



BLOQUE 6.6

IMPLANTES COCLEARES: FUNCIONAMIENTO, INDICACIONES, CONTRAINDICACIONES, LIMITACIONES Y COMPLICACIONES. TIPOS DE IMPLANTES.

Francisco Ropero Romero

Médico Especialista en Otorrinolaringología

Hospital Universitario Virgen Macarena

Pocos avances en la medicina moderna ejemplifican mejor que los implantes cocleares lo que el desarrollo de la tecnología y la técnica quirúrgica pueden conseguir. El implante coclear es el único dispositivo artificial desarrollado por el hombre capaz de sustituir la función de un órgano sensorial, habiendo demostrado su eficacia y seguridad desde hace más de 30 años. En el año 2012 son más de 300.000 pacientes los que se benefician de esta tecnología a lo largo del mundo¹. Es por esto que el implante coclear se ha convertido hoy en día en el estándar de tratamiento para la hipoacusia neurosensorial profunda y severa.

1.- ¿QUE ES UN IMPLANTE COCLEAR?

Un implante coclear es un dispositivo electrónico cuya misión es sustituir la función de la cóclea, lo que significa recoger y transformar la energía mecánica del sonido que llega al oído por vía aérea en energía eléctrica y transmitirla a las neuronas alojadas en el ganglio espiral, que constituyen la primera neurona de la vía auditiva.

Hoy en día todos los implantes cocleares en el mercado y aprobados para su uso clínico son dispositivos semiimplantables, lo que significa que están formados por dos unidades principales; una externa y otra interna, que ha de ser implantada mediante cirugía en la cóclea y el hueso temporal del paciente.

La tecnología subyacente en los implantes cocleares avanza cada año, implementando los dispositivos, añadiendo partes nuevas en los diseños y nuevas características. No obstante, en todos los implantes cocleares se diferencian las siguientes partes básicas:

1. **Micrófono:** es el encargado de recoger el sonido. Suple la función del pabellón auditivo y oído externo. Normalmente va albergado cerca del pabellón auricular, aunque no siempre es así.
2. **Procesador del sonido:** Es una de las partes más complejas del implante coclear. Realiza concretamente la función del órgano de Corti de la cóclea. Transforma la onda mecánica que capta el micrófono, en impulsos eléctricos en base a algoritmos llamados estrategias de codificación, que son parte integral del diseño del implante coclear y difieren según la casa comercial. Es la parte de mayor tamaño del sistema y la que más energía consume.
3. **Baterías:** Aportan la energía necesaria para el funcionamiento del sistema, principalmente del procesador del sonido. Existen baterías recargables o mediante pilas desechables.
4. **Transmisor:** Dispositivo normalmente plano y circular que conecta mediante telemetría con el receptor/estimulador de la unidad interna. En la mayoría de los diseños está unido mediante un cable al procesador del sonido.



5. **Receptor/estimulador:** Dispositivo que forma parte de la unidad interna y que se sitúa bajo la piel y que es fijado de alguna manera a la escama del hueso temporal. Dispone de un imán para para mantenerse en contacto con el transmisor de la unidad externa de forma transcutánea (con la piel íntegra entre ambos).
6. **Guía de electrodos:** Es una parte fundamental del implante coclear. Consiste en un filamento, normalmente de silicona, dentro del cual discurren varios electrodos según el diseño. Los electrodos disponen de terminaciones o contactos que se disponen en los últimos milímetros de la guía. Existen muchos tipos de guías de electrodos, según su longitud, grosor, forma, morfología de los contactos, forma de la punta...etc. La elección del tipo de guía a utilizar depende de múltiples factores como la morfología y tamaño de la cóclea, presencia de malformaciones, audición residual...etc.

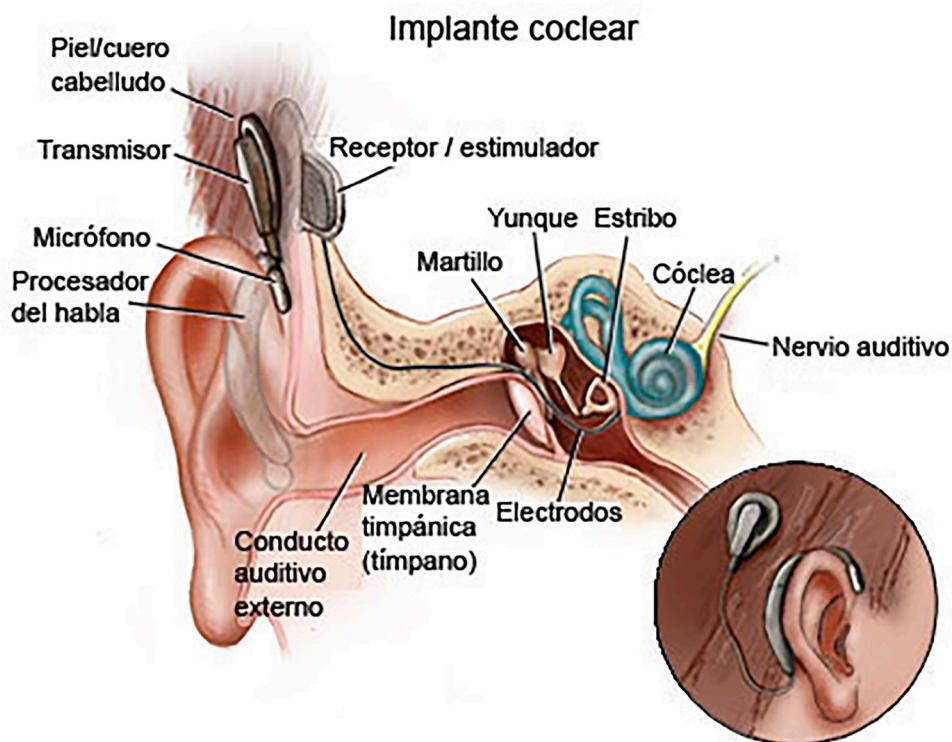


Fig 1: Fuente <https://faros.hsjdbcn.org/es/kidshealth/implantes-coclea>

2.- FUNCIONAMIENTO

En un sujeto con audición normal, el sonido es captado en el oído humano por las estructuras del oído externo (pabellón auricular y conducto auditivo externo) y transportado hasta la membrana del tímpano. La vibración de esta estructura es transmitida a los huesecillos del oído medio, que amplifican la señal, transmitiéndola a la cóclea.

La cóclea es una estructura compleja, formada en su mayor parte por hueso y ocupada por líquido. La vibración de los huesecillos del oído medio es transmitida al líquido del interior de la cóclea a través de la ventana oval. Esta energía hace vibrar la membrana basilar, en el interior de la cóclea, que a su vez mueve los cilios de cuatro hileras de células sensoriales dispuestas a lo largo de toda la cóclea, llamadas células ciliadas. El movimiento de estos cilios provoca la despolarización de estas células y la formación de un potencial de acción eléctrico, que es transmitido a la primera neurona de la vía auditiva, localizada en el

ganglio espiral del interior de la cóclea. Desde esta localización, la información, ya en forma de energía eléctrica, viajará por el resto de la vía auditiva para ser procesada por el sistema nervioso central.

Así pues, la función principal de la cóclea es transformar la energía mecánica del sonido en energía eléctrica en forma de potenciales de acción neuronal, que pueda ser procesada por el sistema nervioso central.

En las personas portadoras de un implante coclear, el sonido es captado por el micrófono, que lo envía a su vez al procesador del sonido.

El procesador del sonido es la parte del sistema que sustituye la función de la cóclea propiamente dicha. Este dispositivo transforma la energía mecánica del sonido en energía eléctrica, intentando simular de manera lo más parecida posible el funcionamiento de la cóclea normofuncionante. Para ello se vale de complejos algoritmos llamados estrategias de codificación, que extraen la información relevante de todas las ondas sonoras recibidas, procesándolas de tal forma que se de prioridad a la inteligibilidad de la voz humana. Existen varios tipos de estrategias de codificación según basen su algoritmo en la forma de las ondas (CIS, PPS) o en la extracción de los formantes (MPEAK, SPEAK)².

La información sonora, ya procesada y en forma de energía eléctrica, es transmitida, de manera inalámbrica en los sistemas actuales, hasta el receptor/estimulador interno, que a su vez transmite esta información hasta una guía de electrodos, que el cirujano ha de haber introducido previamente en la cóclea.

Tras los estudios pioneros de Bekesy³ en los años 50, se descubrió que la membrana basilar respondía de manera diferente a lo largo de su longitud a las ondas sonoras, de forma que las frecuencias agudas hacían vibrar la zonas basales y las frecuencias graves las zonas apicales. Esto crea un patrón de distribución espectral a lo largo de la cóclea, de forma que las neuronas que reciben estimulación de la base de la cóclea transportan información concerniente a altas frecuencias y las neuronas de las zonas apicales, información de bajas frecuencias. Este fenómeno es conocido como tonotopicalidad coclear, y se trata de emular en la mayoría de los diseños de guías de electrodos.

3.- CONCEPTOS BÁSICOS

Con objetos de evitar confusiones, antes de exponer las indicaciones y los criterios de selección de candidatos para la implantación coclear conviene aclarar algunos conceptos que se usarán posteriormente:

- **Nivel medio auditivo:** media aritmética de los umbrales auditivos obtenidos en las frecuencias 500, 1000, 2000 y 4000 Hz; medido en dB_{HL} . Normalmente se utilizan sus siglas en inglés AHL o PTA.
- **Respuesta adecuada con audífonos:** Nivel medio auditivo inferior o igual a $55 dB_{HL}$ (obtenido mediante audiometría tonal en campo libre) y al menos un 60% de reconocimiento de palabras en contexto abierto, con la prótesis auditiva equipada en las mejores condiciones^{2,4}. En caso de no cumplir alguno de estos criterios la respuesta con audífonos será catalogada de “inadecuada”.
- **Equivalencia entre dB_{HL} y dB_{SPL} :** El dB_{SPL} es la medida comunmente utilizada para expresar



los resultados obtenidos en las pruebas audiológicas realizadas en campo libre. Usaremos la siguiente fórmula para pasar de una unidad a otra:

250 Hz	$dB_{HL} = dB_{SPL} - 25$
500 Hz	$dB_{HL} = dB_{SPL} - 11$
1000 Hz	$dB_{HL} = dB_{SPL} - 7$
2000 Hz	$dB_{HL} = dB_{SPL} - 9$
4000 Hz	$dB_{HL} = dB_{SPL} - 9$

- **Tiempo de evolución de la hipoacusia:** Hace referencia al tiempo de evolución de una hipoacusia desde que es clasificada como profunda, y no al tiempo total de evolución del déficit auditivo del paciente. Haría referencia a la respuesta a preguntas subjetivas del tipo: “¿Desde cuando no oye usted nada?” o “¿Desde cuando oye usted muy mal?”

La indicación de implantación coclear está basada en un primer lugar en criterios audiológicos y radiológicos, evaluados normalmente por el especialista en otorrinolaringología y audiología. Esta indicación inicial es complementada por otros criterios donde entra en juego la dimensión multidisciplinar de todo programa de implante, siendo necesaria la evaluación por parte de otros profesionales (foniatras, logopedas, pediatras, neurólogos, genetistas, psicólogos, técnicos audioprotésicos, enfermería y asistentes sociales).

4.- CRITERIOS AUDIOLÓGICOS

Podrán beneficiarse de un implante coclear aquellos pacientes diagnosticados de hipoacusia neurosensorial severa o profunda de asiento coclear. Este diagnóstico se establecerá mediante las siguientes exploraciones o condiciones:

- **Audiometría tonal liminar en cabina sin audífonos:** Umbral medio auditivo por encima de 70 dB_{HL} . En niños estos umbrales pueden ser obtenidos mediante audiometría tonal en campo libre mediante la técnica de Reflejos de Orientación Condicionada.
- **Logaudiometría / Audiometría verbal en cabina sin audífonos:** Reconocimiento menor del 50% de palabras en contexto abierto sin apoyo visual.
- **Potenciales evocados auditivos de tronco cerebral:** ausencia de onda V visible por debajo de 70 dB.
- **Otoemisiones acústicas:** Han de estar ausentes. La presencia de estas en el contexto de una hipoacusia indica indemnidad de las células ciliadas externas de la cóclea, lo que nos pone en la pista de un origen retrococlear del déficit auditivo.
- **Respuesta inadecuada con audífonos.**

Los pacientes adultos colaboradores deberán cumplir todos estos criterios para ser candidatos a implante coclear. Sin embargo, el diagnóstico en los pacientes pediátricos de menor edad se realizará principalmente en base a las pruebas electrofisiológicas, que no precisan la colaboración del niño. No obstante, sigue siendo muy importante aún en estos pacientes complementar los resultados obtenidos en el estudio con las observaciones familiares, principalmente de los padres, y otras pruebas audiológicas subjetivas (audiometría infantil, del juego...etc), confirmando la coherencia de todos los resultados obtenidos.

5.- CRITERIOS RADIOLÓGICOS

En general serán candidatos a implantación coclear los pacientes que cumplan con todos los criterios siguientes; puestos de manifiesto mediante tomografía computerizada (TC) de alta resolución y Resonancia Magnética (RM).

1. Existencia de una cavidad ocupada por líquido que sea accesible quirúrgicamente y que permita el contacto entre un número suficiente de electrodos del implante coclear y las primeras neuronas de la vía auditiva, que posibilite la estimulación de estas últimas.
2. Presencia de una estructura neural en el conducto auditivo interno que pueda corresponder con el componente coclear del VIII par craneal.
3. Ausencia de patología retrococlear que haga suponer una alteración de los niveles superiores de la vía auditiva (neurinomas vestibulares, neoplasias cerebrales, enfermedades desmielinizantes...etc).

Las **malformaciones vestibulo-cocleares** son entidades afortunadamente raras. La clasificación de Senaroglu⁴ de estas malformaciones es la más utilizada en la actualidad y está basada en la fase del desarrollo embrionario donde se detiene el normal desarrollo del oído interno. Dentro de esta clasificación, las malformaciones que reúnen los criterios anteriores y que podrían beneficiarse de un implante coclear son:

- Cavidad común
- Partición incompleta tipo I
- Partición incompleta tipo II
- Hipoplasia coclear leve

6.- OTROS CRITERIOS

Además de los criterios estrictamente clínicos anteriormente expuestos, existen varias consideraciones socio-sanitarias a tener en cuenta a la hora de indicar la implantación, ya que si bien no afectan a la fase



de selección e intervención quirúrgica, si que inciden crucialmente en el seguimiento y evolución, y por lo tanto en el resultado final.

No obstante, estas consideraciones no pueden abordarse en forma de criterios absolutos, sino más bien como recomendaciones generales que deben adaptarse a cada caso en particular.

A la hora de considerar candidato a implante a coclear a un paciente se deberá tener en cuenta:

- **Déficits acompañantes:** Principalmente de carácter neurológico-psiquiátrico, como retrasos psicomotores o madurativos, autismo, depresión, demencia...etc; siendo evaluados por los especialistas correspondientes (neurólogos, psiquiatras, rehabilitadores, pediatras...etc).
- **Entorno familiar y socio-económico-cultural:** El entorno familiar del paciente debe de permitir el desarrollo de todas las fases de la implantación con normalidad; especialmente las fases de rehabilitación y programación, por ser las más prolongadas en el tiempo. A su vez el paciente deberá tener acceso a los medios económicos que permitan el correcto mantenimiento del implante, ya sea mediante medios propios, públicos, ayudas sociales...etc.
- **Tiempo de evolución de la hipoacusia:** En términos generales, cuanto mayor sea el tiempo de privación auditiva, peor será el resultado de la implantación. Es difícil establecer una frontera temporal tras la cual podamos contraindicar de forma absoluta la implantación. En pacientes con hipoacusia prelocutiva (desarrollada antes del desarrollo del lenguaje), es crucial la implantación lo antes posible, estableciéndose generalmente la frontera de edad en los 6 años, dado que a partir de esta edad, el cortex auditivo es invadido por otras áreas cerebrales, generalmente visuales.

7.- COMPLICACIONES

A pesar de la complejidad que entraña todo el procedimiento de implantación coclear, estamos ante un procedimiento que ha demostrado su seguridad desde hace más de cuarenta años y en el que las complicaciones son raras. La técnica quirúrgica de implantación coclear implica normalmente una baja morbilidad, estimada entre 1-3%.

La cirugía se realiza bajo anestesia general, por lo que habrá que tener en cuenta las complicaciones derivadas de este procedimiento, normalmente seguro en pacientes sanos.

En la siguiente tabla se enumeran las complicaciones más frecuentes en el proceso.



Quirúrgicas	Intraoperatorias	Lesión del nervio facial
		Gusher
		Colocación dificultosa, anómala o imposible del implante
	Postoperatorias	Cicatrización anómala
		Infección de la herida
		Meningitis postoperatoria
		Estimulación del nervio facial
Acúfenos		
Mareo o vértigo		
Extraquirúrgicas	Resultados insuficientes / Decepción / Frustración	
	Abandono de implante	
	Pérdida del procesador externo o rotura de componentes	

Parálisis facial: Esta complicación suele preocupar mucho al paciente de antemano. Para exponer la cóclea a través de la mastoides es necesario abrir el receso facial, que es el espacio óseo que existe entre el nervio facial y el nervio cuerda del tímpano, lo que obliga al cirujano a entrar en íntimo contacto con estos dos nervios. Lesiones permanentes del nervio facial son muy raras, aunque a veces se producen parestias transitorias que desaparecen días después de la cirugía, normalmente producida por un calentamiento excesivo del nervio al fresar la mastoides. Para prevenirla es muy importante la experiencia en cirugía otológica, el estudio radiológico previo y la monitorización intraoperatoria del nervio facial.

Gusher: Se denomina así a la salida de líquido cefalorraquídeo al realizar la cocleostomía y abrir la ventana redonda. Se produce por una comunicación entre las rampas cocleares y el espacio subaracnoideo. Es más frecuente en las malformaciones del sistema vestibulococlear, como la dilatación del acueducto vestibular.

Colocación dificultosa, anómala o imposibles del implante: Es muy rara en aquellos pacientes con una anatomía normal y una normal permeabilidad coclear constatada en el TC o RM de oídos. Se han descrito inserciones anómalas hacia el vestíbulo o los canales semicirculares. Es posible también la inserción extracoclear, principalmente en casos de otosclerosis o malformación coclear. La inserción dificultosa puede producirse por ocupación de la rampa timpánica por tejido fibroso o inflamatorio, y a veces obliga a realizar una inserción parcial, dejando algunos de los electrodos de la guía en localización extracoclear. Es importante la medición de las impedancias de los diferentes electrodos tras la inserción, la respuesta neural a la estimulación o la realización de alguna prueba radiológica (radiografía simple o TC) para confirmar la localización intracoclear del implante.

Meningitis: Se trata de una complicación grave, a la que se prestó especial interés en los primeros años de utilización de los implantes cocleares. Actualmente existen estudios multicéntricos que no detectan un



riesgo aumentado de padecer esta enfermedad en pacientes implantados. No obstante, se recomienda la vacunación contra el meningococo C y pneumococo en pacientes que vayan a ser implantados.

8.- TIPOS DE IMPLANTE COCLEAR

Guías de electrodos monocanal/multicanal: El primer implante coclear utilizado en el ser humano desarrollado por William House y Jack Urban en los Estados Unidos consistía en una guía con un solo electrodo. Con el desarrollo de la tecnología y la comercialización de los implantes cocleares, surgieron los implantes multicanal, donde se colocan diversos electrodos a lo largo de la guía a implantar. Este diseño trata de reproducir en el implante la tonotopía de la cóclea, en la que a cada rango de frecuencia le corresponde una localización determinada en la membrana basilar. El número de electrodos en la guía varía enormemente entre los diferentes diseños y las diferentes casas comerciantes, oscilando entre 12 y 30 electrodos. Es importante destacar que un mayor número de electrodos en la guía no se asocia con mejores resultados funcionales o una mejor estimulación del ganglio espiral⁵. Hoy en día, la totalidad de los electrodos comercializados son de tipo multicanal.

Electrodos rectos y perimodiolares: Existen dos grupos principales de implantes cocleares según la forma de la guía de electrodos.

Los electrodos rectos o de pared lateral tienen, como su propio nombre indica, una forma recta. Al introducirlos se van curvando siguiendo la propia forma de la cóclea, por lo que se alojan en contacto con las paredes laterales de la rampa timpánica. Estos electrodos producen la estimulación a través de toda la sección de la guía.

Los electrodos perimodiolares están diseñados para alojarse en contacto con el modiolo, en las paredes mediales de la cóclea. Según algunos estudios, esto permite un mejor contacto con las neuronas del ganglio espiral, menores requerimientos de energía y una estimulación más precisa. Para conseguir que el electrodo se aloje junto al modiolo, estos electrodos están precurvados. Para su inserción, precisan de algún dispositivo que mantenga en forma recta al implante, como un alambre rígido a través de un canal en la guía o una camisa externa. Estos dispositivos suelen hacer que el grosor de los electrodos perimodiolares sea mayor que el de los electrodos rectos. Los contactos en los electrodos perimodiolares se localizan solo en una cara de la guía, por lo que la orientación del implante durante la inserción es muy importante.

Longitud del implante: Actualmente en el mercado existen electrodos de diferente longitud, desde muy cortos con los electrodos próximos entre sí (indicados para algunos tipos de malformaciones cocleares) hasta electrodos largos que permiten una cobertura coclear de más de 700°, lo que significa que el electrodo penetra en las dos vueltas de la cóclea, llegando hasta la espira apical. Es importante medir la cóclea antes de la implantación para elegir la longitud del electrodo que más se adapte al paciente y al

tipo de hipoacusia.

Marcas comerciales: Actualmente en el mercado europeo existen cuatro empresas dedicadas al diseño, producción y comercialización de implantes cocleares. Cada casa comercial dispone de un portfolio de varios tipos de implantes, procesadores externos y guías de electrodos (tanto convencionales como especiales para malformaciones cocleares). Conocer el catálogo de implantes disponible en el mercado es de gran importancia para el manejo del paciente candidato a implantación, tanto antes como después de la cirugía.



Fig 2: Tipos de electrodos

Procesadores externos: El procesador externo suele ser la parte del implante a la que el paciente concede mayor importancia, dado que es la parte visible del dispositivo y la que está sujeta a un mayor desgaste con el uso diario. La morfología más habitual es la de un procesador retroauricular con una placa, unida mediante un cable, provista de un imán que se fija al imán de la unidad interna. No obstante existen otros diseños de procesadores externos de un solo cuerpo, de petaca...etc.



Fig 3: Diferentes diseños de procesador externo



BIBLIOGRAFÍA

1. National Institute on Deafness and Other Communication Disorder (NODCD,NIH). Cochlear implants [Internet]. Disponible en: <https://www.nidcd.nih.gov/health/statistics/quick-statistics-hearin>
2. Manrique Rodriguez, Manuel HI Alicia. Implantes cocleares. 1a edición. Barcelona (España): Masson; 2002. 409 p.
3. Portillo Corado, F. Descripción y funcionamiento del implante coclear. En: Implantes cocleares. 1ª edición. Barcelona (España): Masson; 2002. p. 43-61.
4. Sennaroglu L, Saatci I. A new classification for cochleovestibular malformations. The Laryngoscope. diciembre de 2002;112(12):2230-41.
5. McCormick B. Assessing audiological suitability of implants for children below 5 years. En: Cochlear implants for young children. London: Whurr Publishers; 1994. p. 60-85.