

**Comparison between the optical cochlear implant and the electrical cochlear implant in people with hearing impairments**  
**Comparación entre el implante coclear óptico y el implante coclear eléctrico en personas con déficits auditivos**

**Autores:**

Sailema-Ullco, Jéssica Belén  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
Interno Rotativo de Medicina  
Hospital General Latacunga  
Ambato – Ecuador



[jsailema0583@uta.edu.ec](mailto:jsailema0583@uta.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0007-4088-548X>

Alfonso-Morejón, Eduardo Arsenio  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
Doctor en Medicina y Cirugía  
Especialista en Otorrinolaringología  
Docente de la carrera de Medicina  
Ambato – Ecuador



[ea.alfonso@uta.edu.ec](mailto:ea.alfonso@uta.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0008-3434-3649>

Fechas de recepción: 27-ENE-2025 aceptación: 27-FEB-2025 publicación: 15-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

La pérdida auditiva es considerada una patología presente a nivel mundial que afecta notablemente la calidad de vida de quienes lo padecen; actualmente el implante coclear (IC) es el único tratamiento de elección para la pérdida auditiva de profunda a severa, ya que este dispositivo estimula las neuronas del ganglio espiral (NGE) y son capaces de devolver la audición de forma parcial; existen dos tipos: el implante coclear eléctrico (ICE) convierte el sonido en pulsos eléctricos que llegan a la cóclea y estimulan al ganglio espiral dando sensación de audición en ausencia de células ciliadas funcionales, mientras que el implante coclear óptico (ICO) estimula la neurona por medio de luz y usa la organización tonotópica coclear ofreciendo mayor selectividad espectral y por ende mejora la audición en entornos ruidosos y la comprensión de la música. Los IC son intervenciones comunes en niños y adultos con PA. Así como brinda beneficios, se presentan complicaciones luego de la colocación del implante. La estimulación eléctrica es de uso común en este ámbito, antigua pero no de elección por el momento, mientras que la estimulación óptica es nueva pero prometedora en el campo de la audición. Los sistemas actuales de implantación coclear resultan eficaces en personas sordas, ya que es posible comprender el habla incluso vía telefónica, a pesar de que aún tiene ciertas limitaciones es una señal para continuar con la investigación y llegar más lejos.

**Palabras clave:** Pérdida auditiva; Implante coclear; Estimulación eléctrica; Estimulación óptica

## Abstract

Hearing loss is considered a pathology present worldwide that significantly affects the quality of life of those who suffer from it; Currently, the cochlear implant (CI) is the only treatment of choice for profound to severe hearing loss, since this device stimulates the spiral ganglion neurons (SNG) and they are capable of partially restoring hearing; There are two types: the electrical cochlear implant (ICE) converts sound into electrical pulses that reach the cochlea and stimulate the spiral ganglion, giving the sensation of hearing in the absence of functional hair cells, while the optical cochlear implant (ICO) stimulates the neuron through light and uses the cochlear tonotopic organization, offering greater spectral selectivity and therefore improves hearing in noisy environments and the understanding of music. CIs are common interventions in children and adults with AP. Just as it provides benefits, complications arise after implant placement. Electrical stimulation is commonly used in this field, old but not of choice at the moment, while optical stimulation is new but promising in the field of hearing. Current cochlear implantation systems are effective in deaf people, since it is possible to understand speech even over the telephone, although it still has certain limitations, it is a sign to continue with research and go further.

**Keywords:** Hearing loss; Cochlear implant; Electrical stimulation; Optical stimulation



## Introducción

La audición está determinada por factores biológicos, conductuales y ambientales en el transcurso de la vida del individuo. La PA clínica ocurre cuando en la audiometría el umbral auditivo supera los 20 decibeles; es considerada como el déficit sensorial más frecuente a nivel mundial y es el resultado de una disfunción coclear. Según la organización panamericana de la salud (OPS) alrededor de 1.5 millones de personas en el mundo tienen algún grado de PA. (Moser & Dieter, 2020).

La PA es considerada como una discapacidad en dependencia del grado y según su clasificación. Afecta a millones de personas a nivel mundial y genera costos al sistema de salud. Las causas pueden ser genéticas, durante el desarrollo de la vida cotidiana debido al ruido, uso incorrecto de medicamentos ototóxicos, traumatismos o infecciones que lesionan la cóclea o la edad avanzada (por degeneración de células sensoriales y neuronas auditivas), se puede clasificar en sordera prelingual y postlingual, según esto se establecen las indicaciones para su uso. (Zhu et al., 2020)

El tratamiento definitivo actualmente para la PA profunda es el uso del IC ya que contribuye en gran medida a la rehabilitación auditiva dependiendo de la gravedad y localización de la lesión, la rehabilitación puede durar años en dependencia de la edad, etiología, uso de audífonos, habilidades comunicativas, el apoyo familiar y del rehabilitador en el proceso. (Castillo-Valdés et al., 2021) Las células ciliadas cocleares (CCC) y las neuronas del ganglio espiral son la base para el funcionamiento adecuado del sistema auditivo, puesto que se encargan de convertir y transmitir las vibraciones externas en señales eléctricas hasta la corteza auditiva (Moser & Dieter, 2020).

El IC es un dispositivo diferenciado del audífono por varios aspectos, entre los cuales están: el IC se implanta quirúrgicamente bajo la piel por detrás de la oreja, además, es capaz de evadir el mecanismo normal por el que se conduce el sonido, convierte una señal sonora en un estímulo eléctrico y estimula directamente neuronas residuales (Chen et al., 2019). Los IC evaden las CCC al activar las neuronas del ganglio espiral postsináptico (cuyas ramas forman la porción coclear del VIII par craneal) generando mayor selectividad espectral en dependencia del tipo de estimulación que utilice (Dieter, Klein, et al., 2020)



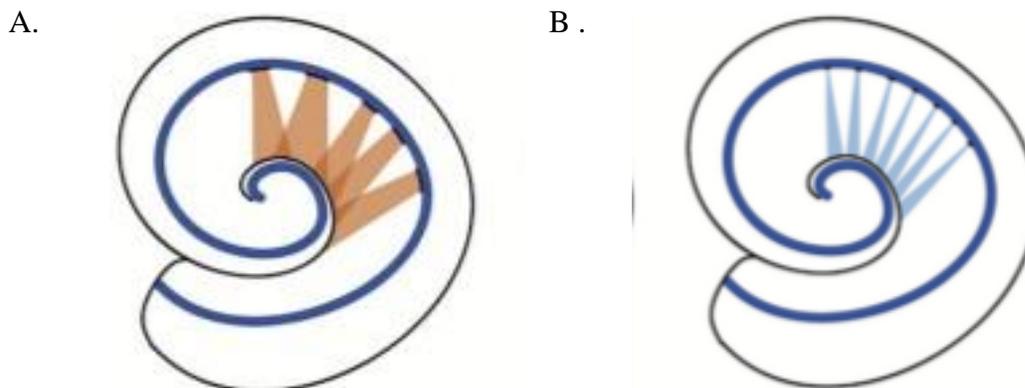
Existen dos tipos de implante coclear, uno estimulado por electricidad y el otro por medios ópticos. El ICE estimula eléctricamente el nervio auditivo, la dispersión de estimulación es vasta lo que conlleva a la amplia excitación neuronal, esto restringe la capacidad de codificar el sonido ya que el estímulo neuronal generado no es específico como se evidencia en la imagen 1 (literal A), limitando la calidad de la audición; pero ha sido considerada por un largo tiempo como la neuroprótesis más exitosa para personas con discapacidad auditiva profunda o severa (Dieter, Klein, et al., 2020)

Actualmente, ha surgido la idea de estimulación optogénica del nervio óptico, ya que la luz se confina mejor en el espacio a diferencia de la corriente eléctrica permitiendo así una mayor selectividad espectral para decodificar el sonido y por ende mejorar la audición, ya que es más específico como se muestra en la imagen 1 (literal B), con este nuevo avance se espera que en un futuro se diferencie el habla con ruido de fondo e incluso procesar la música (Keppeler et al., 2020)

Este tema cobra especial relevancia con el pasar de los años, pues los casos continúan en ascenso, la PA representa un desafío significativo en la calidad de vida de las personas, y los IC surgieron como una opción terapéutica innovadora, pero es importante que vaya de la mano con la rehabilitación auditiva, ya que su participación en este punto es fundamental. (García, 2024) (Boisvert et al., 2020)

### Ilustración 1

*Esquema de la selectividad que presenta el ICO y el ICE en la estimulación neuronal*



**A.** Estimulación eléctrica. **B.** Estimulación óptica. (Zhu et al., 2020)

*Nota:* Zhu, A., Qureshi, A. A., Kozin, E. D., & Lee, D. J. (2020). Concepts in Neural Stimulation: Electrical and Optical Modulation of the Auditory Pathways. Otolaryngologic Clinics of North America, 53(1), 31-43.

## Material y métodos

Es una revisión sistemática de carácter cualitativo, a través de bases de datos medicas actualizadas se logra la recopilación de la información requerida para realizar el presente documento, entre las cuales se encuentran: Pubmed, Mendeley, Cochrane y Scopus. Los artículos revisados fueron aquellos publicados entre el 2019 – 2024, los artículos que fueron aceptados para la elaboración de esta revisión fueron acorde a los criterios de inclusión y exclusión.

### *Criterios de inclusión:*

Se aceptó artículos originales, metaanálisis, revisiones sistemáticas, revisiones bibliográficas publicados en los últimos 5 años, en idioma inglés o español relaciones directamente con el tema en cuestión: uso de implantes cocleares, implantes cocleares eléctricos vs ópticos, uso de la estimulación coclear óptica en personas con pérdida auditiva.

### *Criterios de exclusión:*

Los documentos excluidos fueron aquellos que no presentaron relevancia para el tema, además de las cartas al lector, artículos de editoriales, los artículos duplicados o aquellos con texto incompleto.

## Resultados

En un estado fisiológico auditivo las CCC y las NGE son fundamentales para conservar la capacidad auditiva intacta; las CCC se encargan de convertir las vibraciones mecánicas del sonido en señales neuronales eléctricas, mientras que, las NGE están encargadas de transmitir las a la corteza auditiva (imagen 2). Al mismo tiempo son altamente sensibles y se



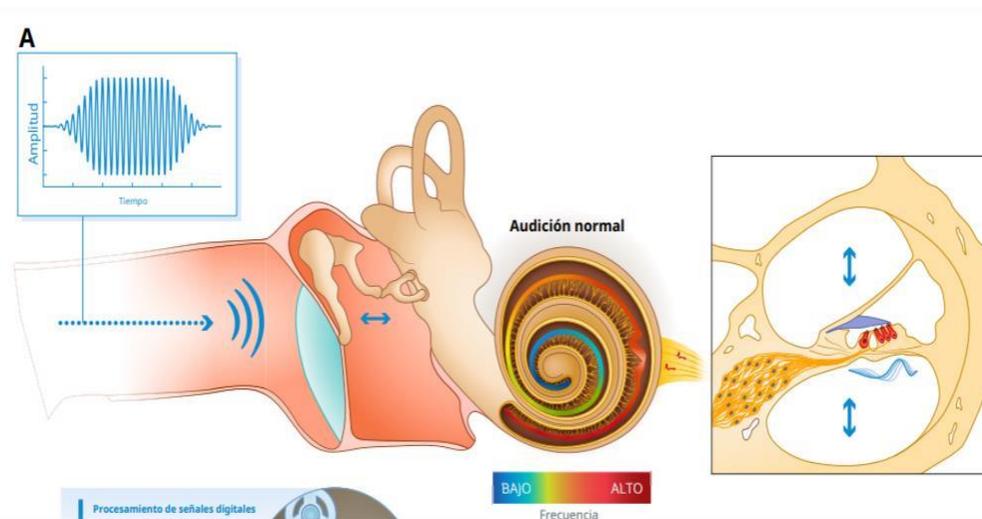
lesionan por exceso de ruido, inflamación, mutación genética, envejecimiento o fármacos ototóxicos; incluso la capacidad de regeneración es limitada y en caso de pérdida, ésta se considera irreversible (Shen et al., 2020)

La colocación del IC también es considerada un traumatismo de tipo quirúrgico para la cóclea, ya que las CCC residuales funcionales mueren durante este proceso cuando no hay suficiente flexibilidad de la guía, fracasando así la preservación de la audición residual que queda en algunos pacientes. (Shen et al., 2020)

Las células de shawnn son consideradas como las principales células gliales del sistema nervioso periférico (NSP), mismas que están encargadas de liberar factores de crecimiento nervioso y de protección axonal tales como: el factor neurotrófico derivado de la línea celular glial y el factor neurotrófico derivado del cerebro. (Shen et al., 2020)

## Ilustración 2

### *Audición fisiológica*



La cóclea se encarga de transmitir las ondas de presión del exterior por medio de los huesecillos; esta onda se propaga y poco a poco se descompone a lo largo del eje coclear mientras va activando células ciliadas sensibles (color rojo) y se continúan a las NGE (color amarillo) y producir un sonido

**Nota:** Dieter, A., Keppeler, D., & Moser, T. (2020). Towards the optical cochlear implant: optogenetic approaches for hearing restoration. *EMBO Molecular Medicine*, 12(4); Moser, T., & Dieter, A. (2020). Towards optogenetic approaches for hearing

### *Pérdida auditiva*

La PA es una discapacidad que afecta a millones de personas en el mundo, alrededor de 1.5 millones de personas según la OPS, con ello cerca de 430 millones padecen pérdida auditiva moderada o mayor; se estima que para el 2050 este número llegue a 2.5 millones de personas y al menos 700 millones de estos requieran servicios de rehabilitación (Zhu et al., 2020). Con un impacto económico de 750 mil millones de dólares aproximadamente invertidos en el desarrollo de tratamientos innovadores y efectivos. (Dieter, Klein, et al., 2020) La hipoacusia o PA se considera cuando la capacidad auditiva del individuo va por debajo de los 40 decibeles (Castillo-Valdés et al., 2021). Puede ser unilateral o bilateral y se divide en dos categorías la PA conductiva (enfermedades del conducto auditivo externo y medio) y la PA neurosensorial (oído interno y vía neural acústica), actualmente se han registrado una gran cantidad de causas externas como los traumatismos, infecciones, uso incorrecto de fármacos ototóxicos, además de los factores no modificables como la edad y la genética que conllevan a pérdidas auditivas considerables. (Sharma et al., 2020)

Existen diferentes grados de sordera, desde pérdidas auditivas leves (30 decibeles), moderada (35-70 decibeles), severa (80-90 decibeles) y profunda (100-120 decibeles). En dependencia de la aparición pueden ser: sordera prelocutiva y sordera postlingual. Para las personas con pérdidas auditivas severas a profundas, los implantes cocleares son una opción para recuperar la audición. (Chen et al., 2019)

Hoy en día no existe un tratamiento primario para la PA neurosensorial, aquellos adultos con grados leve o moderada se benefician del uso de audífonos convencionales, a diferencia de la PA severa y profunda en adultos y leve, moderada, severa y profunda en los niños menores de 2 años que se benefician de un IC ya que les permite continuar con el aprendizaje del lenguaje, la cognición y la calidad de vida como un semejante con audición normal. (Ordoñez Luna & Lazarte Villarroel, 2020)

Los niños con sordera unilateral tienen mayor riesgo de presentar dificultades psicosociales o rendimiento bajo en las unidades educativas. La edad es un factor crucial, pues aquellos que se implantan pasado los 7 años no reciben los mismos beneficios y su retraso en el

desarrollo del habla es notorio. (Buchman et al., 2020) Se considera que las intervenciones tempranas en niños dan resultados auditivos positivos, pero esto puede llevarse a cabo si hay atención auditiva oportuna, ese ingreso auditivo en los primeros años de vida permite mejorar el pronóstico a largo plazo. (Borre et al., 2023). Los adultos con sordera prelocutiva no tienen buen pronóstico con la colocación de IC ya que su sistema neuronal carece de organización espacial y estructural debido a que no han experimentado audición normal en su vida. (Forli et al., 2021)

Una recopilación de varios estudios publicados en el 2021 concluye que los niños con sordera de corta duración tienen gran mejoría clínica en el reconocimiento del habla en espacios silenciosos postimplantación; a diferencia de la sordera congénita de larga duración que presenta respuesta anormal frente al IC, ya que se han perdido la estimulación neuronal auditiva temprana misma que contribuye en la maduración de la corteza auditiva y así retrasa el funcionamiento normal del IC luego de su implantación. (Benchetrit et al., 2021)

#### *Estimulación neuronal artificial*

La estimulación neuronal artificial (ENA) inició en la década de los 60. (Moser & Dieter, 2020) . La estimulación de las NGE puede ser inducida por una diversidad de estímulos como: luz, productos químicos y presión. Las neuroprótesis se enfocan en estimular las neuronas sanas de segundo o tercer orden para restaurar cierto grado de función auditiva (Zhu et al., 2020)

Las neuronas de segundo y tercer orden una vez excitadas son capaces de activar cierto grado de función auditiva (Zhu et al., 2020). El mecanismo por el cual funciona el IC se basa en evadir las células ciliadas defectuosas al momento de activar las NGE postsinápticas y así transmitir la información sensorial a la corteza cerebral. (Dieter, Klein, et al., 2020)

Hay ocasiones donde el nervio coclear puede estar ausente o defectuoso debido a malformaciones congénitas, lesiones, traumatismos, meningitis o diversos procesos neoplásicos (schwannomas vestibulares). La evidencia muestra que esta clase de pacientes no son candidatos para uso de implante coclear. (Zhu et al., 2020)

#### *El implante coclear*

El primer IC exitoso implantado en un ser humano fue desarrollado el 1957 por Djourno y Charles Eyries. En 1961 Doyle colocó a dos pacientes sordos un implante de oro a nivel de

la rampa timpánica, quienes refirieron cambios notorios en el sonido. En 1964 Simmons implantaron un electrodo en el vestíbulo, posteriormente el paciente se vinculó con los sonidos externos; el informe de investigación a lo largo de esos años demostró que el IC con un electrodo era útil para pacientes sordos en un medio silencioso. En 1984 la Administración de Medicamento y Alimentos (FDA) autorizó la producción masiva y el comercio de estos artefactos para adultos y niños de 1 año en adelante. (Chen et al., 2019). Finalmente, en 2020 se aprobó el uso de IC en niños a partir de los 9 meses, marcando un paso histórico en el campo de los implantes. (Benchetrit et al., 2021)

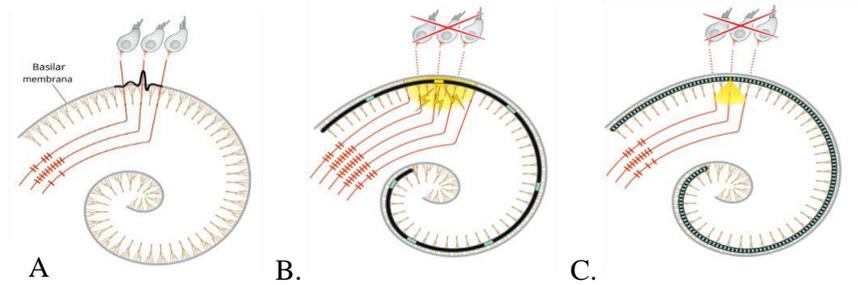
Con el pasar de los años se ha creado una variedad de estos dispositivos en pro de mejorar el sistema como por ejemplo los sistemas de implante coclear multicanal. El concepto de implante coclear es sencillo en la teoría, pequeño y complejo dispositivo auditivo; empero la elaboración y colocación tiene una gran complejidad (Shen et al., 2020)

Pacientes con ausencia parcial de CCC o función reducida requieren un IC, aunque la tonalidad de la voz sea robótica es factible su uso. Los IC evaden el mecanismo de audición fisiológico, primero capta el sonido luego lo transforma en una onda de presión acústica que se mueve en las CCC que estimulan eléctricamente las neuronas residuales y así recuperan parcialmente la capacidad auditiva (imagen 3). Para 2012 aproximadamente 324 200 fueron acreedores a un IC a nivel mundial, entre ellos 58.000 adultos y 38.000 niños. (Chen et al., 2019).

Los implantes cocleares son instrumentos artificiales considerados como las prótesis sensoriales de mayor éxito a nivel mundial además de lo sofisticadas que son, ya que su mecanismo de funcionamiento permite reemplazar de forma parcial la función de las CCC para estimular el nervio auditivo directamente, llegar con la información sensorial al sistema nervioso central y permitir la percepción del sonido (Carlyon & Goehring, 2021). Existen dos tipos principales de IC: los ICE y los ICO, estos son dispositivos implantables quirúrgicamente que se colocan uno detrás de la oreja y el otro debajo de la piel. (Huet et al., 2021)

### Ilustración 3

#### Mecanismo de activación del nervio auditivo



A. Activación con sonido del ambiente, fisiológicamente. B. Activación eléctrica. C. Activación ontogénica. *Interpretación gráfica: Onda viajera (negro), membrana basilar (gris). NGE (líneas marrón claro), axones de NGE (líneas rojas), patrón de potencial de acción (rayos amarillos).*

**Nota:** Kitcher, S. R., & Weisz, C. J. (2020). Shedding light on optical cochlear implant progress. *EMBO Molecular Medicine*, 12, 1–3.

La inserción de los electros se realiza a mano por un cirujano, teniendo en cuenta la variación anatómica y el tamaño de la cóclea humana, resulta ser un reto colocar en una correcta orientación con el nervio auditivo. La ubicación exacta del dispositivo. Ya sea base o ápice, ejerce gran influencia en la amplitud del implante. (Swaddiwudhipong et al., 2020)

El uso de IC a pesar de tener ventajas cuenta con complicaciones a corto y largo plazo, dentro de las mismas se incluyen infección, sangrado, migración del implante e incluso deterioro del hueso temporal, en el peor de los casos mayor riesgo de meningitis bacteriana o hay pacientes que no han presentado la mejora auditiva esperada debido a una mal adaptación del dispositivo o cuando no realizan la rehabilitación auditiva recomendada; un estudio publicado en 2024 presenta sus resultados en la tabla 1. (Alanazi et al., 2022)

**Tabla 1**

*Complicaciones mayores y menores del uso de IC para la pérdida auditiva severa profunda*

Complicaciones menores	Complicaciones mayores
Infección de sitio quirúrgico	Intervención quirúrgica
Tinnitus o mareos	Formación de fistulas

---

Parálisis facial transitoria

Meningitis

---

Alteración del gusto

Dispositivo implantado fallido

---

**Nota:** Martínez Lopez, G. A., & Correa Figueredo, E. E. (2024).

Complicaciones y Fracasos del Implante Coclear. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 9179-9191.

---

La meningitis bacteriana post-IC clínicamente no difiere de la clásica a excepción del vértigo. El riesgo es moderado por lo que se recomienda a los candidatos recibir inmunización completa previo la colocación del IC, en los países desarrollados es un procedimiento de rutina. (Alanazi et al., 2022)

Posterior a la colocación del IC se requiere rehabilitación, ya que la adaptación inicia desde las 3 y 6 semanas en adelante, la curva de aprendizaje puede extenderse desde de 1 a 2 años. Se clasifican en métodos orales (incluye en método verbal y el tonal), los métodos gestuales y los métodos mixtos. Actualmente la musicoterapia en la población infantil es considerada como uno de los métodos más eficaces y novedosos y permite distinguir ritmo, melodía y timbre. (Ordoñez Luna & Lazarte Villarroel, 2020)

La plasticidad cerebral en los niños prelocutivos de 0-3 años normal, de 3-6 años disminuye y en adultos o adolescentes es casi ausente debido a la implantación tardía. En pérdidas auditivas poslocutivos la rehabilitación es favorable hasta antes de los 60 años. Un estudio publicado en el 2020 demostró que los armónicos y las tonalidades puras mejoran la percepción y el disfrute musical luego de varias sesiones de entrenamiento. (Ordoñez Luna & Lazarte Villarroel, 2020)

#### *Implante coclear eléctrico*

En 1912 se realizó la primera estimulación neuronal eléctrica. A partir de allí se conoce que este dispositivo evade las células ciliadas sensoriales afuncionales para activar las NGE (, Klein, et al., 2020). Usa estimulación monopolar (un electrodo negativo y uno activo) que produce amplios campos eléctricos y es capaz de activar áreas tonotópicas dispersas, lo que limita el rango de resolución espectral, es decir, resulta en una mala comprensión del habla en ambientes ruidosos y una mala captación de la música. (De Revisión et al., 2023)



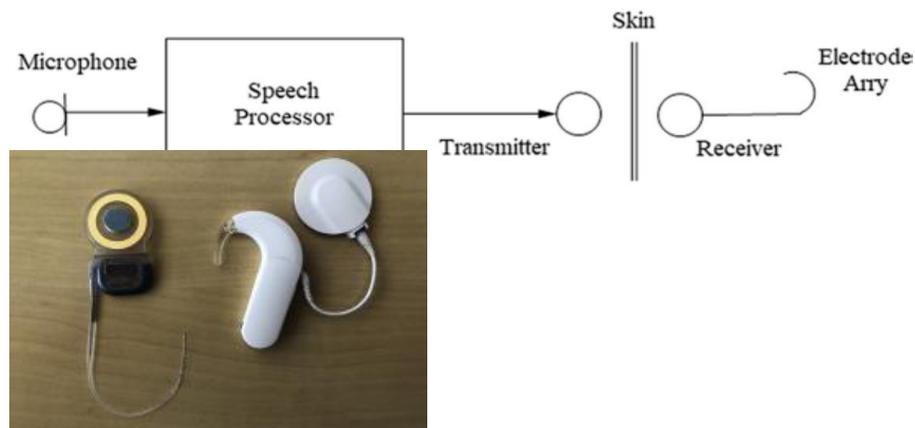
Estudios recientes concluyen que en algunos casos la percepción del habla mejora al incrementar los electrodos, ya que se puede usar más canales espectrales. Además, hay mejor discriminación con estimulación tripolar a diferencia de la monopolar usada comúnmente. (Swaddiwudhipong et al., 2020)

Los ICE cuenta con una selectividad espectral muy limitado, resultado de la corriente generada por cada electrodo, resultando en una deficiencia de la interpretación de los sonidos en un medio ruidoso (Dieter, Klein, et al., 2020). Los electrodos pueden estar conectados dentro o fuera del cuerpo y deben hacer contacto directo con el nervio auditivo. Para que exista un impulso eléctrico útil tanto la intensidad como la duración deben ser capaces de despolarizar la neurona e incitar una respuesta sensorial. (Zhu et al., 2020) Además, se utilizan cuando los audífonos no logran la rehabilitación auditiva esperada como es en los casos de PA severa o sordera. Estos se encargan de estimular las neuronas ganglionares espirales cocleares (NGEC) directamente, evitando las células ciliadas faltantes o disfuncionales (Dieter, Klein, et al., 2020)

Cuenta con aproximadamente 12-24 contactos de electrodos que le permiten un rango de frecuencia de hasta 100 Hz y 10 kHz, lo que permite la interpretación del sonido en un 0.7 millones de personas en un medio silencioso; pero se lo impide en uno ruidoso. (Keppeler et al., 2020). Este dispositivo no es capaz de restaurar completamente la audición, pues se conoce que existe alrededor de 30.000 neuronas ganglionares espirales del oído interno y el

#### Ilustración 4

*Componentes internos del implante coclear eléctrico y Componentes externos del implante coclear eléctrico*



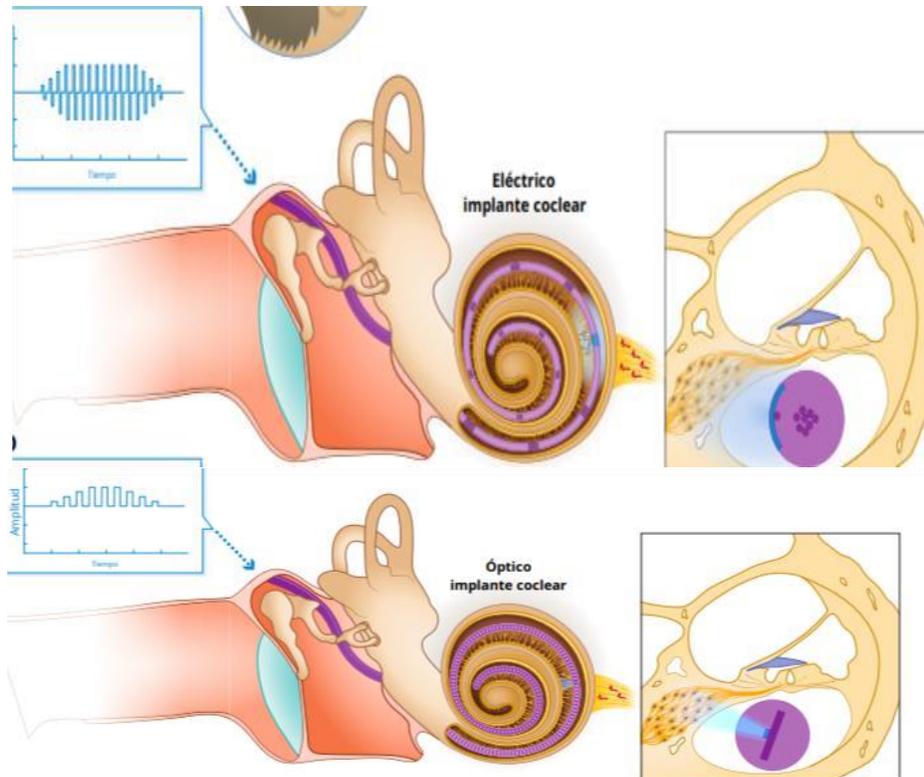
ICE cuenta con aproximadamente 20 canales de estimulación, debido a esta reducción los patrones espaciales y temporales se transmiten distorsionados hacia el cerebro, una vez en el centro es la corteza auditiva la encargada de interpretar y procesar la información, en algunos casos se requieren un período de experiencia y aprendizaje posterior a la implantación hasta alcanzar el máximo desarrollo (Zhu et al., 2020)

**Nota:** Chen, F., Ni, W., Li, W., & Li, H. (2019). Cochlear Implantation and Rehabilitation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1130, 129–144.

La modulación eléctrica se limita por la propagación de corriente y la comunicación entre canales. Los ICEs están formados por un componente externo (micrófono para los sonidos externos y un procesador del habla responsable de transformar la señal acústica en señal eléctrica) y uno interno (un transmisor / receptor encargado de procesar el habla y convertirlo en impulso eléctrico y los electrodos lineales en el eje coclear que contacta con el nervio auditivo incrustado en la cóclea) a lo largo del eje tonotópico como lo muestra la imagen 4 y 5 (Chen et al., 2019).

### Ilustración 5

*Señales acústicas en el implante coclear eléctrico y en el óptico*



Las frecuencias son recibidas en el interior de la distribución tonotópica acorde al sitio de estimulación (ICE en los electrodos; ICO en los emisores de luz); se grafica la precisión con la que el implante coclear activa las NGE (color celeste).

**Nota:** Dieter, A., Keppeler, D., & Moser, T. (2020). Towards the optical cochlear implant: optogenetic approaches for hearing restoration. *EMBO Molecular Medicine*, 12(4).

La base del proceso es la evaluación audiológica del paciente, posterior una evaluación médica para el proceso quirúrgico, consecutivo la evaluación para decidir si es candidato o no al uso del dispositivo, los exámenes imagenológicos previos a la cirugía y finalmente la rehabilitación postimplante coclear. Los adultos que presentan en su mayoría sordera postlingual con hipoacusia neurosensorial bilateral progresiva deben realizarse múltiples audiogramas con umbrales entre 250 – 8000 Hz y la discriminación del habla 125-250 Hz, luego realizar una prueba de aptitud para ICE (reconocimiento de la voz). (Naples & Ruckenstein, 2020) En los niños las revisiones prequirúrgicas son de suma importancia; la evidencia respalda el uso de ICE en bilateral en niños para mejorar notablemente la audición. (Naples & Ruckenstein, 2020)

Hablando de forma rápida sobre el mecanismo por el cual se inserta el ICE, este procedimiento quirúrgico dura en promedio 2 horas, ya se lo considera altamente estandarizado y seguro, se realiza una pequeña cocleostomía anteroinferior a la ventana redonda, irrigación del campo quirúrgico previa la apertura del endostio se inserta lento y fijo el implante para luego sellar la inserción; permanece bajo observación de entre 4 a 6 días. (Tarabichi et al., 2021)

Los criterios para seleccionar aquellos pacientes aptos para el uso de un IC son basadas en las normas aprobadas por la FDA:

- Sordera prelingual: aprobado para niños de entre 1 año y 6 años, pérdida auditiva que el PTA sea mayor de 90 dB y un uso de 3 a 6 meses sin beneficio de los audífonos. (Chen et al., 2019)



- Sordera postlingual: pacientes con pérdida auditiva neurosensorial severa-profunda de cualquier edad, en quienes los audífonos no hayan brindado beneficio. (Chen et al., 2019) (Naples & Ruckenstein, 2020)

La cirugía de colocación de IC está contraindicada de forma absoluta en casos de malformación coclear grave del nervio auditivo, otitis supurativa; relativamente se contraindica en discapacidad intelectual grave, trastorno de conducta, epilepsia sin tratamiento. Las complicaciones postquirúrgicas son extremadamente raras, pero cuando se presentan puede ser: sangrado, daño de la cuerda del tímpano, infección, pérdida de la audición residual, fallo del dispositivo implantado, vértigo y aún más raro el daño del nervio facial. (Chen et al., 2019)

La propagación de corriente usada para la estimulación se ha estimado que cause pocos efectos a nivel celular o a su vez afectar la calidad de la audición, a menos que se detecte lesión de membrana basilar o que provoque la pérdida de la audición residual como se ha demostrado en algunos estudios (Swaddiwudhipong et al., 2020).

El daño a la audición residual puede ser de forma bifásica; primera fase: durante el posoperatorio inmediato (trauma quirúrgico e inserción), segunda fase: ocurre en meses o años debido a la pérdida auditiva residual progresiva, se involucra a la respuesta inflamatoria y fibrosis es por ello por lo que, la prevención va dirigida a estos puntos principalmente. (Tarabichi et al., 2021)

Un estudio recientemente publicado ha concluido que la estimulación eléctrica utilizada en el ICE causa pérdida auditiva residual posterior a su implantación, debido a que promueven la diferenciación de las células madre neuronales e impulsa a la maduración de las neuronas recién generadas, además de excitar a las NGE y a las células ciliadas residuales; esta energía se introduce en el área de baja frecuencia generando toxicidad excitatoria al superponerse con la estimulación acústica sobrante. Además de que degenera las células Schwann (Shen et al., 2020). Dentro de sus desventajas también está la incompreensión del habla en medios ruidosos y la música (Dieter, Klein, et al., 2020)

Las principales causas de muerte de las NGE son el estrés oxidativo, la sobrecarga de calcio y excitotoxicidad del glutamato. La estimulación eléctrica reduce la expresión de canales de calcio dependientes de voltaje en la membrana de NGE a modo de autoprotección neuronal, para que el calcio intracelular no se acumule. Se desencadena apoptosis neuronal al disminuir la concentración de calcio extracelular y bloquear los canales de calcio dependientes de voltaje, es decir, un calcio excesivamente alto o bajo lleva a un desequilibrio en la homeostasia que mantiene estable la supervivencia de las neuronas residuales. Además, se ha descrito efectos negativos no auditivos como espasmos faciales y mareos (Shen et al., 2020)

### *Implante coclear óptico*

El uso del espectro de luz visible inició su uso en el 2002, posterior a ello ahora es posible la estimulación neuronal en cuestión de milisegundos y con una menor cantidad de energía a diferencia de la estimulación con luz infrarroja y del ICO. (Zhu et al., 2020) (Dieter, Klein, et al., 2020)

Las proteínas fotosensibles más conocidas como opsinas son canales de membrana sensibles a la luz que se abren paso en la membrana para permitir el ingreso de los cationes y despolarizar la membrana. La canalrodopsina (ChR) es el canal iónico que se activa por luz, es un paso más rápido para la estimulación; son propio de las algas fotosensibles y existen dos tipos de ChR: tipo I (microbianas) las cuales son exclusivamente para protones y el tipo II (animales) peculiarmente son permeables ante cationes. (De Revisión et al., 2023) Hace aproximadamente una década se demostró que la estimulación óptica requiere ciertas modificaciones genéticas para que las células del organismo expresen opsinas. Hay dos opsinas que son consideradas de mayor velocidad: Chronos sensible a la luz verde y azul y Chrimson sensible a la luz roja y con bajo nivel de fototoxicidad en tejidos; requieren un mínimo de 200 Hz de frecuencia para iniciar la estimulación acústica según los últimos estudios realizados en jibaros adultos (Dombrowski et al., 2019) (Dieter, Keppeler, et al., 2020)

Otra alternativa es la optogénica, manipulación genética con uso de vectores, por ejemplo, la inyección de virus adenoasociados (VAA) no patógenos de forma local a la cóclea para lograr



la expresión de proteínas fotosensibles, esto depende en gran medida de la vía de administración, cantidad y susceptibilidad de las células diana del individuo para con el vector, resultan especialmente prometedores por su alto tropismo neural intrínseco. (Dombrowski et al., 2019) Esta vía no solo ha sido estudiada en el campo de la audición sino también en la oftalmología de hecho la FDA autorizó su uso en la primera terapia génica para restaurar la visión. (De Revisión et al., 2023)

La luz se confina mejor en el espacio, y por ende es capaz de activar las NGE específicamente las neuronas aferentes primarias de forma selectiva y espacial a lo largo del eje tonotópico (desde vía auditiva hasta corteza), la luz va orientada hacia el canal de Rosenthal iluminando directamente el ganglio espiral atravesando de forma directa la membrana basilar coclear desde la timpánica hasta la rampa vestibular. (Keppeler et al., 2020) (Khurana et al., 2023) Para diseñar un ICO se requiere de un emisor óptico de bajo consumo que cumpla los requerimientos de energía y liberación de calor necesarios; y un buen posicionamiento de los emisores en la rampa timpánica; es decir, deben ser biocompatibles, eficaces y estables a largo plazo pues se programa para un uso a largo tiempo. (Zhu et al., 2020) las principales partes de este dispositivo son: unidad externa que contiene un micrófono que captura el sonido, un procesador mismo que digitaliza y capta señales dosificadas, el transmisor encargado de transmitir la información a la unidad interna; la unidad interna tiene incrustado la unidad de procesamiento digital. (Trevlakakis et al., 2019)

Los ICO deben tener las siguientes características para ser considerados efectivos:

1. Mecánicamente flexibles mientras atraviesa la curvatura coclear para evitar traumatismos (Dieter, Klein, et al., 2020)
2. Fácilmente adaptable al limitado espacio dentro de la cóclea, biocompatibles, estables y herméticos a largo plazo pues su duración debe ser por varias décadas (Dieter, Klein, et al., 2020)

Pueden ser pasivos o activos (imagen 6); los ICO activos tienen la capacidad de atraer elementos generadores de luz hacia las NGE reduciendo la pérdida de luz durante el acoplamiento, entrada y salida de la guía de onda; los ICO pasivos suministran luz de fuentes

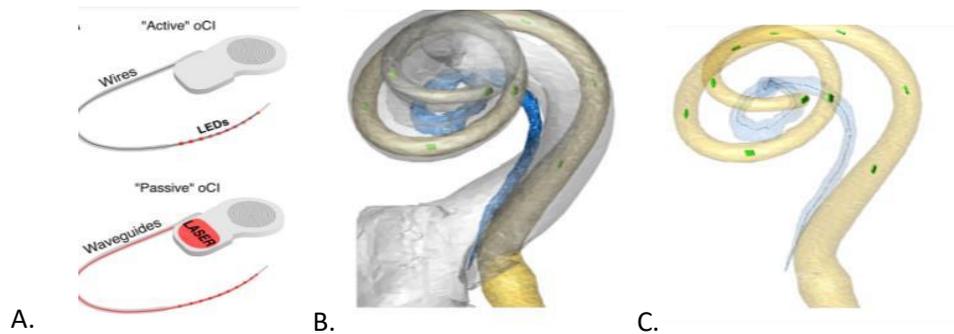


externas (LED o diodos laser) y son capaces de encapsular de forma segura la carcasa de titanio, son estables, biocompatibles, menor tamaño, selectivos y seguros, pero pierden gran cantidad de luz durante su acoplamiento, transmisión y desacoplamiento de luz. (Khurana et al., 2022) (Keppeler et al., 2020)

A.

### Ilustración 6

#### Implante coclear óptico



A. modelo activo: la luz es generada en la matriz implantada. Modelo pasivo: la luz solo viaja por una guía de ondas. Línea y puntos rojos muestran el camino de la luz. B. modelo que muestra estructuras de escala coclear (gris), implante de silicona dentro de tímpano (amarillo) y canal de Rosenthal (azul). C. puntos negros que van desde canal de Rosenthal y el implante de silicona (viaje de la luz).

**Nota:** Khurana, L., Harczos, T., Moser, T., & Jablonski, L. (2023). En route to sound coding strategies for optical cochlear implants. In *iScience* (Vol. 26, Issue 10). Elsevier Inc

Adicionalmente, como una forma de mejorar el ICO en el 2021 se presentó un estudio donde se analizó la estabilidad del LED individual para estimular las NGE, pero únicamente se lo estudió in vitro, luego procedieron en roedores y jerbos adultos capaces de expresar canalrodopsina y concluyó que efectivamente se establecen sensaciones auditivas con gran selectividad espectral en un sistema de ICO. Los LED están basados en nitruro de galio (NGa) debido a sus sustratos flexibles. Se colocaron en la rampa timpánica coclear por medio de la ventana redonda. (Keppeler et al., 2020)

Actualmente se ha planteado el uso de fuentes de luz más pequeñas como son los microdiodos emisores de luz, mismos que son implantables y biocompatibles con las neuronas del tejido central y periféricos, colocados a través de la ventana redonda (Zhu et al., 2020)

La estimulación infrarroja es una nueva tecnología probada únicamente en animales y se encarga de calentar de forma local y transitoria el tejido neuronal; el incremento de temperatura ocasiona una corriente de suficiente intensidad como para despolarizar la membrana de la neurona evocando un potencial de acción; son una selectividad mejorada ya que el estímulo no tiene contacto directo con los nervios similar a los tonos puros de la estimulación acústica. La excitabilidad eléctrica, la acidez intracelular y el influjo de calcio debe ser controlado rigurosamente según la expresión de los canales iónicos para asegurar la eficacia de este método. Dentro de los efectos secundarios presentados durante su estudio constan únicamente el incremento de la presión coclear (Littlefield & Richter, 2021)

## Discusión

Hipoacusia o PA es la disminución de la audición o pérdida por debajo de los 40 decibeles; clasificándose como unilateral, bilateral o por su vía de conducción en ósea o neurosensorial. Si la PA ocurre antes de que el paciente aprenda a hablar es prelocutiva y si ocurre luego es poslocutiva, esto tiene importancia para predecir el pronóstico de la cirugía y si los resultados serán altamente positivos o a su vez que no haya mejoría clínica esperada.

El éxito del funcionamiento de la capacidad auditiva normal es el equilibrio entre los factores de causalidad (infecciones virales, otitis media, bajo peso al nacer, hipoxia, bilirrubinas elevadas, otitis media, medicamentos ototóxicos, deficiencia nutricional) y los factores de protección (nutrición materna, evitar ruidos fuertes, buena higiene de oído, estilo de vida saludable, vacunación y buena nutrición), si se pierde inician las alteraciones.

La PA no tratada es un obstáculo notorio que afecta negativamente la vida de las personas, limitando la capacidad de comunicación e interacción con el medio que lo rodea; en el caso de los niños impiden el correcto desarrollo del lenguaje y habla; que a largo plazo genera problemas en la cognición, salud mental (aislamiento social), reduce oportunidades en el

mercado laboral y la participación plena y activa en diversas actividades dentro de su entorno social, laboral y familiar.

Desde una perspectiva social, el implante coclear es capaz de brindar más oportunidades de reintegrarse al mundo social y auditivo a niños sordos prelinguales y adultos sordos postlinguales. La sordera adquirida y con duración corta tuvieron mejores ventajas de uso del IC y menor probabilidad de dejar de usar el dispositivo implantado.

Actualmente aquellas personas con PA neurosensorial profunda o severa se sugiere el uso de ICE debido a su eficacia hasta el momento, a pesar de sus ventajas, limitaciones y complicaciones. El mecanismo de estimulación eléctrica es un referencial debido a su amplia activación neuronal, bajo rango para codificar el sonido y aún más deficiente cuando hay ruido de fondo: a diferencia de la estimulación óptica que ha demostrado ser similar a la audición nativa, los avances logrados con estimulación a base de luz incrementan las posibilidades de éxito protésico convirtiéndola en una de última generación.

El ICE se conforma de un micrófono, procesador, transmisor, receptor y electrodos mismo que se distribuyen a largo del eje tonotópico de la vía auditiva; la onda de sonido llega a las NGE hasta la corteza auditiva al evadir las CC disfuncionales. Es decir, hay un dispositivo externo encargado de recibir y procesar el sonido externo, mientras que el dispositivo interno transmite y estimula el envío de la información hacia el nervio coclear.

El estímulo eléctrico activar las neuronas de primer y segundo orden del ganglio espiral, para convertir y transmitir el sonido externo. Además, es capaz de simular una estimulación sonora y así activar las NGE, pero a largo plazo desencadena un desequilibrio del calcio a nivel neuronal afectando negativamente la supervivencia de las NGE residuales; las complicaciones son: infección, sangrado, migración del implante e incluso deterioro del hueso temporal, meningitis bacteriana por la ubicación anatómica del conducto, o incluso hay pacientes que no han presentado la mejora auditiva esperada debido a una mal adaptación del dispositivo o cuando no realizan la rehabilitación auditiva recomendada.

El uso de estimulación eléctrica para los implantes eléctricos debe ser estudiada más a fondo, ya que se ha demostrado en varios artículos previamente publicado que inhiben significativamente los canales de calcio generando daño a largo plazo de las neuronas residuales presentes.



El procedimiento quirúrgico conlleva exámenes rutinarios, es seguro y confiable en los candidatos elegidos bajo los criterios de la FDA. Se realiza una pequeña cocleostomía anteroinferior a la ventana redonda, irrigación del campo quirúrgico previa la apertura del endostio se inserta lento y fijo el implante para luego sellar la inserción y permanece bajo observación de entre 4 a 6 días.

La manipulación optogénica usa las neuronas del ganglio espinal que dan origen al nervio auditivo, éstas nos plantean un desafío ya que los somas de las neuronas se esconden en el canal de Rosenthal del modiollo, el núcleo óseo de la cóclea, ya que la funcionalidad tonotópica y la gran selectividad es similar a la fisiológica y ha sido demostrada, aunque si se requiere una mayor cantidad de estudios, principalmente dirigidos a optimizar el ángulo de inserción del implante en la membrana basilar para que se mantenga en la rampa timpánica y no atraviese a la rampa vestibular.

Se ha demostrado que la estimulación óptica da resultados casi fisiológicos en la región apical antes que en las regiones medial o basal a diferencia de la estimulación eléctrica. Es considerada una de las técnicas más nuevas de neuroestimulación ya que mejora la selectividad espacial de las neuronas a lo largo del eje tonotópico en cuestión de milisegundos.

La estimulación de la cóclea por luz infrarroja es una técnica solo estudiada en roedores y jibaros, al momento ha dado buenos resultados, las respuestas que brindan son distintas y prometedoras respecto al estímulo eléctrico. Otra opción es la inserción de vectores virales a los canales iónicos de la cóclea. Los estudios en humanos de la estimulación óptica han sido probados en un limitado grupo de humanos que hasta el momento no han presentado inconvenientes, sino lo contrario, es decir, excelentes resultados a corto plazo, pero se requiere más tiempo y un grupo poblacional más amplio para sacar conclusiones.

La fibrosis coclear se presenta con el uso de los dos implantes, en el ICE ésta aumenta la impedancia para su estimulación, reduce su rendimiento y el rango dinámico, aumenta el consumo de energía; en el ICO la presencia de tejido cicatricial puede obstruir su funcionalidad ya que se reduce la intensidad de la luz si hay mayor distancia entre el electrodo y las NGE.



En el futuro al desarrollar el ICO en sus características debe incluir protección frente al vapor de agua, evitar la fragilidad o agrietamientos con el paso del tiempo y que se deterioren los componentes optoelectrónicos.

## Conclusiones

En las últimas dos décadas, el IC ha llegado a tener gran tasa de éxito principalmente en niños, dado que son capaces de restaurar eficazmente la audición en la gran mayoría de personas con PA, hoy por hoy son capaces de comprender el habla al ambiente o por teléfono sin ayuda de lenguaje de señas. El impacto en la calidad de vida de estos individuos ha sido enorme; pese a que varios estudios han demostrado que hay complicaciones a corto y largo plazo en algunos pacientes, se sabe que la cirugía es segura, los riesgos son mínimos y el dispositivo presenta limitaciones; es por ello que se propone el estudio de la optogénica como como procedimiento de elección a futuro con menores riesgos y mayor tasa de éxito ya que su enfoque se basa en la estimulación por luz que resulta menos tóxico para las neuronas residuales que la estimulación eléctrica.

La colocación del IC no un procedimiento único para restablecer la audición, sino que va de la mano con la rehabilitación auditiva y el apoyo familiar, esto permite la rápida reinserción del individuo al medio social con excelentes resultados a corto y largo plazo.

## Referencias bibliográficas

- Alanazi, G. A., Alrashidi, A. S., Alqarni, K. S., Al Khozaym, S. A., & Alenzi, S. (2022). Meningitis post-cochlear implant and role of vaccination. In *Saudi Medical Journal* (Vol. 43, Issue 12, pp. 1300–1308). Saudi Arabian Armed Forces Hospital. <https://doi.org/10.15537/smj.2022.43.12.20220426>
- Benchetrit, L., Ronner, E. A., Anne, S., & Cohen, M. S. (2021). Cochlear Implantation in Children with Single-Sided Deafness: A Systematic Review and Meta-analysis. In *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery* (Vol. 147, Issue 1, pp. 58–69). American Medical Association. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.3852>



Boisvert, I., Reis, M., Au, A., Cowan, R., & Dowell, R. C. (2020). Cochlear implantation outcomes in adults: A scoping review. In *PLoS ONE* (Vol. 15, Issue 5). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232421>

Borre, E. D., Kaalund, K., Frisco, N., Zhang, G., Ayer, A., Kelly-Hedrick, M., Reed, S. D., Emmett, S. D., Francis, H., Tucci, D. L., Wilson, B. S., Kosinski, A. S., Ogbuaji, O., & Sanders Schmidler, G. D. (2023). The Impact of Hearing Loss and Its Treatment on Health-Related Quality of Life Utility: a Systematic Review with Meta-analysis. In *Journal of General Internal Medicine* (Vol. 38, Issue 2, pp. 456–479). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11606-022-07795-9>

Buchman, C. A., Gifford, R. H., Haynes, D. S., Lenarz, T., O'Donoghue, G., Adunka, O., Biever, A., Briggs, R. J., Carlson, M. L., Dai, P., Driscoll, C. L., Francis, H. W., Gantz, B. J., Gurgel, R. K., Hansen, M. R., Holcomb, M., Karltorp, E., Kirtane, M., Larky, J., ... Zwolan, T. (2020). Unilateral cochlear implants for severe, profound, or moderate sloping to profound bilateral sensorineural hearing loss a systematic review and consensus statements. In *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery* (Vol. 146, Issue 10, pp. 942–953). American Medical Association. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.0998>

Carlyon, R. P., & Goehring, T. (2021). Cochlear Implant Research and Development in the Twenty-first Century: A Critical Update Cochlear Implant Research and Development. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. <https://doi.org/10.1007/s10162-021-00811-5>

Castillo-Valdés, L., María Olivera-Hernández, M., Díaz-García, D., Rivas-Brito, A., & Marisol Martínez-Rojas, R. (2021). Speech-language rehabilitation in patients with cochlear implant at Pepe Portilla Provincial Pediatric Hospital ARTÍCULO ORIGINAL CC-BY-NC-SA 4.0. *Rev Ciencias Médicas*, 25(6), 5231. [www.revcmpinar.sld.cu](http://www.revcmpinar.sld.cu)<http://www.revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/5231>

Chen, F., Ni, W., Li, W., & Li, H. (2019). Cochlear Implantation and Rehabilitation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1130, 129–144. [https://doi.org/10.1007/978-98113-6123-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-98113-6123-4_8)



De Revisión, A., Osorio, J., Gran, M., José, A., Carrera, M., San, M., & Sepúlveda, V. (2023). Implantes cocleares ópticos: una herramienta promisorio de tratamiento para la hipoacusia. *Optical cochlear implants: a promising treatment tool for hearing loss. Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello*, 83(317–324), 1–8.

Dieter, A., Keppeler, D., & Moser, T. (2020). Towards the optical cochlear implant: optogenetic approaches for hearing restoration. *EMBO Molecular Medicine*, 12(4). [https://doi.org/10.15252/EMMM.201911618/SUPPL\\_FILE/EMMM201911618-SUP0002-SDATAFIG4.ZIP](https://doi.org/10.15252/EMMM.201911618/SUPPL_FILE/EMMM201911618-SUP0002-SDATAFIG4.ZIP)

Dieter, A., Klein, E., Keppeler, D., Jablonski, L., Harczos, T., Hoch, G., Rankovic, V., Paul, O., Jeschke, M., Ruther, P., & Moser, T. (2020).  $\mu$ LED-based optical cochlear implants for spectrally selective activation of the auditory nerve. *EMBO Molecular Medicine*, 12(8). <https://doi.org/10.15252/EMMM.202012387>

Dombrowski, T., Rankovic, V., & Moser, T. (2019). *Toward the Optical Cochlear Implant*. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a033225>

Forli, F., Lazzerini, F., Montecchiari, V., Morganti, R., Bruschini, L., & Berrettini, S. (2021). Cochlear implant in prelingually hearing-impaired adults: Prognostic factors and results. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 41(2), 173–179. <https://doi.org/10.14639/0392100X-N1146>

García, G. P. (2024). THE COCHLEAR IMPLANT PROGRAM: THE SEDUCTION OF THE SOUND SOLUTION. *AIBR Revista de Antropología Iberoamericana*, 19(3), 431–455. <https://doi.org/10.11156/aibr.190303>

Huet, A. T., Dombrowski, T., Rankovic, V., Thirumalai, A., & Moser, T. (2021). Developing Fast, Red-Light Optogenetic Stimulation of Spiral Ganglion Neurons for Future Optical Cochlear Implants. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/FNMOL.2021.635897/FULL>

Keppeler, D., Schwaerzle, M., Harczos, T., Jablonski, L., Dieter, A., Wolf, B., Ayub, S., Vogl, C., Wrobel, C., Hoch, G., Abdellatif, K., Jeschke, M., Rankovic, V., Paul, O., Ruther, P., & Moser, T. (2020). Multichannel optogenetic stimulation of the auditory pathway using microfabricated LED cochlear implants in rodents. *Science Translational Medicine*, 12(553). <https://doi.org/10.1126/SCITRANSLMED.ABB8086>



Khurana, L., Harczos, T., Moser, T., & Jablonski, L. (2023). En route to sound coding strategies for optical cochlear implants. In *iScience* (Vol. 26, Issue 10). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107725>

Khurana, L., Keppeler, D., Jablonski, L., & Moser, T. (2022). Model-based prediction of optogenetic sound encoding in the human cochlea by future optical cochlear implants. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 3621–3629. <https://doi.org/10.1016/J.CSBJ.2022.06.061>

Kitcher, S. R., & Weisz, C. J. (2020). Shedding light on optical cochlear implant progress. *EMBO Molecular Medicine*, 12, 1–3. <https://doi.org/10.15252/emmm.202012620>

Littlefield, P. D., & Richter, C. P. (2021). Near-infrared stimulation of the auditory nerve: A decade of progress toward an optical cochlear implant. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 6(2), 310–319. <https://doi.org/10.1002/LIO2.541>

Martinez Lopez, G. A., & Correa Figueredo, E. E. (2024). Complicaciones y Fracasos del Implante Coclear. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 9179–9191. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.10239](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10239)

Moser, T., & Dieter, A. (2020). Towards optogenetic approaches for hearing restoration. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 527(2), 337–342. <https://doi.org/10.1016/J.BBRC.2019.12.126>

Naples, J. G., & Ruckenstein, M. J. (2020). Cochlear Implant. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(1), 87–102. <https://doi.org/10.1016/J.OTC.2019.09.004>

Ordoñez Luna, A. C., & Lazarte Villarroel, I. T. (2020). Rehabilitación auditiva posterior a un implante coclear métodos tradicionales y método novedoso. *Revista Científica de Salud UNITEPC*, 7(2), 20–33. <https://doi.org/10.36716/unitepc.v7i2.71>

Sharma, S. D., Cushing, S. L., Papsin, B. C., & Gordon, K. A. (2020). Hearing and speech benefits of cochlear implantation in children: A review of the literature. In *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* (Vol. 133). Elsevier Ireland Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.109984> Shen, N., Zhou, L., Lai, B., & Li, S. (2020). The Influence of Cochlear Implant-Based Electric Stimulation on the Electrophysiological



Characteristics of Cultured Spiral Ganglion Neurons. *Neural Plasticity*, 2020.  
<https://doi.org/10.1155/2020/3108490>

Swaddiwudhipong, N., Jiang, Y., Landry, G., & Bance, Y. (2020). Investigating the Electrical Properties of Different Cochlear Implants. *OPEN*, 1–9. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002861>

Tarabichi, O., Jensen, M., & Hansen, M. R. (2021). Advances in hearing preservation in cochlear implant surgery. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 29(5), 385–390. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000742>

Trevlakis, S. E., Boulogeorgos, A.-A. A., Sofotasios, P. C., Muhaidat, S., & Karagiannidis, G. K. (2019). *Optical wireless cochlear implants*. <https://doi.org/10.1364/BOE.10.000707>

Zhu, A., Qureshi, A. A., Kozin, E. D., & Lee, D. J. (2020). Concepts in Neural Stimulation: Electrical and Optical Modulation of the Auditory Pathways. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(1), 31–43. <https://doi.org/10.1016/J.OTC.2019.09.002>



**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.

