton Keller	(Keller et al., 2020)
2	Richard SC Kerr	(Kerr, 2020)
3	Suresh K Pandey	(Pandey & Sharma, 2019)
4	T. L. Edwards	(Edwards et al., 2018)
5	Matthew J. Gerber	(Gerber et al., 2020)
6	Myerscough, James	(Myerscough et al., 2020).
7	Villarrubia, A.	(Villarrubia, 2007).
8	Zhang, Xiaomin	(Zhang et al., 2006)
9	Jun, Jong Hwa	(Jun et al., 2015).
10	Porzionato, Andrea	(Porzionato et al., 2018)
11	Randleman, J Bradley	(Randleman et al., 2003)
12	Mejía, Luis F	(Mejía et al., 2018)
13	Al-Mahmood, Ammar M	(Al-Mahmood et al., 2012).
14	Marc De Smet	(De Smet et al., 2018)
15	Ikjong Park	(Park et al., 2020)
16	Marc R Avram	(Avram & Watkins, 2020)
17	Hyung Gon Shin	(Shin et al., 2021)
18	Martines, G	(Martines et al., 2017)
19	Röck, Tobias	(Röck et al., 2018).
20	Meller, Daniel	(Meller et al., 2011)
21	Oteyza, G	(de Oteyza et al., 2020)
22	Castellanos-González	(Castellanos-González et al., 2021)
23	Menazea, AA	(Menazea, 2020)
24	Pizarro, Sandra Martínez	(Pizarro, 2020)



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

25	Pérez Parra, Zaadia	(Pérez Parra et al., 2020)
26	Rodríguez-Ochoa	(Rodríguez-Ochoa et al., 2020)
27	Bai, Xue	(Bai et al., 2020)
28	Jalil, Sohail A	(Jalil et al., 2020)

Los avances continuos en las técnicas, instrumentaciones, y tecnologías quirúrgicas han mejorado los resultados del trasplante de córnea que se realiza con mayor frecuencia. A pesar de los resultados exitosos, existe un debate en torno a la medida en que estas tecnologías se traducen en resultados clínicos y en la repetibilidad de la técnica empleada. A continuación se resumen algunas de las investigaciones que registran el empleo tecnológico en el trasplante corneal.

En (Shin et al., 2021) se propone la utilización de tecnología robótica para la generación de suturas de forma uniforme. En este estudio, se describe un robot de sutura corneal que puede producir suturas de la forma deseada con alta uniformidad. El robot propuesto manipula la deformación del tejido corneal antes de insertar la aguja para controlar la forma de la sutura. Se propuso una simulación utilizando el método de elementos finitos para predecir la forma de la sutura. El experimento de sutura se realizó en un modelo porcino y el resultado se comparó con la simulación. Como resultado, el robot propuesto pudo generar suturas con una desviación estándar de 108 μ m de longitud y 36 μ m de profundidad. El error absoluto medio entre la simulación y el experimento fue de 95 μ m de longitud y 31 μ m de profundidad. Este es uno de los estudios más completos que sugiere un método para controlar la forma de la sutura y analizarla cuantitativamente en cirugía oftálmica.

En (Park et al., 2020) se desarrolla un algoritmo de segmentación y corrección de imágenes de Tomografía de Coherencia Óptica en tiempo real basado en aprendizaje profundo para sistemas de inserción de agujas robóticas que se pueden utilizar en la queratoplastia lamelar anterior profunda. El algoritmo proporciona la posición de la punta de la aguja, el límite inferior del tejido y la profundidad de inserción marginal que resuelve los problemas tradicionales de las imágenes como el error de refracción, el ruido óptico de las herramientas quirúrgicas y la velocidad lenta del escaneo volumétrico. A través del experimento realizado se verificó el desempeño del algoritmo propuesto con un sistema robótico. Los errores de segmentación fueron de 7,4 μ m para el límite superior, 10,5 μ m para el límite inferior y 3,6 μ m para la punta de la aguja. La diferencia en la pendiente de la aguja entre el exterior y el interior de la córnea se redujo drásticamente de 5,87 grados a 0,78 grados. La frecuencia de fotogramas de la imagen fue de 9,7 Hz y el retardo de tiempo del algoritmo de procesamiento de imágenes fue de 542,6 ms para 10 imágenes de 512 \times 512 píxeles.

En (Sobrevilla et al., 2005) se presenta un sistema de segmentación para analizar los patrones de las células del endotelio de la córnea donada para proporcionar información importante para un informe de la córnea para trasplante. El análisis del endotelio de las córneas donadas utilizadas para la queratoplastia es de fundamental importancia para



determinar si la córnea puede mantener su transparencia en el huésped. El sistema se basa en técnicas difusas, lo que permite tener en cuenta los problemas por poco brillo, iluminación no uniforme y poco contraste, que son los responsables de que las células sean casi imperceptibles en determinadas zonas. En sistemas de este tipo se utiliza una infraestructura tecnológica basada en sensores, que permite el monitoreo constante y automático de los parámetros de conservación de las córneas donadas.

En (Lee et al., 2010) se presenta un sistema de evaluación del espesor del injerto de córnea en una queratoplastia endotelial automatizada durante el stripping en la preparación de tejido de queratoplastia endotelial con membrana de Descemet. Este procedimiento quirúrgico se realiza para reemplazar la membrana de Descemet que funciona mal por una sana con el fin de restaurar la vista del paciente. Después de la operación, los oftalmólogos deben monitorear la membrana injertada para verificar si hay signos de desprendimiento o rechazo del huésped, y tomar las acciones apropiadas antes de que ocurra la falla del injerto.

En (Domene-Hinojosa et al., 2018), se describe cómo se optimiza el procedimiento de queratoplastia lamelar anterior profunda con paquimetría transoperatoria con el uso de la nueva tecnología OPMI Lumera® 700 y RESCANTM 700 de la casa Zeiss. Este microscopio incluye un sistema integrado de tomografía de coherencia óptica, con el que se puede observar por medio de la tomografía imágenes de alta resolución, que revela la microestructura corneal, incluyendo la membrana de Descemet durante los diferentes pasos de la cirugía, logrando mayor seguridad, y disminuyendo el riesgo de fracaso en la separación de la interfase estroma-Descemet.

En (Deshmukh et al., 2021) se describen las diversas técnicas de queratoplastias asistidas por láser con respecto a sus métodos, precisión y eficacia en distintas indicaciones corneales. El uso de láseres para procedimientos de queratoplastia no solo mejora la repetibilidad y consistencia de la técnica, sino que permite al cirujano controlar el grosor y la forma del tejido de trasplante adaptado a la condición específica; elementos que constituyen los principales desafíos en este tipo de intervención.

Discusión de los resultados

El uso de cirugía asistida por tecnología robótica o láser, se ha implementado con éxito en muchos campos quirúrgicos. La introducción de esta tecnología ha sido cada vez más aceptada debido a la precisión quirúrgica y la destreza requerida para ciertos procedimientos que pueden estar en o más allá de los límites de las capacidades humanas. Además permite la práctica de cirugía remota, donde el cirujano puede controlar al robot quirúrgico a cientos de kilómetros.



En oftalmología, la cirugía asistida por robot aún no ha sido ampliamente adoptada, aunque muchos prototipos robóticos son muy prometedores para mejorar las técnicas quirúrgicas y los resultados en los pacientes. La oftalmología es un campo que está iniciando la integración de la robótica en sus procedimientos e intervenciones quirúrgicas. La asistencia facilitada por robots ofrece mejoras sustanciales en términos de control de movimiento, cancelación de temblores, visualización mejorada y detección de distancia.

La tecnología robótica se ha integrado sólo recientemente en la oftalmología; por tanto, la progresión se encuentra solo en sus etapas iniciales. Las tecnologías robóticas están empezando a integrarse en el campo de la oftalmología y ayudan a los cirujanos en cirugías oculares complejas. Las cirugías oftálmicas requieren alta precisión para ejecutar la manipulación de tejidos, y algunas cirugías oculares complejas pueden tardar algunas horas en completar los procedimientos que pueden predisponer a los cirujanos oftálmicos de alto volumen a trastornos músculo esquelético relacionado con el trabajo.

Se ha logrado un cambio de paradigma completo en este campo en particular mediante la integración de tecnología robótica avanzada, lo que resulta en procedimientos más fáciles y eficientes. Donde la tecnología robótica ayuda a los cirujanos y mejora la calidad general de la atención, también proyecta varios desafíos, incluida la disponibilidad limitada, la capacitación y el alto costo del sistema robótico. Actualmente se están desarrollando varios diseños, dentro de los que se encuentran: herramientas quirúrgicas inteligentes como la mano firme, dispositivos de comanipulación, y telemanipuladores que utilizan un centro de movimiento remoto fijo o virtual.

La introducción de nuevas técnicas de trasplante de córnea ha dado lugar a un cambio en la técnica de la queratoplastia penetrante de espesor total a procedimientos lamelares que reemplazan selectivamente las capas afectadas. Seguidamente se describen algunas de las tendencias actuales que han sido posibles implementar gracias al avance tecnológico alcanzado en esta rama.

Queratoplastia lamelar anterior: procedimiento realizado para el reemplazo de las capas corneales anteriores con la preservación de la capa endotelial vital del huésped. Dentro de las ventajas principales figura la ausencia de rechazo del injerto endotelial. Aunque los registros evidencian que esta técnica había caído prácticamente en desuso, ha ganado una aceptación creciente gracias al uso del microquerátomo y el láser de femtosegundo que al producir un lecho quirúrgico más homogéneo y regular permiten una mejor rehabilitación visual (Myerscough et al., 2020).

Queratoplastia lamelar anterior profunda: procedimiento utilizado cuando para tratar las alteraciones que afectan las capas más profundas de la córnea. Reemplaza tanto el epitelio del huésped como el estroma profundo con tejido donante sano. Consiste en la sustitución de un botón corneal de diámetro variable, que comprende las capas anteriores y medias corneales, preservando la córnea posterior. Los pasos críticos de esta técnica son la trepanación corneal



parcial, incisión con bisturí de diamante, disección lamelar profunda aérea y corte estromal profundo hacia la interfase aérea.

Queratoplastia lamelar posterior: procedimiento de injerto laminar que implica el reemplazo selectivo del endotelio corneal sin alterar el epitelio con preservación de varias cantidades de estroma. Se realiza el reemplazo selectivo del endotelio corneal, lo que deja intacta la parte anterior de la córnea del huésped. Utilizada en la restauración de la transparencia corneal mediante el recambio de las capas posteriores de la córnea

Queratoplastia endotelial automatizada de extracción de Descemet: procedimiento para el reemplazo del endotelio enfermo, evitando al mismo tiempo una cirugía innecesaria en una superficie anterior y estroma sana. Con esta técnica se logra una mejor integridad estructural de la córnea, ausencia de suturas en la superficie corneal, recuperación visual más rápida y una disminución de las posibilidades de rechazo del injerto endotelial. Se adiciona una cámara anterior artificial y un microquerátomo automatizado para recolectar la laminilla posterior y el endotelio del donante. Es la técnica que más ha evolucionado gracias al avance tecnológico (Villarrubia, 2007).

Femtosecond laser: El láser de femtosecond es un láser infrarrojo enfocable que emite pulsos ultracortos en el rango de duración de femtosegundos. Los pulsos contiguos se colocan a una profundidad definida dentro de la córnea, reseca así solo el tejido objetivo. Este dispositivo quirúrgico permite cortar tejido corneal en una serie de diseños de trasplante personalizados y reproducibles. Inicialmente se utilizó para producir cortes corneales de espesor total y parcial y luego se empleó en la cirugía de trasplante de córnea. Con una longitud de onda de 1053 nm (Zhang et al., 2006), la córnea es transparente a la radiación infrarroja cercana emitida por estos láseres. La fotodisrupción ocurre cuando el láser se enfoca a través de una ruptura óptica inducida por láser que vaporiza el tejido corneal a través de la formación de plasma y la producción de ondas de choque acústicas (Jun et al., 2015).

Excimer Laser Assisted Corneal Transplantation: El trasplante de córnea asistido por láser Excimer es utilizado debido a su capacidad para realizar ablaciones corneales suaves, precisas y reproducibles (Al-Mahmood et al., 2012). El láser Excimer se ha empleado con éxito en varios tipos de cirugías de trasplante de córnea. Se emplea para crear disecciones tanto del huésped como del injerto en queratoplastias lamelares y para la trepanación del huésped y del injerto en cirugías de trasplante de córnea de espesor total (Mejía et al., 2018). El láser excimer tiene la capacidad de crear ablaciones corneales con un daño mínimo al tejido circundante, y perfora la córnea. Elimina el endotelio y el estroma posterior. Se coloca una máscara de acero inoxidable del mismo diámetro que la zona de ablación del lecho receptor sobre la córnea del huésped asegurando bordes de la herida regulares y verticales. La profundidad de la ablación se ajusta de modo que quede un mínimo de 200 µm de lecho estromal residual (Randleman et al., 2003). Se crea una bolsa estromal circunferencial de 1 a 2 mm en la que se coloca el injerto (Porzionato et al., 2018). El tejido



del donante se prepara más comúnmente utilizando un microquerátomo; sin embargo, también se ha descrito la preparación asistida por láser Excimer del lenticulo corneal del donante.

Trasplante de membrana amniótica: utilizada para restaurar el grosor del estroma corneal con el objetivo de evitar una queratoplastia urgente penetrante (Meller et al., 2011). El TMA es una buena alternativa a la queratoplastia penetrante, en especial, en los casos agudos en los que el riesgo de rechazo del injerto es alta. Los parches de membrana amniótica se pueden fijar sobre la perforación con sutura o pegamento (Röck et al., 2018). Tanto el cianoacrilato como la cola de fibrina se han usado, pero la cola de fibrina permite el sellado de grandes perforaciones y da mejores resultados (Martines et al., 2017).

Conclusiones

La habilidad de cada cirujano es determinante en el resultado del trasplante de córnea. Para reducir la variabilidad asociada con las técnicas quirúrgicas manuales tradicionales y mejorar los resultados, se ha empleado el uso de la tecnología en las distintas técnicas de la queratoplastia. A partir del mapeo sistemático de la literatura sobre el trasplante de córnea se obtuvo un estudio de las técnicas quirúrgicas apoyadas en las tecnologías. El método de análisis de contenido posibilitó identificar y comprender representaciones cognoscitivas que otorgan sentido a reportes técnicos producidos, recibidos y comprendidos por actores en contextos concretos.

Los avances en técnicas y herramientas de la última década han permitido a los cirujanos mejorar los resultados de las queratoplastias corneales lamelares. El desarrollo de mejores microscopios, instrumentos a medida, microquerátomos y láseres para una disección precisa, ha renovado el interés en las técnicas de trasplante de córnea lamelar. Se pudo constatar además, que el empleo de la tecnología, ha servido para disminuir el número de trasplantes de córnea, a partir de los implantes de lentes, los materiales viscoelásticos y los agentes antimicrobianos. La rápida mejora y desarrollo en las tecnologías oftalmológicas, junto con las estructuras de la cámara, insufladores, dispositivos y tácticas quirúrgicas para cirugías mínimamente invasivas han modificado las intervenciones durante los últimos años.

Conflictos de intereses

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Angie Dayana Villamar Gavilanes, Carvajal Barahona Víctor Fernando.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Análisis formal: Angie Dayana Villamar Gavilanes, David Guillermo Morán Anzules, Carvajal Barahona Víctor Fernando.

Investigación: Angie Dayana Villamar Gavilanes, David Guillermo Morán Anzules.

Metodología: Angie Dayana Villamar Gavilanes, David Guillermo Morán Anzules.

Validación: David Guillermo Morán Anzules.

Visualización: David Guillermo Morán Anzules.

Redacción – borrador original: Angie Dayana Villamar Gavilanes, David Guillermo Morán Anzules, Carvajal Barahona Víctor Fernando.

Redacción – revisión y edición: Angie Dayana Villamar Gavilanes, David Guillermo Morán Anzules, Carvajal Barahona Víctor Fernando.

Financiamiento

La presente investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

Referencias

- Abell, R. G., Kerr, N. M., Howie, A. R., Kamal, M. A. M., Allen, P. L., & Vote, B. J. (2014). Effect of femtosecond laser-assisted cataract surgery on the corneal endothelium. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 40(11), 1777-1783.
- Al-Mahmood, A. M., Al-Swailem, S. A., & Edward, D. P. (2012). Glaucoma and corneal transplant procedures. *Journal of Ophthalmology*, 2012.
- Avram, M. R., & Watkins, S. (2020). Robotic hair transplantation. *Facial Plast Surg Clin North Am*, 28(2), 189-196.
- Bai, X., Yang, Q., Fang, Y., Zhang, J., Yong, J., Hou, X., & Chen, F. (2020). Superhydrophobicity-memory surfaces prepared by a femtosecond laser. *Chemical Engineering Journal*, 383, 123143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719325550>
- Buznyk, O., Pasychnikova, N., Islam, M. M., Iakymenko, S., Fagerholm, P., & Griffith, M. (2015). Bioengineered corneas grafted as alternatives to human donor corneas in three high-risk patients. *Clinical and translational science*, 8(5), 558-562.



- Carrizo, D., & Rojas, J. (2016). Clasificación de prácticas de educación de requisitos en desarrollos ágiles: Un mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(4), 654-662. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052016000400010&script=sci_arttext
- Carrizo, D., & Rojas, J. (2018). Metodologías, técnicas y herramientas en ingeniería de requisitos: un mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(3), 473-485. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052018000300473&script=sci_arttext&tlng=e
- Castañón Pompa, D., & Duvergel Fabier, Y. (2019). El uso de las TICs en la enseñanza de la cirugía de mínimo acceso para enfermería. *Revista Cubana de Enfermería*, 35(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192019000100014
- Castellanos-González, J., Orozco-Vega, R., Ojeda, A. G., Ruiz, A. M., & Fuentes-Orozco, C. (2021). Evaluación de la calidad de vida relacionada con la visión posterior a queratoplastia penetrante. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 96(2), 69-73. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7767617>
- Claesson, M., Armitage, W., Fagerholm, P., & Stenevi, U. (2002). Visual outcome in corneal grafts: a preliminary analysis of the Swedish Corneal Transplant Register. *British Journal of Ophthalmology*, 86(2), 174-180.
- Coll, C. B., Uribe, L. A. P., & Molano-González, N. (2019). Indicaciones y técnicas de trasplante de córnea en una clínica oftalmológica privada en Colombia. *Revista Sociedad Colombiana de Oftalmología*, 52(1), 8-15. <https://scopublicaciones.socoftal.com/index.php/SCO/article/download/258/224>
- de Oteyza, G. G., García-Albisua, A., Vázquez-Romo, K., Betancourt, J., Sandner, M. B., & Sánchez-Huerta, V. (2020). Queratoplastia lamelar anterior en el manejo de un tumor dermoide central en un bebé. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 95(1), 48-51. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0365669119302941>
- De Smet, M. D., Naus, G. J., Faridpooya, K., & Mura, M. (2018). Robotic-assisted surgery in ophthalmology. *Current opinion in ophthalmology*, 29(3), 248-253.
- Deshmukh, R., Stevenson, L. J., & Vajpayee, R. B. (2021). Laser-assisted Corneal Transplantation Surgery. *Survey of Ophthalmology*.
- Domene-Hinojosa, J., Ceja-Meraz, S., Garcia-Treviño, A., Espinosa-Velez, G., Garcia-Pisanty, D., Cornu-Melgoza, E., & Domene-Hickman, J. (2018). Queratoplastia Lamelar Anterior Profunda (DALK Pachy bubble) guiada por OCT transoperatorio. Caso clínico Deep Anterior Lamellar Keratoplasty (DALK Pachy bubble) OCT guided. Case Report. *OFTALM*, 92(5), 265-268.



- Dosal, J. A. R. (2018). Trasplante de córnea. *Revista del Hospital Juárez de México*, 67(3), 139-143.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/juarez/ju-2000/ju003h.pdf>
- Edwards, T., Xue, K., Meenink, H., Beelen, M., Naus, G., Simunovic, M., Latasiewicz, M., Farmery, A., de Smet, M., & MacLaren, R. (2018). First-in-human study of the safety and viability of intraocular robotic surgery. *Nature biomedical engineering*, 2(9), 649-656.
- Gerber, M. J., Pettenkofer, M., & Hubschman, J.-P. (2020). Advanced robotic surgical systems in ophthalmology. *Eye*, 34(9), 1554-1562.
- Hawa-Montiel, H. (2005). Trasplante de córnea: Criterio clínico quirúrgico. *Revista de investigación clínica*, 57(2), 358-367. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ric/v57n2/v57n2a33.pdf>
- Herrera, C. D. (2018). Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universum. *Revista general de información y documentación*, 28(1), 119.
http://www.academia.edu/download/56993195/Art_Invest_cuali_y_A.de_Cont_tematico_RGID_2018.pdf
- Hurtado-Sarrió, M., Duch-Hurtado, M., & Tudela, J. (2019). Trasplante de córnea: aspectos bioéticos. *Acta bioethica*, 25(1), 73-83. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S1726-569X2019000100073&script=sci_arttext
- Jalil, S. A., Lai, B., ElKabbash, M., Zhang, J., Garcell, E. M., Singh, S., & Guo, C. (2020). Spectral absorption control of femtosecond laser-treated metals and application in solar-thermal devices. *Light: Science & Applications*, 9(1), 1-9. <https://www.nature.com/articles/s41377-020-0242-y>
- Jun, J. H., Hwang, K. Y., Chang, S. D., & Joo, C.-K. (2015). Pupil-size alterations induced by photodisruption during femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 41(2), 278-285.
- Keller, B., Draelos, M., Zhou, K., Qian, R., Kuo, A. N., Konidaris, G., Hauser, K., & Izatt, J. A. (2020). Optical Coherence Tomography-Guided Robotic Ophthalmic Microsurgery via Reinforcement Learning from Demonstration. *IEEE Transactions on Robotics*, 36(4), 1207-1218.
<https://doi.org/10.1109/TRO.2020.2980158>
- Kerr, R. S. (2020). Surgery in the 2020s: implications of advancing technology for patients and the workforce. *Future healthcare journal*, 7(1), 46.
- Lee, B. H., Liu, J., Tan, Z., Heng, E., Cheng, J., Tan, N. M., Wong, D. W. K., Trucco, E., Mehta, J., & Wong, T. Y. (2010, 31 Aug.-4 Sept. 2010). Corneal graft detection for Descemet's Stripping Automated Endothelial Keratoplasty using Optical Coherence Tomography. 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology,



- Martines, G., Digennaro, R., De Fazio, M., & Capuano, P. (2017). Cyanoacrylate sealant compared to fibrin glue in staple line reinforcement during laparoscopic sleeve gastrectomy. Pilot prospective observational study. *II Giornale di chirurgia*, 38(1), 50.
- Mejía, L. F., Córdoba, A., & Arango, A. (2018). Queratoplastia lamelar anterior superficial sin suturas en un paciente con distrofia epitelial-estromal: reporte de un caso. *Revista Sociedad Colombiana de Oftalmología*, 51(2), 153-160.
- Meller, D., Pauklin, M., Thomasen, H., Westekemper, H., & Steuhl, K.-P. (2011). Amniotic membrane transplantation in the human eye. *Deutsches Ärzteblatt International*, 108(14), 243.
- Menazea, A. (2020). Femtosecond laser ablation-assisted synthesis of silver nanoparticles in organic and inorganic liquids medium and their antibacterial efficiency. *Radiation Physics and Chemistry*, 168, 108616. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X19313726>
- Myerscough, J., Bovone, C., Thomas, P. B. M., Mimouni, M., Aljassar, F., Padroni, S., & Busin, M. (2020). Sutureless superficial anterior lamellar keratoplasty for recurrent corneal haze after repeat excimer laser surface ablation. *British Journal of Ophthalmology*, 104(3), 341-344.
- Pandey, S. K., & Sharma, V. (2019). Robotics and ophthalmology: Are we there yet? *Indian journal of ophthalmology*, 67(7), 988.
- Park, I., Kim, H. K., Chung, W. K., & Kim, K. (2020). Deep Learning Based Real-Time OCT Image Segmentation and Correction for Robotic Needle Insertion Systems. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(3), 4517-4524. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.3001474>
- Pérez Parra, Z., Jareño Ochoa, M., Fernández García, K., Casas Arias, X., Noriega Martínez, J. L., & Fuentes González, M. (2020). Seguridad de la queratoplastia lamelar anterior profunda versus queratoplastia penetrante en el tratamiento del queratocono. *Revista Cubana de Oftalmología*, 33(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21762020000100005
- Piñeiro-Naval, V. La metodología de análisis de contenido. Usos y aplicaciones en la investigación comunicativa del ámbito hispanico. http://www.academia.edu/download/63512180/Pineiro-Naval_2020b20200603-36550-1krcv9m.pdf
- Pizarro, S. M. (2020). Quemaduras químicas oculares tratadas mediante trasplante de membrana amniótica. *Universidad Médica Pinareña*, 16(3). <http://revgaleno.sld.cu/index.php/ump/article/download/477/pdf>



- Porzionato, A., Stocco, E., Barbon, S., Grandi, F., Macchi, V., & De Caro, R. (2018). Tissue-engineered grafts from human decellularized extracellular matrices: a systematic review and future perspectives. *International journal of molecular sciences*, 19(12), 4117.
- Randleman, J. B., Russell, B., Ward, M. A., Thompson, K. P., & Stulting, R. D. (2003). Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology*, 110(2), 267-275.
- Röck, T., Bartz-Schmidt, K. U., Landenberger, J., Bramkamp, M., & Röck, D. (2018). Amniotic membrane transplantation in reconstructive and regenerative ophthalmology. *Annals of transplantation*, 23, 160.
- Rodríguez-Ochoa, J., Arroyo-García, C., Rabasco, A., & González-Rodríguez, M. (2020). Nueva alternativa a la cirugía en la queratopatía neurotrófica. Formulación de liposomas deformables de extracto de membrana amniótica. *REV ESP CIEN FARM., VOL 1, N° 1 (JULIO 2020), 1(1), 65.*
<http://www.farmaceticosdesevilla.es/public/modules/download/viewer.php?download=603&file=627#page=76>
- Rojas Álvarez, E., González Sotero, J., Pérez Ruiz, A., Lazo Lorente, L., & Herrera Capote, N. (2012). Trasplante de córnea: enfoque social, más allá de los aspectos médicos. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 16(3), 307-316. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-31942012000300026
- Shin, H. G., Park, I., Kim, K., Kim, H. K., & Chung, W. K. (2021). Corneal Suturing Robot Capable of Producing Sutures With Desired Shape for Corneal Transplantation Surgery. *IEEE Transactions on Robotics*, 37(1), 304-312. <https://doi.org/10.1109/TRO.2020.3031885>
- Sobrevilla, P., Montseny, E., & Alvarez, S. (2005, 26-28 June 2005). Basic macrotexures structure detection in corneal images using fuzzy techniques. NAFIPS 2005 - 2005 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society,
- Tan, D. T., Dart, J. K., Holland, E. J., & Kinoshita, S. (2012). Corneal transplantation. *The Lancet*, 379(9827), 1749-1761.
- Tseng, S. (2001). Amniotic membrane transplantation for ocular surface reconstruction. *Bioscience reports*, 21(4), 481-489.
- Verdiguél-Sotelo, K., Carrasco-Quiroz, A., & Rangel-Servín, J. (2017). Categoría pronóstica de trasplante corneal en un centro de referencia. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 54(6), 738-745. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=70339>
- Villarrubia, A. (2007). Queratoplastia lamelar posterior. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 82, 665-666. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-66912007001100001&nrm=iso



- Zhang, B., Xue, Q., Li, J., Ma, L., Yao, Y., Ye, H., Cui, Z., & Yang, H. (2019). 3D bioprinting for artificial cornea: Challenges and perspectives. *Medical engineering & physics*, 71, 68-78.
- Zhang, X., Fan, D., Zeng, X., Wei, X., Huang, X., Wang, X., Zhu, Q., & Qian, L. (2006). Acquiring 1053 nm femtosecond laser emission by optical parametric amplification based on supercontinuum white-light injection. *Optics letters*, 31(5), 646-648.

