

# Una base de datos multimodal para la recopilación de datos de investigación audiológicos interdisciplinarios

M. Amparo Callejón-Leblic<sup>1,2,\*</sup> , Sergio Blanco-Trejo<sup>1</sup> , Brenda Villarreal-Garza<sup>1</sup> , Ana M. Picazo-Reina<sup>1</sup> , Beatriz Tena-García<sup>1</sup> , Ana Lara-Delgado<sup>1</sup>, Manuel Lazo-Maestre<sup>1</sup> , Francisco López-Benitez<sup>1</sup>, Fernando Escobar-Reyero<sup>1</sup> , Marta Álvarez-Cendrero<sup>1</sup> , M. Luisa Calero-Ramos<sup>1</sup> , Cayetana López-Ladrón<sup>1</sup> , Cristina Alonso-González<sup>1</sup> , Francisco Roperro-Romero<sup>1</sup> , Leyre Andrés-Ustarroz<sup>1</sup> , Marta Cuaresma-Giráldez<sup>3</sup>, Mercedes Atienza-Ruiz<sup>4,5</sup> , J. L. Cantero-Lorente<sup>4,5</sup> , Alberto Moreno-Conde<sup>3</sup> , Jesús Moreno-Conde<sup>3</sup> , Serafín Sánchez-Gómez<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Unidad de Otorrinolaringología, Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla, España / <sup>2</sup> Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla, Sevilla, España /

<sup>3</sup> Unidad de Innovación, Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla, España / <sup>4</sup> Laboratorio de Neurociencia Funcional, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España /

<sup>5</sup> Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Neurodegenerativas (CIBERNED), Madrid, España

 OPEN ACCESS

PEER REVIEWED

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: 10.51445/sja.auditio.vol8.2024.109

Recibido: 02.12.2023

Revisado: 10.01.2024

Aceptado: 18.04.2024

Publicado: 27.09.2024

Editado por:

Carlos Benitez Barrera

University of Wisconsin-Madison, EE.UU.

Raul Sanchez-Lopez

Institute of Globally Distributed Open Research and Education (IGDORE), Søborg, Denmark.

Revisado por:

Humberto Yévenes-Briones

Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.

Anna Warzybok

Universidad de Oldenburg, Alemania.

Sheila Templado Aguilera

Clínica Templado, Murcia, España.

Cómo citar:

Callejón-Leblic, M. A., Blanco-Trejo, S., Villarreal-Garza, B., ... Sánchez-Gómez, S. (2024).

Una base de datos multimodal para la recopilación de datos de investigación audiológicos interdisciplinarios. *Auditio*, 8, e109.

<https://doi.org/10.51445/sja.auditio.vol8.2024.109>

 CC-BY 4.0

© 2024 Los autores / The authors

<https://journal.auditio.com/>

Publicación de la Asociación Española de Audiología (AEDA)  
Published by the Spanish Audiological Society (AEDA)

Correspondencia

\*M. Amparo Callejón-Leblic

Hospital Universitario Virgen Macarena, Avda. Fedriani 3, 41009 Sevilla, España.

Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla, Camino

de los Descubrimientos, s/n, 41092 Sevilla, España.

Correo electrónico: [mcallej@us.es](mailto:mcallej@us.es)

Resumen

La hipoacusia constituye una condición incapacitante que dificulta la comunicación y la calidad de vida.

Hallazgos recientes han expuesto los efectos que ejerce en el deterioro cognitivo, lo cual destaca su dimensión multifactorial y la necesidad de crear conjuntos de datos audiológicos multimodales que cubran de forma más extensa datos clínicos de diferentes ámbitos sanitarios. El objetivo de este estudio reside en crear una base de datos multicolaborativa para recabar y analizar sistemáticamente datos interdisciplinarios para la investigación audiológica, que comprenden umbrales auditivos, pruebas de habla, potenciales evocados auditivos, pruebas cognitivas y de calidad de vida e imágenes médicas, entre otras. La base de datos se ha implantado en la Unidad

Repercusiones clínicas

El presente proyecto propone desarrollar una plataforma digital multimodal para recopilar datos audiológicos de diversas fuentes que abarcan umbrales auditivos, pruebas de habla, potenciales evocados auditivos y pruebas cognitivas, de salud y de calidad de vida, entre otras. El objetivo de nuestra plataforma consiste en crear un entorno técnico multicolaborativo unificado para profesionales clínicos e investigadores del ámbito de la audiología; esperamos que facilite la colaboración interdisciplinaria común entre investigadores y profesionales clínicos para recabar datos multimodales de investigación audiológica de calidad. Disponer de conjuntos de datos abiertos y exhaustivos permitirá delimitar con mayor precisión los fenotipos y perfiles audiológicos, así como detectar nuevas asociaciones entre variables.

de Otorrinolaringología del Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla, integrándose en la Intranet del Servicio Andaluz de Salud y permitiendo el acceso a las historias clínicas electrónicas de los pacientes. Esta base de datos utiliza software libre y cumple con las normativas nacionales e internacionales sobre protección de datos, integrando un módulo de registro específico para importar automáticamente a la plataforma umbrales auditivos y potenciales evocados auditivos de dispositivos clínicos. Adicionalmente se ha desarrollado también una aplicación móvil para recopilar cuestionarios médicos de los pacientes telemáticamente. Existe una versión web de demostración de la plataforma a libre disposición de la comunidad audiológica.

## Introducción

Según la OMS, más de 1,500 millones de personas sufren en todo el mundo algún tipo de trastorno auditivo y al menos 430 millones precisarán de atención médica (OMS, 2021). La hipoacusia dificulta las capacidades comunicativas de una persona, vitales para llevar un estilo de vida activo e independiente (Dawes y Völter, 2023; Mosnier *et al.*, 2018). Sin una intervención adecuada, puede resultar en soledad y aislamiento social, así como depresión, disminución de la autoeficacia, actividad física insuficiente o limitación de la estimulación cognitiva (Calvino *et al.*, 2022; Martínez-Amezcuca *et al.*, 2021; Powell *et al.*, 2021). También de acuerdo con la OMS, se prevé que el número de personas que sufren demencia se incrementará de 55 millones en 2019 a 139 millones en 2050 (Gauthier *et al.*, 2022). Las pruebas recientes han revelado que estos dos trastornos están íntimamente relacionados, dado que la hipoacusia representa un factor de riesgo modificable que puede impedir o retrasar el inicio de aproximadamente el 8% de los casos de demencia. Otros factores contribuyentes son las comorbilidades, los niveles educativos bajos y los hábitos de vida (Livingston *et al.*, 2020; Uchida *et al.*, 2019a; Loughrey *et al.*, 2018).

Los dispositivos auditivos, como los audífonos y los implantes cocleares, se han identificado como factores protectores por retrasar el inicio de la demencia y mantener la independencia, la interacción social y la calidad de vida (Völter *et al.*, 2022a; Castiglione *et al.*, 2019; Wayne y Johnsrude, 2015; Lin *et al.*, 2013).

La plataforma multimodal desarrollada abre el camino a un entorno multicolaborativo y unificado en la investigación audiológica en España. Sin embargo, el apoyo de profesionales clínicos y colaboradores sanitarios sigue siendo crucial para generar conjuntos de datos multimodales abiertos de alta calidad en la investigación audiológica.

## Palabras clave

Inteligencia artificial, plataforma digital, hipoacusia, salud móvil, datos multimodales.

Dada la complejidad de la hipoacusia, las estrategias e intervenciones interdisciplinarias resultan necesarias para definir los perfiles tanto audiológicos como neurocognitivos de los pacientes (Andries *et al.*, 2023), así como su interdependencia intrínseca (Giallini *et al.*, 2023a; Dazert *et al.*, 2020). Está demostrado que la hipoacusia está vinculada a una diversidad de factores de riesgo genéticos y clínicos, como infecciones o patógenos víricos, enfermedades crónicas (p. ej. hipertensión, cardiovascularopatía, diabetes), fármacos ototóxicos, tabaquismo, traumatismo craneal, exposición al ruido, trastornos del oído (p. ej. la enfermedad de Ménière) y deficiencias nutricionales, entre otros (Choi *et al.*, 2024; Daniel, 2007; Nieman y Oh, 2020). Mientras algunos de estos factores pueden tratarse parcialmente con medidas preventivas (Lin *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2020), también se ha demostrado que la hipoacusia constituye un trastorno multifactorial asociado a factores ambientales, socioeconómicos y del estilo de vida como la actividad física y la fragilidad, el tabaquismo, la desnutrición y el aislamiento social (He *et al.*, 2019; Lawrence *et al.*, 2020; Rutherford *et al.*, 2018). Así, surge la necesidad de evaluar variables clínicas y de estilo de vida que afectan a la calidad de vida del paciente, así como los beneficios de impulsar estrategias terapéuticas multifactoriales (Brewster *et al.*, 2022; Goodwin *et al.*, 2023b).

Durante la última década, los avances en la innovación audiológica se han combinado con la implantación de técnicas de salud digital, que comprenden algoritmos de análisis de datos masivos y de inteligencia artificial (IA) (Gajecki y Nogueira, 2022;

Rajpurkar *et al.*, 2022; Sánchez-López *et al.*, 2020; Waring *et al.*, 2020), además de recursos de salud móvil (mSalud) (Almufarrij *et al.*, 2023; Swanepoel, 2023). De acuerdo con Wasmann y colegas (Wasmann *et al.*, 2021), la audiología computacional tiene el potencial de establecer un nuevo estándar en la atención audiológica moderna. Con el fin de recabar sistemáticamente datos audiológicos, varios grupos de investigación están trabajando de forma activa en la definición de registros y conjuntos de datos audiológicos, sentando las bases para la introducción de tratamientos auditivos más exhaustivos y personalizados (Huang *et al.*, 2021; Sánchez-López *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Theunisse *et al.*, 2014; Berrettini *et al.*, 2011). Sin embargo, existe una necesidad acuciante de crear plataformas multimodales y conjuntos de datos para recopilar una amplia gama de variables de diferentes ámbitos sanitarios en la investigación audiológica. Este trabajo tiene como objetivo fundamental el desarrollo de una base de datos multicolaborativa para recabar y analizar sistemáticamente datos audiológicos multimodales. Esta base de datos pretende apoyar la investigación audiológica clínica y translacional, tanto a nivel nacional como internacional.

## Objetivos y requisitos del proyecto

Este proyecto tiene como fin constituir y validar una base de datos multimodal para gestionar la información en los ámbitos de la audiología y su investigación. La base de datos facilitará la integración de datos de diversas fuentes, que abarcan umbrales auditivos, pruebas de habla, potenciales evocados auditivos (PEA) y pruebas cognitivas, de salud general y de calidad de vida e imágenes médicas, entre otras. Los objetivos de esta base de datos son:

- Facilitar la recopilación sistemática y el reclutamiento de datos basados en condiciones clínicas reales
- Proporcionar a los investigadores acceso a información multimodal y medios para gestionar variables de relevancia para la investigación audiológica
- Ofrecer módulos para el análisis avanzado, la visualización y el aprovechamiento de los datos, así como su integración con la información clínica disponible
- Ofrecer soluciones de mSalud, basadas en la aplicación de dispositivos móviles a las prácticas médicas y

de salud pública (Ryu, 2012), para recopilar y hacer un seguimiento a distancia de los datos de pacientes con hipoacusia

- Impulsar la colaboración entre investigadores de diferentes organizaciones en estudios multicéntricos cumpliendo las normativas, los aspectos de seguridad y confidencialidad descritos en las normativas internacionales de protección de datos, las especificaciones *datasheets for datasets en IA* (Geburu *et al.*, 2021) y los principios FAIR para la reutilización eficaz de los datos (Wilkinson *et al.*, 2016).

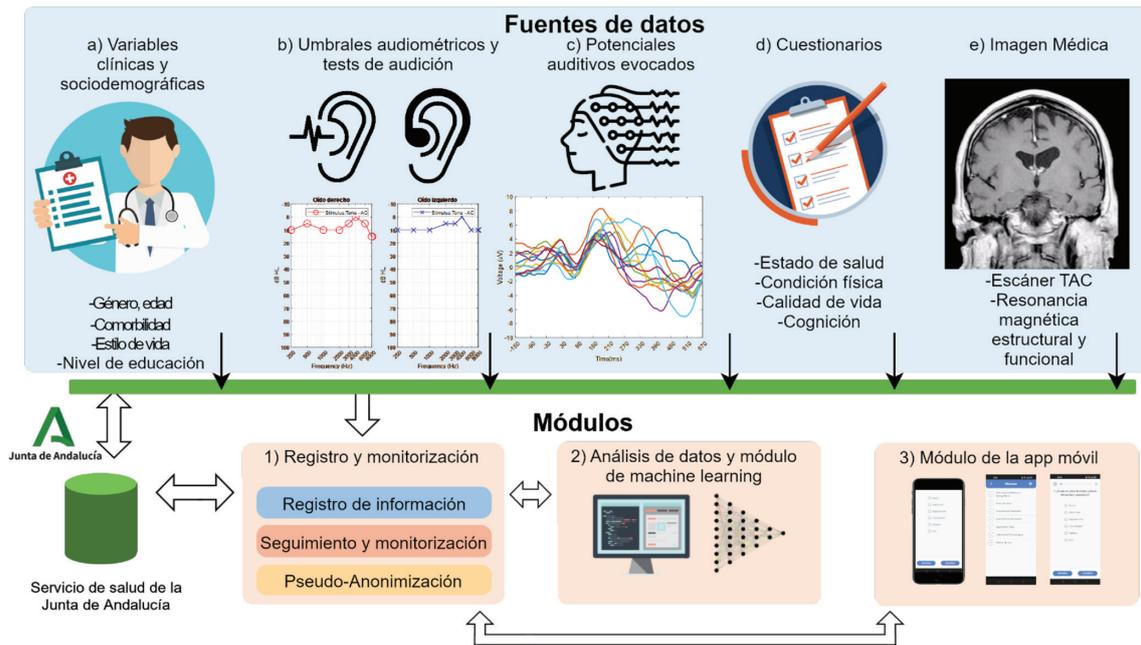
## Sistema de la plataforma y requisitos

La base de datos multimodal se basa en el sistema de la plataforma ITC-Bio (*sitio web del HUVVM, s. f.; Moreno-Conde et al., 2019*), conectado a las historias clínicas electrónicas de los pacientes (HCE) mediante la Intranet del Servicio Andaluz de Salud (SAS), llamado «Diraya» (Muñoyerro-Muñiz *et al.*, 2020). La plataforma ITC-Bio establece un sistema de gestión contextual para la investigación basado en software libre y en normas de interoperabilidad como la ISO 13606 y CDISC (Moreno-Conde *et al.*, 2022). También cumple con las normativas nacionales e internacionales sobre protección de datos y el RGPD (UE 2016/679; Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2016). La utilización de la plataforma y la recopilación de datos sanitarios han sido autorizados por un Comité de Ética en los estudios PEIBA 1735-N-22 y 1752-N-22.

## Implantación y validación de la plataforma

### Implantación de la plataforma: arquitectura y módulos

Se ha establecido una nueva plataforma multimodal que combina diferentes tipos de datos en la Unidad de Otorrinolaringología (ORL) del Hospital Universitario Virgen Macarena (HUVVM) de Sevilla. La plataforma integra tres módulos principales: a) un módulo de registro en el que se registra la información, se seudonimiza y se realiza su seguimiento; b) un módulo de análisis de datos en el que pueden seleccionarse diferentes subgrupos de pacientes y aplicarles diferentes herramientas analíticas y estadísticas, que van



**Figura 1.** Arquitectura funcional de la plataforma. La plataforma consta de tres módulos principales: 1) Un módulo de registro y seguimiento en el que se registra la información, se seudonimiza y se hace su seguimiento; 2) un módulo de análisis de los datos y de aprendizaje automático; 3) un módulo de aplicación móvil que permite a los pacientes cumplimentar los cuestionarios de forma telemática con el teléfono móvil. Las fuentes de datos de la plataforma multimodal abarcan: a) variables clínicas y sociodemográficas; b) datos audiológicos como umbrales audiométricos y pruebas de habla; c) potenciales evocados auditivos; d) cuestionarios sanitarios y cognitivos; e) imágenes médicas.

desde análisis estadísticos descriptivos básicos hasta *pipelines* de procesamiento de señales más complejos y algoritmos de aprendizaje automático; c) una aplicación móvil que permite la comunicación con el paciente, que puede completar cuestionarios de manera remota. En la **figura 1** se ilustra la arquitectura conceptual de la plataforma junto con las fuentes de datos principales recopiladas y los módulos principales desplegados. Asimismo, una versión demo de la plataforma está disponible en formato web y se puede acceder libremente a través de los enlaces descritos en el apéndice A.

Teniendo en cuenta que el fin principal de este trabajo es crear una base de datos multimodal para recopilar conjuntos de datos audiológicos de forma sistemática en práctica clínica, se han desarrollado varios módulos de registro, destacando un módulo específico dedicado a recopilar automáticamente umbrales audiométricos y pruebas de percepción del habla directamente de los dispositivos disponibles en HUVM. También se han incorporado medidas de resolución espectral y temporal, relevantes para la inteligibilidad del habla (Relaño-Iborra y Dau, 2022; Archer-Boyd et al., 2018). Se ha diseñado una batería

de pruebas para cuantificar e identificar las principales funciones cognitivas implicadas en los pacientes con diferentes perfiles audiométricos y estrategias de rehabilitación. Esta serie de pruebas se ha seleccionado con la ayuda de expertos en los ámbitos del deterioro cognitivo y la enfermedad de Alzheimer (Fernandez-Alvarez et al., 2023). Se ha incluido una extensa compilación de cuestionarios con los que se evalúan las dificultades auditivas, el estado general de salud, y el estilo de vida reportados por los pacientes. Esto permite comprender con más precisión los efectos generales y la asociación con la hipoacusia en contextos de la vida real, que resultan difíciles de reproducir en los entornos clínicos. Se ha diseñado un módulo para importar automáticamente las respuestas electrofisiológicas auditivas troncoencefálicas y corticales, que arrojan información sobre el funcionamiento de la vía auditiva tanto periférica como central. Asimismo, se ha instaurado un módulo y un *pipeline* dedicados para el procesamiento de imágenes médicas del oído y cerebrales. A continuación, se describen más detalles de las variables, los cuestionarios y las pruebas empleadas en la plataforma. Los tres módulos principales de la plataforma, que

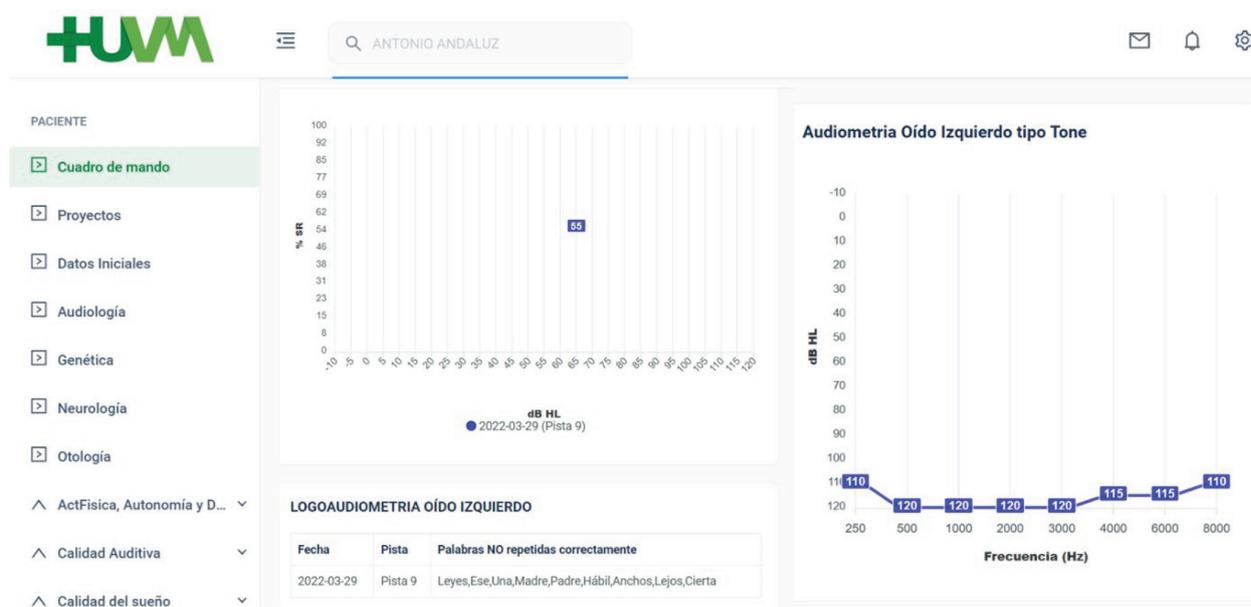


Figura 2. Visualización de las audiometrías de los pacientes importadas a la base de datos.

se muestran en la **figura 1**, se explican a continuación en detalle:

## 1. Módulo de registro y seguimiento

El módulo primario de registro y seguimiento permite recopilar datos nuevos en la plataforma e integrarlos con la historia clínica del paciente (p. ej. datos demográficos, diagnóstico, pruebas analíticas, prescripciones, etc.). La S1\_Figura 1A de la «Documentación complementaria 1» ilustra una captura de pantalla de la página principal del módulo de registro de la base de datos. Las fuentes que suministran los datos al módulo de registro y seguimiento de la base de datos se explican a continuación.

### a. Datos clínicos y sociodemográficos

Pueden registrarse datos tanto clínicos como demográficos, que incluyen variables como la edad, el sexo, la altura, el peso, los hábitos de vida (tabaquismo y consumo de alcohol), el nivel educativo, el hábitat urbano o rural, etc. Los profesionales autorizados obtienen datos clínicos pertinentes de la historia clínica de los pacientes, como las enfermedades concomitantes y los diagnósticos previos, las intervenciones quirúrgicas, analíticas y antecedentes farmacológicos, entre otros. Dichos datos se basan en términos predefinidos de conformidad con la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE 10a; *eCIE-Maps - Documentación [Sanidad.Gob.es]*; ICD- 10-CM, *International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification [ICD-10-CM] [cdc.gov]*). Por otra parte, se recogen también variables socioeconómicas, las cuales se relacionan con el acceso de los pacien-

tes a una rehabilitación auditiva adecuada (Zhan *et al.*, 2020). En la S1\_Figura 1B se muestra una vista del apartado de datos clínicos y demográficos. Como parte de la información quirúrgica, también hemos codificado el sistema de clasificación SAMEO-ATO para categorizar las intervenciones timpanomastoideas en nuestra plataforma (Yung *et al.*, 2018).

### b. Umbrales audiométricos y pruebas de habla

En este apartado los profesionales clínicos pueden recabar información sobre el tipo de hipoacusia, la causa, la duración de la privación auditiva y los detalles del dispositivo auditivo utilizado por los pacientes (véase la S1\_Figura 1C). Los datos audiológicos se recopilan y se representan en la plataforma, los cuales abarcan los umbrales auditivos de la conducción aérea y ósea y las pruebas de habla en silencio y ruido (**figura 2**). Se ha generado un módulo de registro de datos dedicado para importar automáticamente y leer los archivos XML exportados del programa Otoaccess y los audiómetros disponibles en nuestro entorno clínico (Interacoustics A/S, Møgelkærvej 1, Dinamarca; sS1\_Figura 1D). Los códigos aplicados para importar automáticamente los archivos XML con los datos audiométricos brutos y las pruebas de habla son accesibles para la comunidad en audioogía según se indica en el apéndice B. Asimismo, se utiliza la prueba SMRT para cuantificar la resolución temporal y espectral (Zhang *et al.* 2023, Aronoff y Landsberger, 2013). También se ha codificado la escala de categorías de rendimiento auditivo (CAP) (Archbold *et al.*, 1998).

c. *Potenciales evocados auditivos (PEA)*

La plataforma digital también permite subir diferentes tipos de potenciales evocados auditivos (PEA), como los troncoencefálicos y los corticales. Se ha diseñado un módulo de registro de datos dedicado para importar específicamente los archivos XML que contienen las señales de electroencefalografía (EEG) exportadas por el sistema Eclipse EP25 (Interacoustics A/S, Middelfart, Dinamarca). Además de los datos EEG brutos, este módulo lee y recopila automáticamente información específica relacionada con la configuración y los estímulos del protocolo, como la frecuencia, la intensidad, los filtros de ruido o la ganancia (Callejón-Leblic *et al.*, 2023). Los códigos fuente desarrollados se presentan en el apéndice B.

d. *Pruebas y cuestionarios*

Se ha introducido una compilación extensa de pruebas y cuestionarios validados en la plataforma (véase la «Documentación complementaria 2») que abarca diferentes ámbitos de salud, entre los cuales se encuentran la calidad auditiva, los acúfenos, el equilibrio y los mareos, la cognición, los trastornos del estado anímico, la calidad de vida, la actividad física, la calidad del sueño y la nutrición. La selección de estas pruebas se fundamenta en el objetivo de evaluar diferentes ámbitos de salud y su interdependencia o impacto en la audición (Uchida *et al.*, 2019b; Viergever *et al.*, 2021). Para seleccionarlos, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de pruebas y cuestionarios validados utilizados en la literatura.

- Cuestionarios sobre la audición

Diferentes cuestionarios fueron seleccionados para evaluar la calidad auditiva. Por ejemplo, el SSQ-12 (Cañete *et al.*, 2022) y el HISQUI-19 (Calvino *et al.*, 2016) evalúan la audición espacial, la percepción sonora y la calidad auditiva. Asimismo pruebas específicas, como el NICQ (Sánchez-Cuadrado, Gavilán, *et al.*, 2015; Sánchez-Cuadrado, Lassaletta, *et al.*, 2015) evalúa la calidad de vida; el APSQ (Billinger-Finke *et al.*, 2020) la satisfacción con el procesador de audio en los receptores de implantes cocleares y el APHAB (Solarte *et al.*, 2016) la audición subjetiva en personas usuarias de audífonos. Por otro lado, los acúfenos y los vértigos constituyen variables relevantes en pacientes con un trastorno auditivo (Wang *et al.*, 2020), motivo por el cual se eligieron los cuestionarios THI (Newman *et al.*, 1996) y DHI (Formeister *et al.*, 2020).

- Pruebas cognitivas

Se ha diseñado una batería de pruebas exhaustiva para evaluar diversos dominios cognitivos, basada en estudios previos que asociaron significativamente la pérdida auditiva con un rendimiento cognitivo deficiente (Andries *et al.*, 2023; Calvino *et al.*, 2022; Castiglione *et al.*, 2016; Claes *et al.*, 2018; Giallini *et al.*, 2023b; Huber *et al.*, 2020; Völter *et al.*, 2022b). Se ha visto que la hipoacusia afecta particularmente a funciones cognitivas como la velocidad de procesamiento, la flexibilidad cognitiva (Huber *et al.*, 2020; Völter *et al.*, 2017), el razonamiento no verbal (Kramer *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2023), la memoria espacial y episódica (Jayakody *et al.*, 2018) y la memoria de trabajo (Kramer *et al.*, 2018). Por lo tanto, la serie de pruebas cognitivas implementada en esta plataforma consta de una compilación de pruebas con las que se evalúan la cognición general (p.ej. MoCA), la memoria (p. ej. DSST), el lenguaje (p. ej. denominación), la fluidez verbal (p. ej. semántica y fonémica), la atención (p. ej. la prueba N-back), y diferentes funciones ejecutivas (p. ej. TMT A&B, Matrix, Stroop Visual).

- Cuestionarios psicofísicos y de salud general

La hipoacusia también se asocia con un mayor riesgo de desarrollar trastornos del estado ánimo, especialmente en adultos mayores (Brewster *et al.*, 2022; Cuda *et al.*, 2024; Goodwin *et al.*, 2023a). Mediante pruebas específicas, nuestra plataforma también evalúa los trastornos del estado de ánimo más comúnmente reportados en pacientes con pérdida auditiva: depresión (GDS-15), soledad (JLS), apatía (DAS) y ansiedad (BAI). Estas consecuencias psicosociales de la pérdida auditiva también han demostrado contribuir indirectamente al deterioro cognitivo en estos pacientes (Babajanian y Gurgel, 2022; Calvino *et al.*, 2022). Asimismo, se han considerado otras situaciones psicosociales y variables de salud asociadas a la hipoacusia (Holman *et al.*, 2019; Wells *et al.*, 2020), como la calidad de vida (p. ej. HUI3-S y GBI), la actividad física (p. ej. PASE, AFAI), las actividades de la vida diaria (p. ej. las AIVD, el IB), la calidad del sueño (p. ej. el PSQI, la ESE) y la nutrición (p. ej. ADM).

e. *Datos de imágenes clínicas*

Se está desarrollando un módulo para importar imágenes médicas, como TC del oído e imágenes de resonancia magnética (RM) estructural y funcional del cerebro (Callejón-Leblic *et al.*, 2024; Lazo-Maestre *et al.*, 2024; Callejón-Leblic y Miranda, 2020). El objetivo consiste en recopilar datos relativos a la

anatomía coclear para analizar su relación con el rendimiento auditivo, especialmente relevante en el caso de receptores de implantes cocleares (Fitzhugh y Pa, 2023; Giroud et al., 2021; Ha et al., 2020; Rosemann y Thiel, 2020; Wang et al., 2022). Además, se analizarán biomarcadores de neuroimagen que nos permitirán analizar posibles asociaciones entre el estado auditivo y la cognición (Cantero et al., 2018; Ha et al., 2020; Rosemann y Thiel, 2020; Giroud et al., 2021). Las futuras implementaciones explorarán la utilización de arquitecturas estandarizadas, como BIDS (Gorgolewski et al., 2016), para procesar, almacenar y compartir datos de neuroimagen.

En la «Documentación complementaria 3» puede consultarse más información, que abarca la definición de todas las variables incluidas en la plataforma.

## 2. Módulo de análisis de los datos y de aprendizaje automático

Los datos recopilados se etiquetan y seudonimizan adecuadamente. Se han incorporado instrumentos analíticos básicos a la plataforma para mostrar estadísticas descriptivas y tendencias pertinentes en los datos. Algunas de las extensiones ya introducidas en la plataforma comprenden herramientas para visualizar la distribución y la evolución de las variables recopiladas, como las audiometrías y las pruebas de habla a lo largo del tiempo, en función de parámetros como el perfil auditivo de los pacientes (tipo de hipoacusia, etiología, etc.). Además, se ha implementado un módulo de exportación de datos dedicado para exportar datos en formato CSV para el análisis externo. Los investiga-

dores también pueden acceder a la base de datos con protocolos seguros mediante consultas SQL o procesar datos directamente con diferentes lenguajes basados en Python, Matlab/Octave o R. En función de los datos multimodales recabados, se ha codificado un *pipeline* dedicado para llevar a cabo diferentes análisis de datos que incluyen estadísticas descriptivas, análisis de correlación, modelos de regresión y algoritmos de aprendizaje automático, entre otros. Se han generado rutinas de posprocesamiento para hacer un seguimiento de la calidad de los datos evaluando diferentes parámetros como la integridad, la exhaustividad, la coherencia y la precisión (Schmidt et al., 2021; Kahn et al., 2016; Chen et al., 2014).

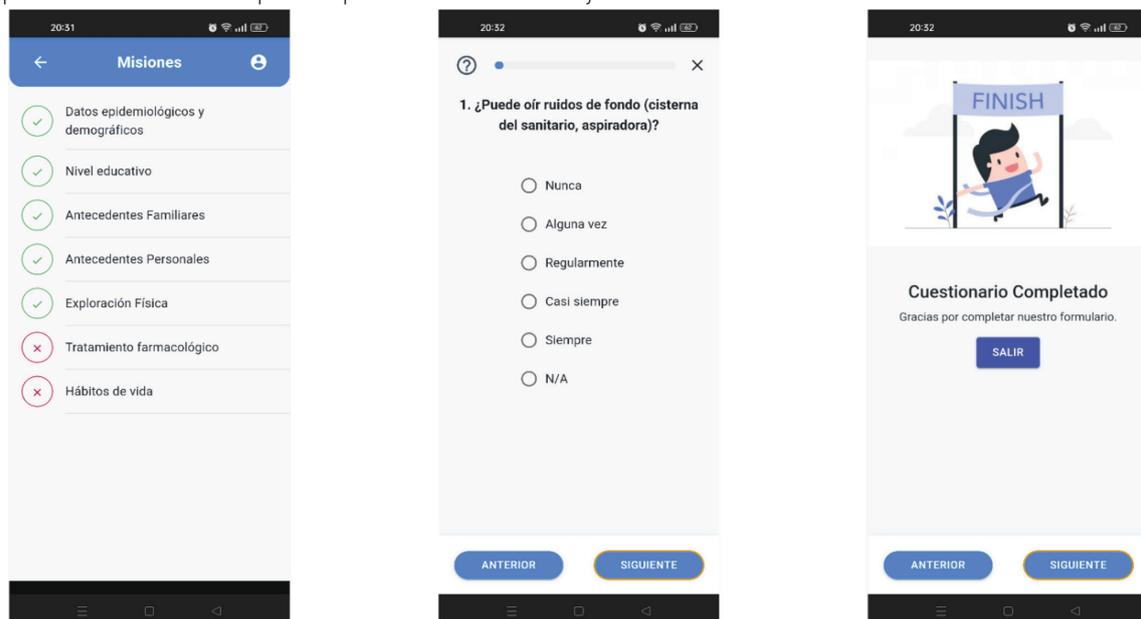
## 3. Aplicación móvil

El módulo de la aplicación móvil recaba sistemáticamente información sobre el estado de salud y la calidad de vida mediante cuestionarios validados que los pacientes pueden personalizar y cumplimentar telemáticamente en el teléfono móvil. También facilita el acceso a información educativa y a contenidos ofrecidos por especialistas clínicos. En la **figura 3** puede observarse una captura de pantalla de algunos de los diferentes recursos que ofrece la aplicación móvil.

## Validación de la plataforma

Desde una perspectiva funcional, la base de datos multimodal proporciona capacidades avanzadas que respaldan los procesos de investigación primarios presentes en nuestro entorno clínico audiológico. Actualmente, la base de datos de la plataforma está

Figura 3. Aplicación móvil desarrollada para recopilar información sanitaria y cuestionarios telemáticamente



siendo sometida a una validación por parte de clínicos especializados e investigadores que manipulan y recopilan datos de pacientes con hipoacusia en el contexto de un proyecto multicéntrico financiado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España en el marco del proyecto AI4HA de Misiones I+D en Inteligencia Artificial de 2021, cuyo objetivo consiste en desarrollar bases de datos abiertas y algoritmos de IA para detectar y tratar de forma temprana enfermedades con gran prevalencia en el envejecimiento. Actualmente se han recabado datos de más de 200 pacientes.

## Discusión

En este proyecto se ha creado un marco unificado que integra información de diversas fuentes de datos audiológicos y sanitarios pertinentes tanto para el ámbito clínico como para la investigación translacional en audiolología. En este proceso, se ha instaurado una base de datos multimodal orientada a la integración de datos transversales de diferentes ámbitos sanitarios y dispositivos que facilita, por tanto, la personalización de diferentes extensiones e instrumentos analíticos de datos. La conformidad y aplicabilidad clínica de las pruebas y medidas introducidas, así como las posibilidades que esta plataforma brinda para incrementar la estandarización, se comentan a continuación.

### Hacia la estandarización y recopilación de conjuntos de datos audiológicos interdisciplinares

En el ámbito de la audiolología hay un problema persistente con conjuntos de datos comparativamente pequeños y desagregados que se generan en apenas algunos centros. La audiometría tonal sigue siendo en muchos casos el método de referencia y la medida principal utilizada para caracterizar la hipoacusia individual; también sirve como base para tratamientos que conllevan soluciones auditivas como la programación de audífonos e implantes cocleares. No obstante, la hipoacusia también se asocia a una disminución de la resolución espectral y de la inteligibilidad, especialmente en contextos ruidosos de la vida real, en los que un audiograma no refleja las dificultades de percepción y claridad (Sánchez-López *et al.*, 2020). En efecto, las conse-

cuencias de la escasa comprensión del lenguaje también pueden conllevar un deterioro de las funciones cognitivas y la calidad de vida. Estos factores constituyen variables importantes, no sólo para conocer por completo los efectos de la hipoacusia en la vida diaria de un paciente (Raymond *et al.*, 2023; Gurgel *et al.*, 2022), sino también para orientar y mejorar las programaciones personalizadas de los audífonos e implantes cocleares (Cone-Wesson y Wunderlich, 2003; Rader *et al.*, 2023; Van Dun *et al.*, 2016; Van Opstal y Noordanus, 2023). Sin embargo, estas variables no siempre se valoran de forma exhaustiva en la clínica diaria, posiblemente por causa de la carencia de pruebas, materiales adecuados y aplicables a la clínica, así como de protocolos estandarizados entre los centros. El problema de la coexistencia de diferentes sistemas de gestión de datos y materiales audiológicos persiste en los ámbitos nacional e internacional, lo que restringe nuestra capacidad de suministrar conjuntos de datos abiertos y con significación estadística para su reutilización y validación (Ait Abdelouahid *et al.*, 2023).

Las primeras iniciativas para proporcionar datos audiológicos normativos entre cinco instituciones internacionales y países corrieron a cargo de Van Esch *et al.* (2013), que propusieron una serie de pruebas denominadas «perfil audiométrico preliminar». Este perfil engloba varias medidas de la percepción de la intensidad sonora, el esfuerzo auditivo, la percepción del habla, la audición espacial, la resolución espectral y temporal, las funciones cognitivas y la discapacidad auditiva reportada por los pacientes. La serie de pruebas se evaluó en un estudio multicéntrico internacional con dos subgrupos de normoyentes e hipoacúsicos y mostró una variabilidad de prueba-reprueba satisfactoria entre los diferentes centros, si bien con algunas diferencias en las pruebas del habla dependientes del lenguaje entre países. En una investigación más reciente, Buhl *et al.* (2019, 2020) propusieron Parámetros Funcionales Audiológicos Comunes (PFAC) como representación compacta pero estadísticamente significativa de los diagnósticos y tratamientos audiológicos. Con PFAC se pretende ofrecer una hoja de datos audiológica de aplicación universal basada en redes bayesianas, demostrando una robustez parcial ante la elección de diferentes pruebas audiológicas o redundantes. Se propuso y validó una primera serie preliminar de diez PFAC que representan información sobre umbrales auditivos, déficits supraliminales y propiedades

biaurales y cognitivas del sistema auditivo humano, además de variables socioeconómicas. Como concluyen los autores, debe efectuarse una nueva recolección de datos de bases de datos clínicas reales para entrenar y validar el concepto de los PFAC u otros métodos de herramientas diagnósticas basadas en el aprendizaje automático.

Motivada por estos estudios previos, nuestra plataforma multimodal tiene como fin integrar diversos ámbitos de salud asociados a la función auditiva en una base de datos única que facilita la recopilación sistemática de datos heterogéneos para la investigación audiológica. Para tal fin, hemos satisfecho dos requisitos técnicos que consideramos importantes para la automatización. En primer lugar, integramos en nuestra plataforma los archivos XML que contienen los umbrales audiométricos y las señales electroencefalográficas auditivas brutas de los dispositivos médicos disponibles en nuestro hospital. La documentación detallada de los códigos fuente empleados para importar y leer estos archivos XML se indica en el apéndice B con la intención de ayudar a otros hospitales y centros de investigación que utilizan los mismos equipos o que puedan adaptar los códigos a los equipos disponibles. Se logró otro hito al integrar estos datos multimodales con la información clínica procedente de las historias clínicas electrónicas de los pacientes, lo cual se consiguió conectando satisfactoriamente la plataforma multimodal a la Intranet del Servicio Andaluz de Salud. Esto nos ha permitido utilizar códigos diagnósticos y terapéuticos internacionales normalizados predefinidos de la CIE 10, con lo que esperamos habilitar la accesibilidad de los datos en los centros de atención primaria y especializada de Andalucía y España. Asimismo, la plataforma cumple con la norma internacional ISO 13606 (*Norma ISO 13606: Interoperabilidad de las historias clínicas electrónicas*; Santos et al., 2010), que presenta especificaciones para la estructura de la información clínica compartida entre los diferentes sistemas de historias clínicas electrónicas. La norma tiene como fin mejorar la interoperabilidad y el intercambio eficaz de datos (Frid et al., 2023). Un estudio previo de Moreno-Conde et al. (2022) presenta una descripción de la infraestructura semántica de determinados subconjuntos terminológicos y formas incluidos en la plataforma multimodal desarrollada, especificando así los atributos asociados y su mapeo en la norma ISO 13606.

## Aplicabilidad e idoneidad clínicas

Se ha implementado una amplia variedad de pruebas para sujetos tanto normoyentes como hipoacúsicos, incluyendo sujetos que utilizan diferentes dispositivos auditivos, como audífonos o implantes cocleares. Por lo que, se han definido e implementado pruebas específicas adaptadas a los diversos perfiles auditivos. Un factor crítico para la aplicabilidad clínica es el tiempo de evaluación. Actualmente, la serie completa de pruebas introducidas en nuestra plataforma lleva hasta tres horas (divididas en dos sesiones): una sesión de 60 minutos para la valoración audiológica (umbrales auditivos, prueba de habla con ruido, medidas electrofisiológicas auditivas, etc.) y una segunda sesión de aproximadamente 120 minutos para la evaluación cognitiva, con la inclusión de pausas para evitar la fatiga en los pacientes. De acuerdo con nuestra experiencia, los pacientes con hipoacusia bilateral grave, un nivel educativo bajo o una edad avanzada manifiestan más dificultades para terminar toda la serie de pruebas cognitivas. Además, es esencial garantizar la comunicación y la comprensión de las instrucciones con el apoyo de información visual (como diapositivas, herramientas de escritura por dictado) para alcanzar una comunicación fluida. Reconocemos que obtener un perfil auditivo y cognitivo completo en diferentes ámbitos es un proceso prolongado para su aplicación diaria en el entorno clínico. Por ello, la base de datos y la aplicación móvil implementadas nos permiten automatizar parcialmente el proceso y recopilar datos de pacientes telemáticamente, integrándolo con éxito en nuestra organización clínica diaria. No obstante, también hemos observado que algunos sujetos, especialmente los pacientes mayores, suelen referir dificultades para utilizar los móviles y son entrevistados en persona. Por consiguiente, destaca la importancia de evaluar y detectar las funciones cognitivas y variables más pertinentes relacionadas con la hipoacusia con objeto de desarrollar pruebas de detección sistemática más versátiles que puedan usarse estratégicamente para evaluar a los pacientes en la práctica clínica diaria.

## Ética, privacidad y calidad de los datos

A medida que se incorporan cada vez más sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en la IA, los desafíos como la calidad de los datos, los sesgos,

la ética y las normativas de privacidad se muestran aún más evidentes y críticos. Existen retos técnicos para cumplir el RGPD siguiendo al mismo tiempo los principios FAIR. En nuestra plataforma se abordan la seudonimización y la anonimización en dos niveles diferentes. De forma interna, la extracción de datos efectuada por los investigadores se lleva a cabo de forma seudonimizada aplicando un mecanismo de encriptación del identificador del paciente basado en los códigos NUHSA (Protti, 2007). El identificador del paciente (NUHSA) se sustituye por un código generado empleando el algoritmo de encriptación SHA-512 (Alfredo-Badillo *et al.*, 2012), con una semilla específica desconocida para los investigadores. Este mecanismo garantiza la separación técnica y funcional entre el equipo de investigación y quienes llevan a cabo la seudonimización. Incluye medidas específicas para evitar la re-identificación de los sujetos y el acceso no autorizado a los datos, como se establece en el apartado d) de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, RGPD, sobre el uso de datos personales seudonimizados con fines de investigación sanitaria (Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales). La seudonimización sigue permitiendo la re-identificación de los pacientes, si es preciso (solo por parte del personal clínico y técnico autorizado del hospital) con motivo de riesgos de salud o hallazgos revelados durante la investigación. No obstante, de forma externa, los datos abiertos puestos a disposición pública de la comunidad científica estarán completamente anonimizados. Para la anonimización actualmente aplicamos técnicas con funciones *hash* y de *k*-anonimización en nuestros algoritmos de procesamiento de datos para garantizar la anonimización sólida de los datos, de conformidad con las recomendaciones indicadas por la Agencia Española de Protección de Datos (Anonimización y seudonimización/AEPD). Con respecto a las neuroimágenes, es preciso mejorar la estandarización y la compatibilidad entre las diferentes organizaciones hospitalarias y centros de investigación. En la actualidad estamos planificando implantar estándares con una gran aceptación, como la estructura de datos de imágenes cerebrales, BIDS (Brain Imaging Data Structure), (Boré *et al.*, 2023; Gorgolewski *et al.*, 2016), lo que ayudaría en el proceso de conformidad con los principios FAIR de nuestro conjunto de datos. Dada la naturaleza sensible de la información recopilada, nuestro grupo de investigación debe estudiar y analizar

minuciosamente la privacidad de las neuroimágenes y las políticas de uso, como ya han comentado otros grupos de investigación (Jwa y Poldrack, 2022).

Los conjuntos de datos de gran calidad y sin sesgos resultan cruciales cuando se emplean como datos de entrada para los algoritmos de IA que respaldan las decisiones clínicas (Vicente y Matute, 2023). Se han propuesto diferentes métodos en la bibliografía para cuantificar la calidad de los datos recopilados (Bertossi y Geerts, 2020; Holzinger *et al.*, 2020). Algunos de estos métodos se basan en rigurosas consultas metodológicas a la base de datos para garantizar la coherencia de los datos (Levman *et al.*, 2023). Otros aspectos importantes, especialmente los que se recomiendan para los modelos de aprendizaje automático, se fundamentan en conceptos como la causalidad o la explicabilidad (Livshits *et al.*, 2021; Linardatos *et al.*, 2020). El análisis de los sesgos y su mitigación deben llevarse a cabo durante el diseño de los modelos de aprendizaje automático para garantizar la calidad y precisión de las predicciones (Siddique *et al.*, 2023). Todos estos conceptos se tendrán adecuadamente en cuenta para cuantificar la calidad de nuestros datos al crear nuevas actualizaciones de nuestra plataforma multimodal.

### Limitaciones y desarrollos futuros

En las documentaciones complementarias 2 y 3 ilustramos una descripción de las variables implantadas en nuestra plataforma para ofrecer una visión general de la capacidad que tiene para recopilar datos multimodales de diferentes fuentes. Nuestro objetivo consiste en tornar estos datos accesibles para fines de investigación a toda la comunidad científica de la audiología. De este modo, nuestra intención es ofrecer los datos obtenidos en nuestra plataforma en repositorios abiertos. Con respecto a las especificaciones de los conjuntos de datos, hemos seguido la plantilla «datasheets for datasets» que introdujeron Gebru *et al.* (2021), cuyo fin consiste en facilitar la compartición de datos y la comunicación entre los creadores y los usuarios de conjuntos de datos de IA. La plataforma es escalable y permite incluir nuevos cuestionarios y apartados de datos de acuerdo con nuevos objetivos de investigación y proyectos. De hecho, en los desarrollos futuros se instaurarán otras variables importantes, como las emisiones otoacústicas por productos de distorsión (EOPD) o los parámetros de programación de los implantes cocleares, entre otras.

En cuanto a la interoperabilidad, debemos reconocer que nuestra plataforma se encuentra aún en la fase de desarrollo inicial, por lo cual la heterogeneidad solo se ha tratado de forma parcial. Será preciso poner más empeño en evolucionar hacia la adopción de otras especificaciones como las del estándar OpenEHR (Haarbrandt et al., 2018; sitio web del OpenEHR) o el HL7 (*Diagnostic Audiology Reporting Implementation Guide for HL7*), que esperamos que aumenten la versatilidad y accesibilidad de los desarrollos que hagamos. Por último, también pretendemos incorporar metadatos que cumplan con los principios FAIR para generar colecciones de datos de investigación que permitirían la reutilización universal de los datos para la investigación científica abierta (Wilkinson et al., 2016).

En resumen, presentamos la plataforma multimodal desarrollada como un paso hacia la instauración de una base de datos multicolaborativa en audiolología. No obstante, además de la necesidad de crear un marco común y una plataforma técnica, el apoyo de los profesionales clínicos de la audiolología y de los colaboradores sanitarios resulta fundamental. La base de datos podrían utilizarla cada vez con más frecuencia diversos agentes y organizaciones del ámbito nacional, entre los cuales se encuentran los investigadores y los socios industriales, para generar más datos probatorios y conjuntos de datos multimodales abiertos de gran calidad para la investigación audiolológica.

## Conclusión

En este trabajo se ha creado una plataforma digital multimodal implementada en la Unidad de Otorrinolaringología del Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla para recopilar sistemáticamente datos audiológicos y sanitarios de diversas fuentes que abarcan umbrales auditivos, pruebas de habla, potenciales evocados auditivos, imágenes médicas y pruebas de calidad de vida y cognitivas, entre otras. Existe una versión web de demostración de la plataforma, junto con todas las variables y apartados introducidos, así como las secuencias de comandos codificadas para importar y leer datos audiológicos, a libre disposición de la comunidad clínica y científica en audiolología. Sigue siendo necesario unir esfuerzos para generar conjuntos de datos más amplios, exhaustivos y abiertos que puedan utilizarse en la investigación audiolológica.

## Bibliografía

- AEPD. (6 de octubre de 2021). *Anonimización y seudonimización*. Recuperado el 18 de abril de 2024 de <https://www.aepd.es/prensa-y-comunicacion/blog/anonimizacion-y-seudonimizacion>
- Ait Abdelouahid, R., Debauche, O., Mahmoudi, S., y Marzak, A. (2023). Literature Review: Clinical Data Interoperability Models. *Information*, 14(7), 364. <https://doi.org/10.3390/info14070364>
- Alfredo-Badillo, I., Morales-Sandoval, M., Feregrino-Urbe, C., y Cumplido, R. (2012). Throughput and efficiency analysis of unrolled hardware architectures for the sha-512 hash algorithm. *2012 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI*, 63–68. <https://doi.org/10.1109/ISVLSI.2012.63>
- Almufarrij, I., Dillon, H., Dawes, P., Moore, D. R., Yeung, W., Charalambous, A.P., Thodi, C., y Munro, K. J. (2023). Web-and app-based tools for remote hearing assessment: A scoping review. *International Journal of Audiology*, 62(8), 699–712. <https://doi.org/10.1080/14992027.2022.2075798>
- Andries, E., Bosmans, J., Engelborghs, S., Cras, P., Vanderveken, O. M., Lammers, M. J. W., Van de Heyning, P. H., Van Rompaey, V., y Mertens, G. (2023). Evaluation of Cognitive Functioning Before and After Cochlear Implantation in Adults Aged 55 Years and Older at Risk for Mild Cognitive Impairment. *JAMA Otolaryngology - Head y Neck Surgery*, 149(4), 310–316. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2022.5046>
- Archbold, S., Lutman, M. E., y Nikolopoulos, T. (1998). Categories of auditory performance: Inter-user reliability. *British Journal of Audiology*, 32(1), 7–12. <https://doi.org/10.3109/03005364000000045>
- Archer-Boyd, A. W., Southwell, R. V., Deeks, J. M., Turner, R. E., y Carlyon, R. P. (2018). Development and validation of a spectro-temporal processing test for cochlear-implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144(5), 2983–2997. <https://doi.org/10.1121/1.5079636>
- Aronoff, J. M., y Landsberger, D. M. (2013). The development of a modified spectral ripple test. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(2), EL217–EL222. <https://doi.org/10.1121/1.4813802>
- Babajanian, E. E., y Gurgel, R. K. (2022). Cognitive and behavioral effects of hearing loss. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 30(5), 339–343. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000825>
- Berrettini, S., Arslan, E., Baggiani, A., Burdo, S., Cassandro, E., Cuda, D., Dinelli, E., Filipo, R., Mancini, P., Martini, A., y otros. (2011). A registry for the collection of data in cochlear implant patients. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 31(5), 328.
- Bertossi, L., y Geerts, F. (2020). Data quality and explainable AI. *Journal of Data and Information Quality (JDIQ)*, 12(2), 1–9.
- Billinger-Finke, M., Bräcker, T., Weber, A., Amann, E., Anderson, I., y Batsoullis, C. (2020). Development and validation of the audio processor satisfaction questionnaire (APSQ) for hearing implant users. *International Journal of Audiology*, 59(5), Article 5.

- Boré, A., Guay, S., Bedetti, C., Meisler, S., y GuenTher, N. (2023). *Dcm-2Bids (Version 3.1.1)* [programa informático]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8436509>
- Brewster, K. K., Deal, J. A., Lin, F. R., y Rutherford, B. R. (2022). Considering hearing loss as a modifiable risk factor for dementia. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 22(9), Article 9. <https://doi.org/10.1080/14737175.2022.2128769>
- Buhl, M., Warzybok, A., Schädler, M. R., Lenarz, T., Majdani, O., y Kollmeier, B. (2019). Common Audiological Functional Parameters (CAFPAs): Statistical and compact representation of rehabilitative audiological classification based on expert knowledge. *International Journal of Audiology*, 58(4), 231-245. <https://doi.org/10.1080/14992027.2018.1554912>
- Buhl, M., Warzybok, A., Schädler, M. R., Majdani, O., y Kollmeier, B. (2020). Common Audiological Functional Parameters (CAFPAs) for single patient cases: Deriving statistical models from an expert-labelled data set. *International Journal of Audiology*, 59(7), 534-547. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1728401>
- Callejón-Leblic, M., y Miranda, P. C. (2020). A computational parcellated brain model for electric field analysis in transcranial direct current stimulation. In Makarov, S.N., Noetscher, G.M., Nummenmaa, A. (eds) *Brain and Human Body Modeling 2020* (pp. 81). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-45623-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-45623-8_5)
- Callejón-Leblic, M. A., Barrios-Romero, M. M., Kontides, A., Sánchez-Gómez, S., y Beynon, A. J. (2023). Electrically evoked auditory cortical responses elicited from individually fitted stimulation parameters in cochlear implant users. *International Journal of Audiology*, 62(7), 650-658.
- Callejón-Leblic, M. A. et al. (2024). A full-head model to investigate intra and extracochlear electric fields in cochlear implant stimulation. *Phys. Med. Biol.* 69, 155010. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/ad5c38>
- Calvino, M., Gavilán, J., Sánchez-Cuadrado, I., Pérez-Mora, R. M., Muñoz, E., y Lassaletta, L. (2016). Validation of the Hearing Implant Sound Quality Index (HISQUI19) to assess Spanish-speaking cochlear implant users' auditory abilities in everyday communication situations. *Acta Oto-Laryngologica*, 136(1), Article 1.
- Calvino, M., Sánchez-Cuadrado, I., Gavilán, J., Gutiérrez-Revilla, M. A., Polo, R., y Lassaletta, L. (2022). Effect of cochlear implantation on cognitive decline and quality of life in younger and older adults with severe-to-profound hearing loss. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology: Official Journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): Affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 279(10), Article 10. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07253-6>
- Cantero, J. L., Atienza, M., Sánchez-Juan, P., Rodríguez-Rodríguez, E., Vázquez-Higuera, J. L., Pozueta, A., González-Suárez, A., Vilaplana, E., Pegueroles, J., Montal, V., y otros. (2018). Cerebral changes and disrupted gray matter cortical networks in asymptomatic older adults at risk for Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 64, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2017.12.010>
- Cañete, O. M., Marfull, D., Torrente, M. C., y Purdy, S. C. (2022). The Spanish 12-item version of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale (Sp-SSQ12): Adaptation, reliability, and discriminant validity for people with and without hearing loss. *Disability and Rehabilitation*, 44(8), Article 8.
- Castiglione, A., Benatti, A., Velardita, C., Favaro, D., Padoan, E., Severi, D., Pagliaro, M., Bovo, R., Vallesi, A., Gabelli, C., y Martini, A. (2016). Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults. *Audiology & Neuro-Otology*, 21 Suppl 1, 21-28. <https://doi.org/10.1159/000448350>
- Castiglione, A., Casa, M., Gallo, S., Sorrentino, F., Dhima, S., Cilia, D., Lovo, E., Gambin, M., Previato, M., Colombo, S., Caserta, E., Gheller, F., Giacomelli, C., Montino, S., Limongi, F., Brotto, D., Gabelli, C., Trevisi, P., Bovo, R., y Martini, A. (2019). Correspondence Between Cognitive and Audiological Evaluations Among the Elderly: A Preliminary Report of an Audiological Screening Model of Subjects at Risk of Cognitive Decline With Slight to Moderate Hearing Loss. *FRONTIERS IN NEUROSCIENCE*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01279>
- CDC National Center for Health Statistics (s. f.). *ICD-10—CM International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification (ICD-10-CM)* (cdc.gov). Recuperado el 18 de abril de 2024 de <https://www.cdc.gov/nchs/icd/icd-10-cm.htm>
- Chen, H., Hailey, D., Wang, N., y Yu, P. (2014). A review of data quality assessment methods for public health information systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 5170-5207. <https://doi.org/10.3390/ijerph110505170>
- Chen, S. Y., Grisel, J. J., Lam, A., y Golub, J. S. (2017). Assessing cochlear implant outcomes in older adults using HERMES: A national web-based database. *Otology and Neurotology*, 38(10), e405-e412. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001575>
- Choi, J. S., Adams, M. E., Crimmins, E. M., Lin, F. R., y Ailshire, J. A. (2024). Association between hearing aid use and mortality in adults with hearing loss in the USA: A mortality follow-up study of a cross-sectional cohort. *The Lancet Healthy Longevity*, 5(1), e66-e75. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(23\)00232-5](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(23)00232-5)
- Claes, A. J., Van de Heyning, P., Gilles, A., Van Rompaey, V., y Mertens, G. (2018). Cognitive Performance of Severely Hearing-impaired Older Adults Before and After Cochlear Implantation: Preliminary Results of a Prospective, Longitudinal Cohort Study Using the RBANS-H. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 39(9), e765-e773. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001936>
- Cone-Wesson, B., y Wunderlich, J. (2003). Auditory evoked potentials from the cortex: Audiology applications. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 11(5), 372-377. <https://doi.org/10.1097/00020840-200310000-00011>
- Cuda, D., Manrique, M., Ramos, Á., Marx, M., Bovo, R., Khnifes, R., Hilly, O., Belmin, J., Stripeikyte, G., Graham, P. L., James, C. J., Greenham, P. V., y Mosnier, I. (2024). Improving quality of life in the elderly: Hea-

- ring loss treatment with cochlear implants. *BMC Geriatrics*, 24(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12877-023-04642-2>
- Daniel, E. (2007). Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health*, 77(5), 225–231. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2007.00197.x>
- Dawes, P., y Völter, C. (2023). Do hearing loss interventions prevent dementia? *Zeitschrift Fur Gerontologie Und Geriatrie*, 56(4), 261–268. <https://doi.org/10.1007/s00391-023-02178-z>
- Dazert, S., Thomas, J. P., Loth, A., Zahnert, T., y Stöver, T. (2020). Cochlear Implantation. *Deutsches Arzteblatt International*, 117(41), 690–700. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0690>
- eCIE-Maps—Documentación (sanidad.gob.es, 13 de enero de 2024). Recuperado el 18 de abril de 2024 de <https://www.eciemaps.sanidad.gob.es/documentation>
- Fernandez-Alvarez, M., Atienza, M., y Cantero, J. L. (2023). Cortical amyloid-beta burden is associated with changes in intracortical myelin in cognitively normal older adults. *Translational Psychiatry*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02420-7>
- Fitzhugh, M. C., y Pa, J. (2023). Exploring gray matter volume atrophy associations with hearing in the UK Biobank. *Alzheimer's & Dementia*, 19(S23), e074985. <https://doi.org/10.1002/alz.074985>
- Formeister, E. J., Krauter, R., Kirk, L., Zhu, T. R., Rizk, H. G., y Sharon, J. D. (2020). Understanding the Dizziness Handicap Inventory (DHI): A Cross Sectional Analysis of Symptom Factors That Contribute to DHI Variance. *Otology & Neurotology*, 41(1), 86. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002438>
- Frid, S., Duran, X. P., Cucó, G. B., Pedrera-Jiménez, M., Serrano-Balazote, P., Carrero, A. M., Lozano-Rubí, R., y otros. (2023). An ontology-based Approach for consolidating patient data standardized with European Norm/International Organization for standardization 13606 (EN/ISO 13606) into Joint Observational Medical Outcomes Partnership (OMOP) repositories: Description of a methodology. *JMIR Medical Informatics*, 11(1), e44547. <https://doi.org/10.2196/44547>
- Gajecí, T., y Nogueira, W. (2022). An end-to-end deep learning speech coding and denoising strategy for cochlear implants. *ICASSP 2022-2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 3109–3113. <https://doi.org/10.1101/2021.11.04.467324>
- Gauthier, S., Webster, C., Servaes, S., Morais, J. A., y Rosa-Nieto, P. (2022). *World Alzheimer Report 2022 – Life after diagnosis: Navigating treatment, care and support*. Alzheimer's Disease International.
- Geburu, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Iii, H. D., y Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. *Communications of the ACM*, 64(12), 86–92. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.09010>
- Giallini, I., Inguscio, B. M. S., Nicastrì, M., Portanova, G., Ciofalo, A., Pace, A., Greco, A., D'Alessandro, H. D., y Mancini, P. (2023a). Neuropsychological Functions and Audiological Findings in Elderly Cochlear Implant Users: The Role of Attention in Postoperative Performance. *Audiology Research*, 13(2), 236–253. <https://doi.org/10.3390/audiolres13020022>
- Giallini, I., Inguscio, B. M. S., Nicastrì, M., Portanova, G., Ciofalo, A., Pace, A., Greco, A., D'Alessandro, H. D., y Mancini, P. (2023b). Neuropsychological Functions and Audiological Findings in Elderly Cochlear Implant Users: The Role of Attention in Postoperative Performance. *Audiology Research*, 13(2), 236–253. Scopus. <https://doi.org/10.3390/audiolres13020022>
- Giroud, N., Pichora-Fuller, M., Mick, P., Wittich, W., Al-Yawer, F., Rehan, S., Orange, J., y Phillips, N. (2021). Hearing loss is associated with gray matter differences in older adults at risk for and with Alzheimer's disease. *Aging Brain*, 1, 100018.
- Goodwin, M. V., Hogervorst, E., y Maidment, D. W. (2023a). Hearing difficulties and memory problems: The mediating role of physical health and psychosocial wellbeing. *International Journal of Audiology*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1080/14992027.2023.2199443>
- Goodwin, M. V., Hogervorst, E., y Maidment, D. W. (2023b). Physical activity interventions for adults with hearing loss: A systematic review. *Speech, Language and Hearing*, 1–11.
- Gorgolewski, K. J., Auer, T., Calhoun, V. D., Craddock, R. C., Das, S., Duff, E. P., Flandin, G., Ghosh, S. S., Glatard, T., Halchenko, Y. O., y otros. (2016). The brain imaging data structure, a format for organizing and describing outputs of neuroimaging experiments. *Scientific Data*, 3(1), 1–9.
- Gurgel, R. K., Duff, K., Foster, N. L., Urano, K. A., y deTorres, A. (2022). Evaluating the Impact of Cochlear Implantation on Cognitive Function in Older Adults. *The Laryngoscope*, 132(S7), S1–S15. <https://doi.org/10.1002/lary.29933>
- Ha, J., Cho, Y. S., Kim, S. J., Cho, S. H., Kim, J. P., Jung, Y. H., Jang, H., Shin, H. Y., Lin, F. R., Na, D. L., Seo, S. W., Moon, I. J., y Kim, H. J. (2020). Hearing loss is associated with cortical thinning in cognitively normal older adults. *European Journal of Neurology*, 27(6), 1003–1009. <https://doi.org/10.1111/ene.14195>
- Haarbrandt, B., Schreiwies, B., Rey, S., Sax, U., Scheithauer, S., Rienhoff, O., Knaup-Gregori, P., Bavendiek, U., Dieterich, C., Brors, B., Kraus, I., Thoms, C. M., Jäger, D., Ellenrieder, V., Bergh, B., Yahyapour, R., Eils, R., Consortium, H. Gh., y Marschollek, M. (2018). HiGHmed—An Open Platform Approach to Enhance Care and Research across Institutional Boundaries. *Methods of Information in Medicine*, 57(S 01), e66–e81. <https://doi.org/10.3414/ME18-02-0002>
- He, Z., Li, M., Zou, S., Liao, F., Ding, Y., Su, H., Wei, X., Wei, C., Mu, Y., y Kong, W. J. (2019). Protection and Prevention of Age-Related Hearing Loss. In H. Li y R. Chai (Eds.), *Hearing Loss: Mechanisms, Prevention and Cure* (pp. 59–71). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6123-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6123-4_4)
- Holman, J. A., Drummond, A., Hughes, S. E., y Naylor, G. (2019). Hearing impairment and daily-life fatigue: A qualitative study. *International Journal of Audiology*, 58(7), Article 7. <https://doi.org/10.1080/14992027.2019.1597284>
- Holzinger, A., Carrington, A., y Müller, H. (2020). Measuring the quality of explanations: The system causability scale (SCS) comparing human and machine explanations. *KI-Künstliche Intelligenz*, 34(2), 193–198.
- Huang, S., Zhao, G., Wu, J., Li, K., Wang, Q., Fu, Y., Zhang, H., Bi, Q., Li, X., Wang, W., Guo, C., Zhang, D., Wu, L., Li, X., Xu, H., Han, M., Wang, X., Lei, C., Qiu, X., ... Yuan, Y. (2021). Gene4HL: An Integrated Genetic Database

- for Hearing Loss. *Frontiers in Genetics*, 12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.773009>
- Huber, M., Roesch, S., Pletzer, B., Lukaschyk, J., Lesinski-Schiedat, A., y Illg, A. (2020). Cognition in older adults with severe to profound sensorineural hearing loss compared to peers with normal hearing for age. *International Journal of Audiology*, 59(4), 254–262. <https://doi.org/10.1080/14992027.2019.1687947>
- Sitio web del HUVM. (s. f.). *Plataforma ITCBio*. Recuperado el 18 de abril de 2024 de <https://www.hospitalmacarena.es/entrada-blog/itcbio-platform/>
- ISO 13606 Standard—EHR Interoperability (10 de agosto de 2021). Recuperado el 18 de abril de 2024 de <http://www.en13606.org/information.html>
- Jayakody, D., Friedland, P., Martins, R., y Sohrabi, H. (2018). Impact of Aging on the Auditory System and Related Cognitive Functions: A Narrative Review. *FRONTIERS IN NEUROSCIENCE*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00125>
- Jwa, A. S., y Poldrack, R. A. (2022). The spectrum of data sharing policies in neuroimaging data repositories. *Human Brain Mapping*, 43(8), 2707–2721.
- Kahn, M. G., Callahan, T. J., Barnard, J., Bauck, A. E., Brown, J., Davidson, B. N., Estiri, H., Goerg, C., Holve, E., Johnson, S. G., Liaw, S. T., Hamilton-Lopez, M., Meeker, D., Ong, T. C., Ryan, P., Shang, N., Weiskopf, N. G., Weng, C., Zozus, M. N., y Schilling, L. (2016). A Harmonized Data Quality Assessment Terminology and Framework for the Secondary Use of Electronic Health Record Data. *EGEMS (Washington, DC)*, 4(1), 1244. <https://doi.org/10.13063/2327-9214.1244>
- Kramer, S., Vasil, K. J., Adunka, O. F., Pisoni, D. B., y Moberly, A. C. (2018). Cognitive Functions in Adult Cochlear Implant Users, Cochlear Implant Candidates, and Normal-Hearing Listeners. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 3(4), 304–310. <https://doi.org/10.1002/liv2.172>
- Lawrence, B. J., Jayakody, D. M. P., Bennett, R. J., Eikelboom, R. H., Gasson, N., y Friedland, P. L. (2020). Hearing Loss and Depression in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Gerontologist*, 60(3), e137–e154. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz009>
- Lazo-Maestre, M. et al. (2024). An Image-Guided Workflow for Individualized Surgical Planning and Multiphysics Simulation in Cochlear Implant Patients. En: Guisado-Lizar, J.L., Riscos-Núñez, A., Morón-Fernández, M.J., Wainer, G. (eds) *Simulation Tools and Techniques. SIMUtools 2023. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 519. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-57523-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-57523-5_17)
- Levman, J., Ewenson, B., Apaloo, J., Berger, D., y Tyrrell, P. N. (2023). Error consistency for machine learning evaluation and validation with application to biomedical diagnostics. *Diagnostics*, 13(7), 1315.
- Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. *Boletín Oficial del Estado*, 294, December 6<sup>th</sup> 2018. Recuperado el 18 de abril de 2024 de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-16673>
- Lin, F. R., Thorpe, R., Gordon-Salant, S., y Ferrucci, L. (2011). Hearing Loss Prevalence and Risk Factors Among Older Adults in the United States. *The Journals of Gerontology: Series A*, 66A(5), 582–590. <https://doi.org/10.1093/gerona/glr002>
- Lin, F. R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q. L., Harris, T. B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H. N., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., y otros. (2013). Hearing loss and cognitive decline in older adults. *JAMA Internal Medicine*, 173(4), 293–299. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868>
- Linardatos, P., Papastefanopoulos, V., y Kotsiantis, S. (2020). Explainable ai: A review of machine learning interpretability methods. *Entropy*, 23(1), 18.
- Livingston, G., Huntley, J., Sommerlad, A., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., Brayne, C., Burns, A., Cohen-Mansfield, J., Cooper, C., y otros. (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *The Lancet*, 396(10248), 413–446. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30367-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30367-6)
- Livshits, E., Bertossi, L., Kimelfeld, B., y Sebag, M. (2021). The Shapley value of tuples in query answering. *Logical Methods in Computer Science*, 17. [https://doi.org/10.46298/lmcs-17\(3:22\)2021](https://doi.org/10.46298/lmcs-17(3:22)2021)
- Loughrey, D. G., Kelly, M. E., Kelley, G. A., Brennan, S., y Lawlor, B. A. (2018). Association of age-related hearing loss with cognitive function, cognitive impairment, and dementia: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 144(2), 115–126. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2017.2513>
- Martinez-Amezcu, P., Powell, D., Kuo, P. L., Reed, N. S., Sullivan, K. J., Palta, P., Szklo, M., Sharrett, R., Schrack, J. A., Lin, F. R., y Deal, J. A. (2021). Association of Age-Related Hearing Impairment With Physical Functioning Among Community-Dwelling Older Adults in the US. *JAMA Network Open*, 4(6), e2113742. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.13742>
- Moreno-Conde, J., Moreno-Conde, A., Salas-Fernández, S., y Parra-Calderón, C. L. (2019). ITCBio, a clinical and translational research platform. *AMIA Annual Symposium Proceedings, 2019*, 673.
- Moreno-Conde, J., Salas-Fernandez, S., y Moreno-Conde, A. (2022). MedicalForms: Integrated management of semantics for electronic health record systems and research platforms. *Applied Sciences*, 12(9), 4322.
- Mosnier, I., Vanier, A., Bonnard, D., Lina-Granade, G., Truy, E., Bordine, P., Godey, B., Marx, M., Lescanne, E., Venail, F., y otros. (2018). Long-term cognitive prognosis of profoundly deaf older adults after hearing rehabilitation using cochlear implants. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(8), 1553–1561. <https://doi.org/10.1111/jgs.15445>
- Muñoyerro-Muñiz, D., Goicoechea-Salazar, J. A., García-León, F. J., Laguna-Téllez, A., Larrocha-Mata, D., y Cardero-Rivas, M. (2020). Health record linkage: Andalusian health population database. *Gaceta Sanitaria*, 34(2), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2019.03.003>
- Newman, C. (1 de enero de 2020). *HL7 Diagnostic Audiology Reporting Implementation Guide*. <https://confluence.hl7.org/display/PHWG/Diagnostic+Audiology+Reporting+Implementation+Guide>
- Newman, C. W., Jacobson, G. P., y Spitzer, J. B. (1996). Development of the tinnitus handicap inventory. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 122(2), Article 2.

- Nieman, C. L., y Oh, E. S. (2020). Hearing Loss. *Annals of Internal Medicine*, 173(11), ITC81-ITC96. <https://doi.org/10.7326/AITC202012010>
- openEHR Concept name: Common\_audiological\_functional\_parameters. (4 de mayo de 2024). Recuperado el 3 de junio de 2024 de <https://ckm.highmed.org/ckm/archetypes/1246.145.2160>
- Powell, D. S., Oh, E. S., Lin, F. R., y Deal, J. A. (2021). Hearing impairment and cognition in an aging world. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 22(4), 387-403. <https://doi.org/10.1007/s10162-021-00799-y>
- Protti, D. (2007). Moving toward a single comprehensive electronic health record for every citizen in Andalucía, Spain. *Healthcare Quarterly (Toronto, Ont.)*, 10(4), 114-123, 4.
- Publications Office of the European Union. (27 de abril de 2016). *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation)* [Website]. Publications Office of the EU; Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3e485e15-11bd-11e6-ba9a-01aa75ed71a1/language-en>
- Rader, T., Nachtigäller, P., Linke, T., Weißberger, T., y Baumann, U. (2023). Exponential fitting of spread of excitation response measurements in cochlear implants. *Journal of Neuroscience Methods*, 391, 109854.
- Rajpurkar, P., Chen, E., Banerjee, O., y Topol, E. J. (2022). AI in health and medicine. *Nature Medicine*, 28(1), 31-38. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01614-0>
- Raymond, M. J., Ma, C., Schwartz-Leyzac, K. C., Camposeo, E. L., Nguyen, S. A., Meyer, T. A., y McRackan, T. R. (2023). Association of Cognitive Impairment Screening Scores With Improvements in Speech Recognition and Quality of Life After Cochlear Implantation. *JAMA Otolaryngology-Head y Neck Surgery*, 149(4), 344-351. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2022.4825>
- Relaño-Iborra, H., y Dau, T. (2022). Speech intelligibility prediction based on modulation frequency-selective processing. *Hearing Research*, 426, 108610. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108610>
- Rosemann, S., y Thiel, C. M. (2020). Neuroanatomical changes associated with age-related hearing loss and listening effort. *Brain Structure and Function*, 225(9), 2689-2700. <https://doi.org/10.1007/s00429-020-02148-w>
- Rutherford, B. R., Brewster, K., Golub, J. S., Kim, A. H., y Roose, S. P. (2018). Sensation and psychiatry: Linking age-related hearing loss to late-life depression and cognitive decline. *American Journal of Psychiatry*, 175(3), 215-224.
- Ryu, S. (2012). Book review: mHealth: New horizons for health through mobile technologies: Based on the findings of the second global survey on eHealth (global observatory for eHealth series, volume 3). *Healthcare Informatics Research*, 18(3), 231. <https://doi.org/10.4258/hir.2012.18.3.231>
- Sánchez-Cuadrado, I., Gavilán, J., Pérez-Mora, R., Muñoz, E., y Lassaletta, L. (2015). Reliability and validity of the Nijmegen cochlear implant questionnaire in Spanish. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 272(7), Article 7.
- Sánchez-Cuadrado, I., Lassaletta, L., Perez-Mora, R., Muñoz, E., y Gavilán, J. (2015). Reliability and validity of the Spanish Glasgow Benefit Inventory after cochlear implant surgery in adults. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 272(2), 333-336.
- Sánchez-López, R., Fereczkowski, M., Neher, T., Santurette, S., y Dau, T. (2020). Robust Data-Driven Auditory Profiling Towards Precision Audiology. *Trends in Hearing*, 24. <https://doi.org/10.1177/2331216520973539>
- Sánchez-López, R., Grini-Nielsen, S., Cañete, O., Fereczkowski, M., Wu, M., Neher, T., Dau, T., y Santurette, S. (2019). A clinical test battery for Better hEARing Rehabilitation (BEAR): Towards the prediction of individual auditory deficits and hearing-aid benefit. 23rd International Congress on Acoustics, 3841-3848. <https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239177>
- Santos, M. R., Bax, M. P., y Kalra, D. (2010). Building a logical EHR architecture based on ISO 13606 standard and semantic web technologies. In *MEDINFO 2010* (pp. 161-165). IOS Press.
- Schmidt, C. O., Struckmann, S., Enzenbach, C., Reineke, A., Stausberg, J., Damerow, S., Huebner, M., Schmidt, B., Sauerbrei, W., y Richter, A. (2021). Facilitating harmonized data quality assessments. A data quality framework for observational health research data collections with software implementations in R. *BMC Medical Research Methodology*, 21, 1-15.
- Siddique, S., Haque, M. A., George, R., Gupta, K. D., Gupta, D., y Faruk, M. J. H. (2023). Survey on Machine Learning Biases and Mitigation Techniques. *Digital*, 4(1), 1-68.
- Solarte, S. E., Chacón, M. M., y Ortiz, Y. A. (2016). Validez de contenido-escala "abbreviated profile of hearing aid benefit". *Aréte*, 16(1), 39-52.
- Swanepoel, D. W. (2023). Advancing Equitable Hearing Care Through Innovations in Technology and Service-Delivery. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 1-1. <https://doi.org/10.1159/000530671>
- Theunisse, H. J., Mulder, J. J., Pennings, R. J. E., Kunst, H. P. M., y Mylanus, E. A. M. (2014). A database system for the registration of complications and failures in cochlear implant surgery applied to over 1000 implantations performed in Nijmegen, The Netherlands. *Journal of Laryngology and Otology*, 128(11), 952-957. <https://doi.org/10.1017/S0022215114002126>
- Uchida, Y., Sugiura, S., Nishita, Y., Saji, N., Sone, M., y Ueda, H. (2019a). Age-related hearing loss and cognitive decline—The potential mechanisms linking the two. *Auris, Nasus, Larynx*, 46(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.08.010>
- Uchida, Y., Sugiura, S., Nishita, Y., Saji, N., Sone, M., y Ueda, H. (2019b). Age-related hearing loss and cognitive decline—The potential mechanisms linking the two. *Auris, Nasus, Larynx*, 46(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.08.010>

- Van Dun, B., Kania, A., y Dillon, H. (2016). Cortical Auditory Evoked Potentials in (Un)aided Normal-Hearing and Hearing-Impaired Adults. *Seminars in Hearing*, 37(1), 9–24. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1570333>
- Van Esch, T. E., Kollmeier, B., Vormann, M., Lyzenga, J., Houtgast, T., Hällgren, M., Larsby, B., Athalye, S. P., Lutman, M. E., y Dreschler, W. A. (2013). Evaluation of the preliminary auditory profile test battery in an international multi-centre study. *International Journal of Audiology*, 52(5), 305–321. <https://doi.org/10.3109/14992027.2012.759665>
- Van Opstal, A. J., y Noordanus, E. (2023). Towards personalized and optimized fitting of cochlear implants. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1183126. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1183126>
- Vicente, L., y Matute, H. (2023). Humans inherit artificial intelligence biases. *Scientific Reports*, 13(1), 15737. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42384-8>
- Viergever, K., Kraak, J. T., Bruinewoud, E. M., Ket, J. C., Kramer, S. E., y Merkus, P. (2021). Questionnaires in otology: A systematic mapping review. *Systematic Reviews*, 10, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01659-9>
- Völter, C., Götze, L., Falkenstein, M., Dazert, S., y Thomas, J. P. (2017). Application of a computer-based neurocognitive assessment battery in the elderly with and without hearing loss. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 1681–1690. <https://doi.org/10.2147/CIA.S142541>
- Völter, C., Götze, L., Kamin, S. T., Haubitz, I., Dazert, S., y Thomas, J. P. (2022a). Can cochlear implantation prevent cognitive decline in the long-term follow-up? *Frontiers in Neurology*, 13, 1009087. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1009087>
- Völter, C., Götze, L., Kamin, S. T., Haubitz, I., Dazert, S., y Thomas, J. P. (2022b). Can cochlear implantation prevent cognitive decline in the long-term follow-up? *Frontiers in Neurology*, 13, 1009087. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1009087>
- Wang, H. F., Zhang, W., Rolls, E. T., Li, Y., Wang, L., Ma, Y. H., Kang, J., Feng, J., Yu, J. T., y Cheng, W. (2022). Hearing impairment is associated with cognitive decline, brain atrophy and tau pathology. *Ebiomedicine*, 86.
- Wang, T. C., Chang, T. Y., Tyler, R., Lin, Y. J., Liang, W. M., Shau, Y. W., Lin, W. Y., Chen, Y. W., Lin, C. D., y Tsai, M. H. (2020). Noise Induced Hearing Loss and Tinnitus—New Research Developments and Remaining Gaps in Disease Assessment, Treatment, and Prevention. *Brain Sciences*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/brainsci10100732>
- Waring, J., Lindvall, C., y Umeton, R. (2020). Automated machine learning: Review of the state-of-the-art and opportunities for healthcare. *Artificial Intelligence in Medicine*, 104, 101822. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.101822>
- Wasmann, J. W. A., Lanting, C. P., Huinck, W. J., Mylanus, E. A. M., Laak, J. W. M. V. D., Govaerts, P. J., Swanepoel, D. W., Moore, D. R., y Barbour, D. L. (2021). Computational Audiology: New Approaches to Advance Hearing Health Care in the Digital Age. *Ear and Hearing*, 42(6), 1499–1507. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001041>
- Wayne, R. V., y Johnsrude, I. S. (2015). A review of causal mechanisms underlying the link between age-related hearing loss and cognitive decline. *Ageing Research Reviews*, 23, 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.06.002>
- Wells, T. S., Nickels, L. D., Rush, S. R., Musich, S. A., Wu, L., Bhattarai, G. R., y Yeh, C. S. (2020). Characteristics and Health Outcomes Associated With Hearing Loss and Hearing Aid Use Among Older Adults. *Journal of Aging and Health*, 32(7–8), 724–734. <https://doi.org/10.1177/0898264319848866>
- WHO. (2021). *World Report on Hearing*. <https://www.who.int/publications/item/9789240020481>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J. W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., y otros. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- Yung, M., James, A., Merkus, P., Philips, J., Black, B., Tono, T., Linder, T., Dornhoffer, J., y İncesulu, A. (2018). International otology outcome group and the international consensus on the categorization of tympanomastoid surgery. *The Journal of International Advanced Otolaryngology*, 14(2), 216.
- Zhan, K. Y., Lewis, J. H., Vasil, K. J., Tamati, T. N., Harris, M. S., Pisoni, D. B., Kronenberger, W. G., Ray, C., y Moberly, A. C. (2020). Cognitive Functions in Adults Receiving Cochlear Implants: Predictors of Speech Recognition and Changes After Implantation. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology*, 41(3), e322–e329. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002544>
- Zhang, Y., Callejón-Leblic, M. A., Picazo-Reina, A. M., Blanco-Trejo, S., y Sánchez-Gómez, S. (2023). Impact of SNR, peripheral auditory sensitivity, and central cognitive profile on the psychometric relation between pupillary response and speech performance in CI users. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1307777>

## Apéndice A

En el sitio web del proyecto puede encontrarse más documentación.

- URL: <https://plataforma.innovacionsalud.org> (acceso el 16 de septiembre de 2024).

Desde este sitio web podrá acceder y probar la base de datos desarrollada con el siguiente nombre de usuario y contraseña:

- Usuario: demo\_misiones
- Contraseña: 123456

En este vínculo también puede consultarse un manual de usuario de la plataforma de demostración.

## Apéndice B

En la página de GitHub se ofrecen más materiales que comprenden los códigos fuente aplicados para leer e importar archivos XML del programa Otoaccess y del equipo Eclipse EP25 (Interacoustics A/S, Middelfart, Dinamarca):

URL: [https://github.com/amparocallejon/MISIONES\\_IA](https://github.com/amparocallejon/MISIONES_IA)

### Conflictos de interés

Parte de la actividad investigadora de M.A. Callejón-Leblic es financiada por la empresa Oticon Medical España. El resto de autores no declaran ningún conflicto de interés.

### Contribución de los autores

MACL: redacción, conceptualización, obtención de los datos, análisis de los datos, metodología. SBT y BVG: revisión del manuscrito, obtención de los datos, análisis de los datos, metodología. AMPR, BTG, ALD, MLM, FLB, FER, MAC, MLCR, CLL, CAG, FRR, LAU y MCG: metodología, obtención de los datos. MAR, JCL, AMC, JMC y SSG: conceptualización, metodología, obtención de la financiación, supervisión.

### Financiación

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital en el marco del proyecto AI4HA: *IA para el diagnóstico y tratamiento temprano de enfermedades con gran prevalencia en el envejecimiento* dentro del programa Misiones I+D en Inteligencia Artificial de 2021 (MIA.2021.M02.0007) (WP8).

### Declaración de disponibilidad de los datos

Existen varios materiales complementarios de acceso libre, como se describe en los diferentes apéndices y en los siguientes enlaces:

[Material Suplementario 1](#)

[Material Suplementario 2](#)

[Material Suplementario 3](#)

### Agradecimientos

Nos gustaría agradecer al personal clínico del HUVM sus valiosos comentarios, que han contribuido al diseño de la plataforma.

### Documentación complementaria

Puede consultarse un vídeo en el que se muestran varios apartados de la plataforma en:

[Demo MISIONES IA](#) (acceso el 16 de septiembre de 2024).

### Oficina Editorial

Corrección: Tomás Pérez Pazos

Traducción: Tomás Pérez Pazos

Revisión traducción: Raúl Sanchez Lopez

Producción: Glaux Publicaciones Académicas