



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

Nuevas tecnologías para terapias no farmacológicas para  
enfermedades neurodegenerativas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Mateo García, Javier

Tutor/a: Sastre Martínez, Jorge

Cotutor/a: Scarani, Stefano

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



# Nuevas tecnologías para terapias no farmacológicas para enfermedades neurodegenerativas

## Creación de dos módulos para trabajar la localización espacial

**Alumno: Javier Mateo García**

**Tutor: Jorge Sastre**

**Cotutor: Stefano Scarani**

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Mención Sistemas Audiovisuales

Curso 2022-23

Valencia, \_\_ marzo de 2023

## Agradecimientos

El TFG que se presenta, es el resultado de mucho tiempo de trabajo, investigación y aprendizaje. En primer lugar, quiero dar mi agradecimiento al tutor D. Jorge Sastre por haberme permitido hacer este proyecto bajo su dirección junto con el cotutor D. Stefano Scarani. Gracias por sus consejos, orientaciones y por todos los conocimientos que me han transmitido. Agradecer también al doctor José Manuel Moltó del Hospital de la Virgen de los Lirios de Alcoy por sus ideas en cuanto a cómo orientar este trabajo.

También agradecer a Soundcool el haberme dado la oportunidad de trabajar con esta organización.

Dar las gracias a mis padres, ya que sin su apoyo este trabajo no habría sido posible.

Por último, no me gustaría dejar de mencionar a todas aquellas personas que sufren esta terrible enfermedad que es el Alzheimer y como no, a mi abuelo, que en estas últimas fechas nos ha dejado debido a ella.



## Resumen

En este trabajo se han programado dos módulos para realizar terapias basadas en sonido 3D con personas con Alzheimer. Los módulos que se han creado tienen como misión ampliar el sistema Soundcool.

En el presente proyecto se diseñan y verifican, primero el interés de las terapias propuestas con neurólogos colaboradores del equipo Soundcool y posteriormente, se han diseñado los módulos siguiendo sus recomendaciones.

Se han elaborado dos módulos, 3Dspat y Audiomove, que ayudan a trabajar la localización espacial en personas con Alzheimer y otras enfermedades neurodegenerativas.

El módulo 3Dspat se basa en la utilización de las HRTF para la localización espacial. Es una esfera en la cual, al clicar en algunos puntos sobre ella, la muestra de sonido se mueve a esa localización. Para ello se convoluciona la muestra con la HRTF correspondiente a esa posición.

Audiomove, al ser un módulo algo más interactivo, permite al usuario o usuaria mover el sonido de izquierda a derecha, jugando con él.

Palabras clave: tecnología, audio, 3D, binaural, terapia, Alzheimer, enfermedad neurodegenerativa, Soundcool

## Resum

En aquest treball s'han programat dos mòduls per a realitzar teràpies basades en so 3D amb persones amb Alzheimer. Els mòduls que s'han creat tenen com a missió ampliar el sistema Soundcool.

En el present projecte es dissenyen i verifiquen, primer l'interès de les teràpies proposades amb neuròlegs col·laboradors de l'equip Soundcool i posteriorment, s'han dissenyat els mòduls seguint les seues recomanacions.

S'han elaborat dos mòduls, 3Dspat i Audiomove, que ajuden a treballar la localització espacial en persones amb Alzheimer i altres malalties neurodegeneratives.

El mòdul 3Dspat es basa en la utilització de les HRTF per a la localització espacial. És una esfera en la qual, en polsar en alguns punts sobre ella, la mostra de so es mou a aquesta localització. Per a fer-ho es convoluciona la mostra amb la HRTF corresponent a aquesta posició.

Audiomove, és un mòdul una mica més interactiu, permet a l'usuari o usuària moure el so d'esquerra a dreta, jugant amb ell.

Paraules clau: tecnologia, àudio, 3D, binaural, teràpia, Alzheimer, malaltia neurodegenerativa, Soundcool



## Abstract

In this work, two modules have been programmed to carry out therapies based on 3D sound with people with Alzheimer. The modules that have been created have the mission of expanding the Soundcool system.

In this project, firstly, the interest of the proposed therapies is designed and verified with neurologists collaborating with the Soundcool team, and later, the modules have been designed following their recommendations.

Two modules have been developed, 3Dspat and Audiomove, which help work on spatial localization in people with Alzheimer's and other neurodegenerative diseases.

The 3Dspat module is based on the use of HRTF for spatial location. It is a sphere in which, by clicking on some points on it, the sound moves to that location. To do this, the sample is convolved with the HRTF corresponding to that position.

Audiomove, being a somewhat more interactive module, allows the user to move the sound from left to right, playing with it.

Keywords: technology, audio, 3D, binaural, therapy, Alzheimer's, neurodegenerative disease, Soundcool



## Índice

<b>Introducción y justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 1. Fundamentos teóricos.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 La Enfermedad de Alzheimer (EA).....</b>	<b>6</b>
1.1.1 Breve historia y cronología de la EA.....	6
1.1.2 Definición de la EA.....	7
1.1.3 Diferencia entre EA y Demencia.....	8
1.1.4 Epidemiología.....	8
1.1.5 El cerebro de las personas con EA.....	10
1.1.6 Sintomatología.....	13
1.1.7 Causas de la EA.....	15
1.1.8 Fases de la EA.....	15
1.1.9 Criterios de diagnóstico de la EA.....	18
1.1.9.1 Posibles pruebas para la detección de la EA.....	21
1.1.10 Tratamiento de la Enfermedad de Alzheimer.....	24
1.1.10.1 Tratamientos farmacológicos DTA.....	24
1.1.10.2 Tratamiento no farmacológico.....	26
<b>1.2 El sonido, la música y el Alzheimer.....</b>	<b>28</b>
1.2.1 La música como terapia para la EA.....	32
1.2.1.1 Intervención musicoterapéutica según las diferentes áreas afectadas en la EA....	34
1.2.2 Terapia musical neurológica (NMT).....	35
<b>1.3 Localización del sonido.....</b>	<b>40</b>
1.3.1 Anatomía del oído.....	40
1.3.1.1 Oído externo.....	41
1.3.1.2 Oído medio.....	41
1.3.1.3 Oído interno.....	41
1.3.2 Fisiología del oído.....	42
1.3.2.1 Percepción espacial del sonido.....	43
1.3.2.2 Mecanismos que permiten la localización del sonido.....	43
1.3.2.2.1 Los mecanismos de localización en el plano horizontal.....	44
1.3.2.2.2 Mecanismos de localización del sonido para la percepción de la elevación....	47
1.3.2.2.3 Mecanismos de percepción de la distancia.....	48
1.3.2.2.4 Mecanismo de Paralaje por movimiento.....	49
1.3.2.2.5 Relación sonido directo a sonido de reverberación.....	50
1.3.2.3 Función de transferencia relacionada con la cabeza (HRTF, Head-related transfer function).....	51
1.3.2.4 Sistemas de sonido espacial y sus sistemas de clasificación.....	54
<b>Capítulo 2. Desarrollo del proyecto y resultados.....</b>	<b>57</b>
<b>2.1.- Módulo 3Dspat.....</b>	<b>57</b>
<b>2.2.- Módulo Audiomove.....</b>	<b>61</b>
<b>2.3.- Implementación en Soundcool.....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo 3. Propuesta de trabajo futuro y conclusiones.....</b>	<b>64</b>



<b>3.1.- Limitaciones y posibles mejoras .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.- Conclusiones.....</b>	<b>64</b>
<i>Índice de ilustraciones .....</i>	<i>65</i>
<i>Índice de tablas .....</i>	<i>66</i>
<i>Bibliografía .....</i>	<i>67</i>

## Introducción y justificación

En este apartado de introducción se explicará cuál es el motivo de la elección del tema de este TFG, además de justificar su utilidad a nivel científico y por parte de la comunidad de personas afectadas por la Enfermedad de Alzheimer (EA).

El motivo por el cual me decidí por este tema para la realización del TFG, es que me gustaría hacer algo relacionado con la música para las personas con EA. Tengo algunos conocimientos de música y como casi todos/as, hoy en día, conocemos alguna persona con esta patología y aunque no comprendamos la enfermedad, sabemos que es un trastorno crónico, irreversible, progresivo e incurable y que los efectos que produce en los/as pacientes que la sufren como para su familia y entorno son devastadores (al final el desarrollo de la enfermedad origina la incapacidad para poder llevar una vida normal). Esto es un grave problema que necesita respuestas en varios ámbitos, como la salud, servicios sociales, económicos, investigación, etc.

Tras hablar con mi tutor D. Jorge Sastre y comentarle mi propuesta me orientó por el tema que finalmente se desarrollará. “Nuevas tecnologías para terapias no farmacológicas para enfermedades neurodegenerativas” y realizarlo a través del sistema Soundcool, que es un software para la creación colaborativa musical y audiovisual con móviles y tablets. Creado por el grupo de artes performistas y tecnologías de la Universitat Politècnica de València. Soundcool es un sistema que trabaja para realizar terapias basadas en sonido 3D o binaural. Es un sistema modular que ha demostrado que permite crear prototipos de terapias y actividades colaborativas con música, sonido, imagen y video en pocos segundos. Consiste en un conjunto de módulos como players de audio, imágenes o video, efectos de audio y video, croma, mezcla de videos, etc. que pueden interconectarse entre sí, como si fuera un “LEGO” para sonido, música e imagen o video.

En estos últimos años, con el aumento del envejecimiento poblacional, los casos de personas con EA se han incrementado considerablemente, convirtiéndose en un grave problema para la sociedad en la que vivimos. Todavía, no existe un tratamiento que cure la enfermedad, por lo que los tratamientos, ya sean farmacológicos o no farmacológicos, su objetivo es mantener, el mayor tiempo posible, las capacidades cognitivas y funcionales del o la paciente.

La gravedad de este problema llevó a la OMS a crear *El Plan de acción mundial sobre la respuesta de salud pública a la demencia (2017-2025)* [1], este plan considera la demencia y, por tanto, la EA, como un problema de salud pública e insta a los gobiernos a crear iniciativas para cumplir con las necesidades de estos/as pacientes. Siguiendo con esta recomendación, en España se crea *El Plan Integral de Alzheimer y otras Demencias (2019-2023)* [2] del Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social para abordar las actuaciones sobre esta patología, ya que en general, en España no hay una cobertura y una respuesta a las necesidades sociales y sanitarias que necesitan estos/as pacientes. Si observamos la situación de las personas en España con EA podemos comprobar que es una realidad bastante triste, falta de ayudas económicas, sociales, de rehabilitación, etc., es decir lo que estos/as pacientes necesitan, no tiene nada que ver con la prestación de servicios que reciben.

Como se ha comentado anteriormente, es una enfermedad irreversible y que todavía no existe ningún tratamiento que la detenga, por eso es importante que la conozcamos y en la medida de lo posible se puedan disminuir sus efectos y ayudar a mejorar la vida de las personas que la sufren y, por tanto, también de las personas que los/as cuidan.

Con este TFG se quiere presentar una herramienta más para ayudar a través de la música a los/as pacientes con EA, ya que existe la evidencia de la utilidad de la música en la intervención con pacientes diagnósticos con EA y paliar los efectos de esta devastadora enfermedad (deterioro cognitivo, trastornos conductuales, etc.).

La música durante mucho tiempo se ha considerado como una herramienta terapéutica, también para trabajar con las personas con EA, pero ha sido en los últimos años cuando se ha visto gracias a estudios neurológicos, que la música se puede utilizar como una terapia para ayudar a los/as enfermos/as que sufren esta patología.

Este trabajo presenta dos prototipos de módulos como herramientas de intervención terapéutica para que finalmente se pueda trabajar con personas con EA en el entorno Soundcool.

Como veremos a lo largo del trabajo los/as pacientes con EA, entre otros problemas, tienen déficit de atención y, por lo tanto, problemas de concentración, lo que es fundamental para la memoria, la función ejecutiva y la comunicación, partiendo de este hecho y basándonos en los estudios y técnicas de la terapia musical neurológica se va a crear una herramienta que a través de estímulos auditivos <sup>1</sup> (producción de estímulos sonoros musicales que el o la paciente debe intentar localizar) trabajará la orientación espacial y la atención perceptiva para ayudar a estos/as pacientes a mejorar las habilidades de atención, concentración y la reorganización espacial.

La herramienta, que parte de la escucha pasiva, se podrá utilizar para trabajar con el musicoterapeuta y para que el/la paciente pueda jugar con los sonidos musicales moviéndolos libremente.

Las personas a las que irá dirigido nuestro trabajo serán personas con Alzheimer en fase leve o moderada, que no tenga muy dañada la capacidad auditiva, ya que se trata de identificar sonidos en una configuración espacial.

Para la realización de esta memoria, tras la exposición de la introducción, justificación y objetivos se propone una organización en tres grandes capítulos. El primer capítulo corresponde con los fundamentos teóricos del trabajo y se ha realizado a través de una búsqueda bibliográfica. Esta bibliografía principalmente está compuesta por otros Trabajos Fin de Grado y Máster, artículos de revistas y páginas webs de metabuscadores. Este marco teórico está dividido a su vez en dos partes principales: la primera dedicada a lo que es la EA (definición, como afecta al cerebro, síntomas, fases, causas, tratamiento, etc.), así como la música y la EA, mientras que la segunda aborda la localización del sonido. El segundo capítulo del TFG está dedicado a la parte empírica, es decir, al desarrollo del proyecto, instrumentos utilizados, procedimientos seguidos y obtención de resultados. En el tercer capítulo de esta memoria se han incluido unas conclusiones y propuesta de trabajo futuro. Para finalizar se han incluido las referencias bibliográficas consultadas para la realización del TFG.

La relación de este trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 es que parte de estos objetivos van dirigidos a las personas, a su bienestar, desarrollo, prosperidad, a garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades. Nuestro trabajo quiere ayudar a las personas con EA y para ello se han creado unas herramientas que les pueden ser útiles para trabajar la orientación espacial. Todo esto se podría enmarcar dentro del ODS 3 *Vida sana y promoción del bienestar*, principalmente en la parte de promoción del bienestar de las personas con EA y en el ODS 10 *reducir las desigualdades*. La Agenda 2030 quiere crear una sociedad comprometida con la discapacidad y por lo tanto también con la demencia y centrada en el cuidado de estas personas. Para ello, será necesario hacer un gran esfuerzo por parte de la sociedad y de los gobiernos diseñando políticas de prevención, mejorando el diagnóstico, fomentando la investigación...

Este Trabajo Fin de Grado forma parte del proyecto Polisabio (UPV-FISABIO). Terapias Alternativas basadas en Nuevas Tecnologías Audiovisuales para Enfermedades Neurodegenerativas en Distanciamiento Social COVID-19 (TANTAENDSCovid), y ha estado dirigido y supervisado por Soundcool.

*“La demencia se come el pensamiento del enfermo y a su vez destroza los sentimientos de los que lo quieren y lo cuidan”*

Dr. Nolasac Acarín Tusell<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Se parte de un estímulo musical (sonido instrumental), se ha comprobado que pacientes que no prestan atención a una señal verbal son capaces de centrarse más fácilmente ante un estímulo musical.

<sup>2</sup> Nolasac Acarín Tusell, médico español. Doctor en Medicina por la Universidad de Barcelona y especialista en Neurología, dedicado fundamentalmente a las enfermedades de Alzheimer y Parkinson

## Objetivos

La pregunta principal de la investigación de este trabajo fin de grado es la siguiente: ¿Cómo se puede crear una aplicación que utilice la localización espacial y que se pueda utilizar en las terapias de personas con EA? De esta pregunta principal se deriva las siguientes subpreguntas: 1) ¿Cómo debería ser dicha aplicación?, 2) ¿De qué forma se puede hacer una aplicación fácil de utilizar?, 3) ¿Se podía implementar el módulo dentro de alguna otra aplicación más grande?

La respuesta a la pregunta principal de la investigación necesita de una herramienta de planificación con el fin de establecer criterios coherentes y científicos por mediación de los siguientes objetivos:

### Objetivo general

- Elaborar un módulo que emplee la localización espacial y que se pueda utilizar como terapia musical neurológica en personas con EA.

### Objetivos específicos

- Conocer la Enfermedad de Alzheimer en la actualidad.
- Entender como la música afecta a nivel cerebral.
- Obtener información sobre la utilidad de la música en la EA.
- Conocer la terapia musical neurológica y como ésta puede ayudar a las personas con EA.
- Programar una aplicación en Max que sea funcional y fácil de utilizar.
- Entender el entorno Soundcool e introducir el módulo programado en él.

## Capítulo 1. Fundamentos teóricos

### 1.1 La Enfermedad de Alzheimer (EA)

#### 1.1.1 Breve historia y cronología de la EA

La información que se expone en este subapartado está extraída, principalmente, de *Hablemos del Alzheimer* (blog de la Fundación Pascual Maragall) [4].

Fue Alois Alzheimer (neurólogo y psiquiatra alemán) quien publicó en 1906 los resultados de un estudio realizado a Auguste Deter, una paciente de 50 años, con un cuadro clínico caracterizado por una pérdida de memoria que avanzaba rápidamente, alucinaciones, paranoias, desorientación tempore espacial... Al fallecer la paciente, Alois Alzheimer, estudio el caso y el cerebro de la mujer. El resultado que obtuvo de la autopsia que le realizó al cerebro de la mujer fue que la corteza cerebral estaba atrofiada, que tenía en el tejido nervioso ovillos neurofibrilares y depósitos proteicos.

Los síntomas sufridos por esta paciente son los que, más adelante, fueron reconocidos como la enfermedad que llevaría su nombre, Enfermedad de Alzhéimer (EA).

Posteriormente, sobre los años 50 la EA era considerada una patología propia de la mediana edad, cuando ésta aparecía en edades avanzadas, se le denominaba demencia senil. Fue en los años 70 cuando los científicos comenzaron a hablar de la EA como una causa de demencia que se daba frecuentemente en personas mayores, a pesar de esto la pérdida de memoria en estos años se consideraba, todavía, como algo propio de edad.

A lo largo de la historia de la EA y sus investigaciones, como veremos más adelante, se cree que la acumulación de las proteínas *beta-amiloide* y *tau* en forma de depósitos o placas son las que provocan la degeneración y la muerte de la neurona en un cerebro con EA. A partir de los años 80 las investigaciones con respecto al origen de estas proteínas aumentaron y fue cuando los científicos comenzaron a interesarse por su relación con el desarrollo de esta enfermedad. Es en los años 90 cuando los genes relacionados con la EA se identifican, estos genes son el de la proteína precursora de *beta-amiloide* (APP) y los que se comportan como factores de riesgo (APOE). A partir del año 2000 se produce un avance importante en las técnicas de imagen para el diagnóstico y la investigación de la EA, aumentando la utilización de técnicas de imagen por resonancia magnética. Es en 2004 cuando se presenta el primer radiotrazador (radiofármacos) para visualizar placas de *beta-amiloide* a través de tomografía por emisión de positrones (PET)<sup>3</sup>. Hasta el año 2010 las fases de la EA se describían en tres: leve, moderada y grave. A partir del 2010 en las fases de desarrollo de la EA se incluye la fase preclínica una etapa que se da 15 o 20 años antes de que aparezcan los síntomas de la EA.

En cuanto a la investigación de la prevención de la EA, en el año 2015 se crea el Consorcio EPAD<sup>4</sup>, una iniciativa importante, donde participan 36 instituciones europeas, desde laboratorios farmacéuticos y asociaciones de afectados hasta universidades, centros de investigación, donde está la Fundación Pascual Maragall.

*“Cuando recordar no pueda ¿dónde mi recuerdo irá?  
Una cosa es el recuerdo y otra cosa recordar”.*

Antonio Machado

---

<sup>3</sup> PET (tomografía de emisión de positrones) es una técnica diagnóstica no invasiva que permite tomar imágenes del organismo del o la paciente que muestran la actividad y el metabolismo de los órganos del cuerpo. [5]

<sup>4</sup> EPAD (European Prevention of Alzheimer’s Dementia Consortium), consorcio europeo que tiene como objetivo principal trabajar para la prevención del Alzheimer a través de un programa de investigación interdisciplinario [6]

### 1.1.2 Definición de la EA

Existen diferentes definiciones de la EA, a continuación, expondremos algunas de ellas.

Según:

- CIE 10<sup>5</sup>: La EA “es una enfermedad degenerativa cerebral primaria, de etiología desconocida, que presenta rasgos neuropatológicos y neuroquímicos característicos. El trastorno se inicia por lo general de manera insidiosa y lenta y evoluciona progresivamente durante un período de años”. [7]
- DSM V<sup>6</sup>. Según la American Psychiatric Association. *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5™* “Trastorno neurodegenerativo debido a la enfermedad de Alzheimer” [8]
- El documento de la Fundación Maragall *Claves sobre la enfermedad de Alzheimer* nos define la EA:

*“El Alzheimer es la causa más frecuente de demencia. Es una enfermedad que genera un deterioro cognitivo importante, caracterizado por la pérdida de memoria, alteraciones en el lenguaje, pérdida del sentido de la orientación y dificultades para la planificación de tareas o la resolución de problemas. Este deterioro suele acompañarse por cambios en la personalidad y el comportamiento. La capacidad de la persona para ser autónoma y llevar a cabo las actividades de la vida diaria va apagándose, de modo que en las fases más avanzadas necesitará ayuda y cuidados durante la mayor parte del día”* (p. 3). [9]

Estas palabras definen muy claramente que es la EA, enfermedad degenerativa (empeorara con el tiempo), con deterioro cognitivo (problemas de memoria, lenguaje, orientación...), con cambios de comportamiento (en ocasiones el o la paciente se vuelve agresivo, se aísla...), que a medida que pasa el tiempo todos estos síntomas se agravan, al principio los/as enfermos/as necesitaran supervisión en determinados momentos, pero se irá evolucionando de tal manera, que estas necesitarán cuidados continuos, con lo que ello supone para ellos/as y sus familias.

Existen dos tipos de EA:

- EA de inicio temprano: donde antes de los 60 años aparecen los primeros síntomas, es el tipo menos común y suele ser responsable de entre el 5 al 10% de los casos. Aunque esta clase de EA avanza muy rápidamente.
- EA de inicio tardío, puede aparecer en personas de 60 años o más, es el tipo más usual.

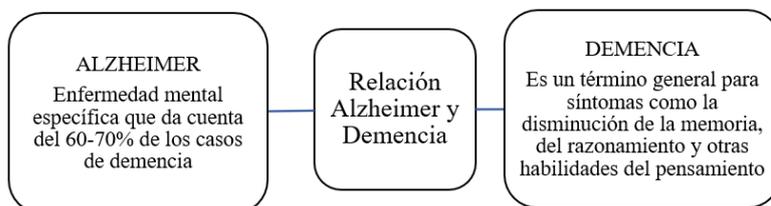
---

<sup>5</sup> Clasificación Internacional de Enfermedades

<sup>6</sup> El DSM-V<sup>1</sup> (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) es el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales de la Asociación Americana de Psiquiatría (American Psychiatric Association, APA).

### 1.1.3 Diferencia entre EA y Demencia

Alzheimer y demencia son conceptos diferentes, aunque relacionados, porque el Alzheimer es la principal causa de demencia. Según la OMS [10] la EA es el tipo más común de demencia (Ilustración 1).



**Ilustración 1. Diferencia entre EA y Demencia**

(Fuente: El Alzheimer: ¿qué es y qué consecuencias tiene?) [3]

Cuando se habla de demencia se está refiriendo a un conjunto de síntomas que afectan la capacidad cerebral, mientras que cuando se habla de EA se hace referencia a una enfermedad específica que entra en la categoría de demencia.

### 1.1.4 Epidemiología

La enfermedad de EA, que es, como hemos comentado anteriormente, la forma más común de demencia, ocupa entre un 60 y un 70% de los casos. En los próximos años se espera un crecimiento exponencial de las personas con EA y otras demencias. Según la OMS, cada 20 años se duplicará el número de personas afectadas y se prevé que el número total de personas con demencia alcance los 82 millones en 2030 y 152 millones en 2050. [10]

La OMS también recalca que la EA es una de las principales causas de discapacidad y dependencia entre las personas mayores, en este sentido es responsable del 11,9% de los años vividos con discapacidades por enfermedades crónicas.

Según el documento elaborado por la CEAFA<sup>7</sup> [11] *Alzheimer, 2020, Censo de las personas con Alzheimer y otras demencias en España. Fundamentación, metodología, datos disponibles, herramientas, aprendizajes y propuesta*, en España no se dispone de datos precisos sobre cuantas personas están afectadas de EA y otras demencias, pero los estudios realizados de prevalencia y epidemiológicos indican que es un porcentaje muy relevante de la población. También en la *Guía de Práctica Clínica sobre la Atención Integral de las Personas con EA y otras Demencias* (Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad) [12] habla de que la prevalencia de EA en nuestro país se sitúa alrededor del 6% en el grupo de mayores de 70 años y representa el 70% de las demencias. Se calcula que el número de personas afectadas en España supera las 700.000 y que en 2050 el número se duplicará acercándose a los dos millones de personas. Según esta Guía, la incidencia de la EA aumenta con la edad y parece ser mayor en mujeres

En el documento elaborado por la SEN<sup>8</sup>, el 21 de septiembre (día mundial del Alzheimer) en 2019, encontramos las siguientes declaraciones del Dr. Juan Forte (Coordinador del Grupo de Estudio de Conducta y Demencias de la Sociedad Española de Neurología, SEN):

*“La enfermedad de Alzheimer es la primera causa de demencia neurodegenerativa en el mundo y supone un problema sanitario de primer orden. Además, debido a que es una enfermedad cuya prevalencia aumenta exponencialmente a partir de los 65 años, ante el progresivo envejecimiento de la población española, urge el desarrollo de políticas*

<sup>7</sup> Confederación Española de Alzheimer (CEAFA), organización no gubernamental de ámbito nacional. (<https://www.ceafa.es/es>)

<sup>8</sup> SEN, Sociedad Española de Neurología (<https://www.sen.es/>)

*sanitarias destinadas a garantizar el adecuado diagnóstico y acceso a los tratamientos presentes y futuros en nuestro país, así como la puesta en marcha de registros nacionales que permitan precisar la verdadera prevalencia e incidencia del Alzheimer” (pp. 1-2) [13]*

Siguiendo con el mismo documento mencionado anteriormente (SEN 2019), cada año se diagnostican en España unos 40.000 nuevos casos de Alzheimer. Aunque se cree que el 80% de los casos de EA que aún son leves están sin diagnosticar y que entre el 30 y el 40% de los casos también lo estarían. Todo esto impide que se puedan establecer precozmente tratamientos farmacológicos y no farmacológicos con el fin de enlentecer el deterioro cognitivo y controlar los trastornos conductuales, pues hay fármacos que consiguen mantener durante un tiempo el estado neuropsicológico y funcional del paciente o la paciente.

En los diferentes estudios que se han realizado se presenta como principal factor de riesgo de la EA la edad, pero existen otros. En la tabla siguiente se pueden observar.

Factores de riesgo de demencia y enfermedad de Alzheimer conocidos			
		Modificable	No modificable
<b>Demográficos</b>	Edad		×
	Sexo		×
	Escolaridad	×	
<b>Genéticos</b>	PSN1, PSN2, ApoE ε4		×
<b>Médicos</b>	Diabetes	×	
	Obesidad	×	
	Hipertensión	×	
	Pérdida de audición	×	
	Depresión	×	
<b>Estilo de vida</b>	Tabaco	×	
	Alcohol	×	
	Actividad física	×	
	Dieta	×	
	Actividad intelectual	×	
	Interacción social	×	
<b>Reducción del riesgo atribuible</b>		35%	65%

**Tabla 1. Factores de riesgo de la demencia y EA conocidos**

(Fuente: Garre-Olmo J. *Epidemiología de la enfermedad de Alzheimer y otras demencias*) [14]

En la Tabla 1, podemos observar que la edad no es el único factor de riesgo. La EA es una patología de origen multifactorial, condicionada por factores genéticos, ambientales y también influyen otros como la hipertensión arterial, la obesidad, el sedentarismo, el tabaquismo o la diabetes. En la tabla se pueden ver que algunos de estos factores son modificables, por lo que si se controlan se puede reducir el riesgo de padecer esta enfermedad. Según la SEN (día mundial del Alzheimer 2019) con el control de estos factores modificables se podría prevenir entre 1 y 3 millones de casos en el mundo.

Otro aspecto importante en relación con esta enfermedad es el desconocimiento y el miedo que la población tiene respecto a ella, en relación con esto, el Dr. Fortea señala que:

*“Aumentar el grado de conocimiento de la enfermedad de Alzheimer es fundamental no solo para que la población pueda adoptar medidas que puedan ayudar a prevenir el deterioro cognitivo: aquellas personas con mayor conocimiento de la enfermedad están más capacitadas para identificarla precozmente y buscar un tratamiento. Esto*

*es algo importantísimo porque estimamos que en España más el 50% de los casos que aún son leves (formas prodrómicas) están sin diagnosticar” [15]*

Dentro de la EA debemos tener en cuenta la llamada “*Reserva Cognitiva*”, que se basa en que las personas con mayor capacidad cognitiva natural y adquirida (cociente intelectual, cultura, estudios académicos, participación en actividad intelectuales...) presenta la enfermedad más tarde que los sujetos con “menor reserva cognitiva”, a igual cantidad de lesiones histopatológicas cerebrales típicas de la EA presentes en sus cerebros. También en el artículo Rodríguez Álvarez, Marina y Sánchez Rodríguez, Juan Luis (2016) *Reserva cognitiva y demencia* (p.175) [16] explica que la evidencia epidemiológica sugiere que las personas con mayor coeficiente intelectual, educación, logro, ocupaciones.... tienen menos riesgo de desarrollar EA.

### 1.1.5 El cerebro de las personas con EA<sup>9</sup>

Según la Alzheimer’s Association [18], los científicos no están seguros de dónde comienza el problema, pero creen que la enfermedad impide que el cerebro continúe fabricando células que funcionen correctamente.

En la EA se produce un daño lento y continuo de las diferentes partes del cerebro, se piensa que este daño afecta a las neuronas y es el resultado de los dos procesos que se dan en el cerebro de las personas con EA. Uno relacionado con una proteína denominada *beta-amiloide* y el otro es por una proteína denominada *tau* (Ilustración 2).



**Ilustración 2. Neuronas, proteína AB y Tau**

(Fuente: Comprender la enfermedad de Alzheimer (Understanding Alzheimer's Disease) [18])

En el proceso relacionado con la *Aβ*, esta proteína comienza a acumularse en el interior del cerebro.

La *Aβ* se produce en el cerebro de todas las personas, pero en las personas sanas el organismo la elimina antes de que cause daño, en el cerebro de las personas con EA, la *Aβ* se aglutina en grupos cada vez más grandes y se forma lo que se denominan placas (las placas son depósitos de un fragmento de proteína llamado *beta-amiloide*, que se acumula en los espacios entre las células nerviosas), con el transcurso del tiempo las placas comienzan a formarse en más partes del cerebro, algunas de las cuales son responsable del aprendizaje, la memoria y otras tareas.

El segundo proceso involucra a la proteína *tau*, aproximadamente 15 años antes de que aparezcan los síntomas.

En circunstancias normales, la proteína *tau* desempeña un papel beneficioso para el cerebro, sin embargo, en las personas con EA esta proteína sufre una alteración y forma ovillos dentro las neuronas. Los ovillos son fibras retorcidas de la proteína *tau*, que se acumula dentro de las células.

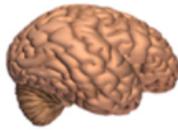
<sup>9</sup> La información de este apartado ha sido extraída del video *Comprender la enfermedad de Alzheimer* (Understanding Alzheimer's Disease) [18]



Con el tiempo, los procesos que involucran a las proteínas  $A\beta$  y  $\tau$  pueden producir daños en las neuronas. Este daño afecta progresivamente a las distintas regiones del cerebro y esto conduce a la aparición de la EA.

La EA cambia el aspecto del cerebro.

Cerebro sano



Cerebro con Alzheimer



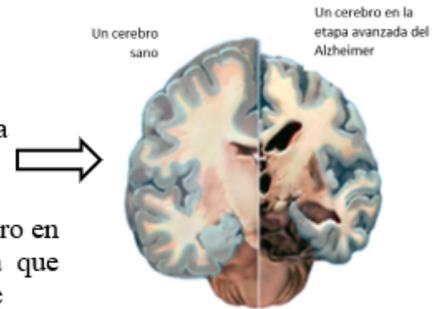
Comparación uno y otro. Se observa cómo cambia totalmente en la etapa avanzada del Alzheimer.

Lo que ocurre en el cerebro de la persona con Alzheimer<sup>9</sup> es que:

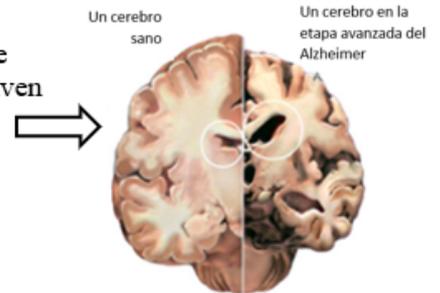
- La corteza se encoge, dañando las áreas del cerebro usadas para pensar, planear y recordar.



- El encogimiento es especialmente severo en el hipocampo, un área de la corteza que juega un papel clave en la formación de nuevos recuerdos.



- Los ventrículos (espacios llenos de líquido dentro del cerebro) se vuelven más grandes.



### Ilustración 3. La EA cambia el aspecto del cerebro

(Fuente: *El Alzheimer y el Cerebro* | Portal Español de la Alzheimer's Association) [20]

En la Ilustración 3 se puede ver como a medida que avanza la enfermedad el cerebro se deteriora y su aspecto cambia totalmente.

### 1.1.6 Sintomatología

La EA no es una parte normal del envejecimiento, sino que es el resultado de diferentes cambios que se producen en el cerebro que se dan años antes de que aparezcan los síntomas, estos cambios originan la pérdida de neuronas y sus conexiones.

La destrucción de las células nerviosas, llamadas neuronas, produce una disminución de los neurotransmisores, el equilibrio de estos es esencial para el correcto funcionamiento del cerebro. Los tres neurotransmisores más comunes afectados por la EA son los que se reflejan en la Tabla 2.

NEUROTRANSMISORES AFECTADOS POR LA EA	
<b>ACETILCOLINA</b>	Se asocia al deterioro cognitivo, principalmente a los problemas de memoria
<b>SEROTONINA</b>	Sustancia cerebral implicada en funciones psíquicas, afectivas, cognitivas, emocionales, ritmo cardíaco, sueño.... Todas ellas afectadas en la EA
<b>NOREPINEFRINA</b>	Esta sustancia es liberada cuando una serie de cambios fisiológicos son activados por un suceso estresante. La norepinefrina ayuda a proteger a las neuronas de factores que matan células y aceleran la EA, como la inflamación y la estimulación excesiva de otros neurotransmisores

Tabla 2. Neurotransmisores afectados por la EA. [19]

Como se ha descrito en el apartado anterior y según Alzheimer's Association, las áreas del cerebro más afectadas son:

- La corteza, se deteriora el pensamiento, la memoria, la capacidad de razonamiento y otras funciones ejecutivas.
- El hipocampo, de tal manera que el/la paciente es incapaz de almacenar nueva información.
- Los ventrículos, se expanden, y son espacios llenos de líquido.

En la siguiente tabla se describen cuáles son las zonas cognitivas más afectadas por la EA y que sintomatología presenta sea afectación.

FUNCIONES COGNITIVAS AFECTADAS EN LA EA	SINTOMATOLOGÍA
<p><b>Memoria:</b> la información aprendida se almacena, las experiencias vividas, para después poderlas recuperar.</p> <p>Memoria episódica (información sobre hechos y sucesos vividos), semántica (conocimientos generales), procedimental (secuencia de procesos aprendidos que podemos realizar incluso de forma automática, sin pensar cada acto)</p>	<p>La pérdida de memoria de los hechos recientes es el síntoma más frecuente y típico de la enfermedad de EA. El deterioro amnésico es característico de la enfermedad.</p> <p>Agnosia táctil en etapas tempranas se puede presentar</p> <p>En etapa avanzada, el daño cortical de regiones posteriores da origen al componente prosopagnóstico<sup>10</sup> (primero se ve una falta en reconocer rostros no familiares, luego rostros familiares e incluso llega a no reconocerse el mismo)</p>
<p><b>Lenguaje:</b> signos sonoros o escritos que codifican ideas u objetos. Expresar de forma correcta y con sentidos conceptos</p> <p>Comprender dentro de un contexto los conceptos.</p> <p>Relacionar a los individuos, objetos, etc. con sus nombres</p> <p>Vocabulario diverso</p> <p>Escritura correcta según las reglas gramaticales y lectura con capacidad de comprensión verbalización del texto.</p>	<p>Se aprecia una disminución de la fluidez verbal (dificultades de búsqueda en la memoria semántica), circunloquios....</p> <p>Se presentan dificultades para hablar (expresión) o entender lo que se le explica (comprensión)</p> <p>La pérdida de vocabulario dificulta la expresión del lenguaje, utilizan palabras comodín (eso, aquello...), pierde el hilo de lo que decía y le puede costar entender las cosas.</p> <p>Alteraciones relacionadas con el lenguaje como la apraxia o la incapacidad de generar de manera voluntaria movimientos o gestos con diversas partes del cuerpo, como la boca</p>
<p><b>Orientación y habilidad visoespaciales.</b> Capacidad de ser conscientes del propio “yo” y del entorno que no rodea en cada momento.</p> <p>Reconocimiento de uno mismo y de la historia personal</p> <p>Consciencia del momento que se está viviendo (días, mes, año, estaciones...)</p> <p>Reconocimiento del entorno (de dónde se viene, dónde se encuentra, a dónde se dirige...)</p>	<p>Las personas con EA pueden tener dificultades para saber el día, el mes, la estación del año... en que se encuentra.</p> <p>Dificultades para orientarse en el espacio (saber por dónde se va, primero lugares conocidos y más adelante también en casa)</p> <p>Problemas con las relaciones espaciales.</p>
<p><b>Funciones ejecutivas:</b> procesos cognitivos necesarios para planificar, organizar y regular el comportamiento necesario para adaptarse al entorno y para alcanzar determinados objetivos</p> <p>Razonamiento, concentración y toma de decisiones</p>	<p>Puede presentar dificultad para realizar tareas complejas, bien porque no las acabe, las haga mal o porque tarde mucho más tiempo en hacerlas, con el tiempo las dificultades afectan a los trabajos más simples</p>
<p><b>FUNCIONES CONDUCTUALES O PSIQUIÁTRICAS AFECTADAS EN LA EA</b></p>	<p>Trastornos psicóticos: ideas delirantes, alucinaciones, agresividad y alucinaciones</p> <p>Síntomas depresivos</p> <p>Ansiedad, trastornos de comportamiento y cambios de personalidad</p>
<p><b>ACTIVIDADES FUNCIONALES AFECTAS EN LA EA</b></p>	<p>Alteraciones del sueño, apetito, deglución</p> <p>Problemas motores, síntomas extrapiramidales rigidez marcada, trastornos de la marcha y bradicinesia (movimientos lentos)</p>

**Tabla 3. Funciones afectadas por la EA y síntomas que producen**  
(Fuente: para la elaboración de esta tabla se ha tenido en cuenta la diferente bibliografía consultada)

<sup>10</sup> Prosopagnosia hace referencia a la imposibilidad de percibir, reconocer e identificar la cara de personas conocidas. El/la paciente sabe que lo que está viendo es una cara, pero ha perdido la conexión entre lo que ve y la parte de la memoria que se dedica a la identificación [21]

En la Tabla 3 se reflejan las funciones que tienen afectadas las personas con EA y que sintomatología producen en el o la paciente.

### 1.1.7 Causas de la EA

Según la Web [alzheimers.gov](http://alzheimers.gov) en su apartado *¿Qué es la enfermedad de Alzheimer? Causas* [22], nos dice que aún no se comprenden totalmente las causas de esta enfermedad, aunque posiblemente es que sea una combinación de:

1. **Cambios en el cerebro** relacionados con la edad; encogimiento, daños en los vasos sanguíneos, inflamación y una menor producción de energía dentro de las células, lo cual puede dañar las neuronas y afectar otras células cerebrales. Actualmente, se cree que, de manera muy precoz, años antes del inicio de la sintomatología, dos proteínas se depositan en el cerebro, la *beta-amiloide* y la *tau*. Todavía no está muy claro cuál es papel de estas proteínas en la EA, aunque en su gran mayoría, los investigadores piensan que su depósito obstaculiza el normal funcionamiento de las neuronas, dificultando la correcta comunicación entre ellas y, por lo tanto, el normal procesamiento de la información, todo esto contribuye a la degeneración y finalmente a la muerte neuronal.
2. **Cambios o diferencias en los genes**<sup>11</sup>, que podrían ser hereditarios. Existen algunos genes que de alguna manera se pueden relacionar con la EA
3. En los **casos considerados genéticos** (son poco frecuentes) se cree que la causa de la enfermedad es una alteración genética en uno de los siguientes tres genes: el gen de *presenilina 1 (PSEN1)*, *presenilina 2 (PSEN2)* o *proteína precursora de amiloide (APP)*. Cuando se dan mutaciones en estos genes se provoca una alteración en el metabolismo de la proteína amiloide y un depósito muy precoz de esta proteína.
4. **Factores de salud, ambientales y de estilo de vida**, que pueden intervenir de alguna forma; algunos ejemplos son exposición a contaminantes, enfermedades cardíacas, obesidad, diabetes...

### 1.1.8 Fases de la EA

En la bibliografía consulta se han encontrado diferentes clasificaciones en cuanto a las fases por las que pasa una persona con EA. La diferencia principal entre unas y otras radica en que mientras que para unos la fase inicial de la enfermedad comienza cuando ya hay algún síntoma, otros opinan que existe una fase preclínica donde, aunque no haya ningún signo, ya comienza el desarrollo de la EA.

---

<sup>11</sup>Según Alzheimer's Disease International, hay más de 20 genes que afectan el riesgo de que una persona desarrolle demencia. Por ejemplo, el gen APOE, fue el primero del que se supo que aumenta el riesgo de desarrollar EA, y sigue siendo el gen de riesgo más conocido ([https://www.enterarse.com/20211005\\_0001-el-alzheimer-que-es-y-que-consecuencias-tiene](https://www.enterarse.com/20211005_0001-el-alzheimer-que-es-y-que-consecuencias-tiene))

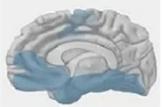
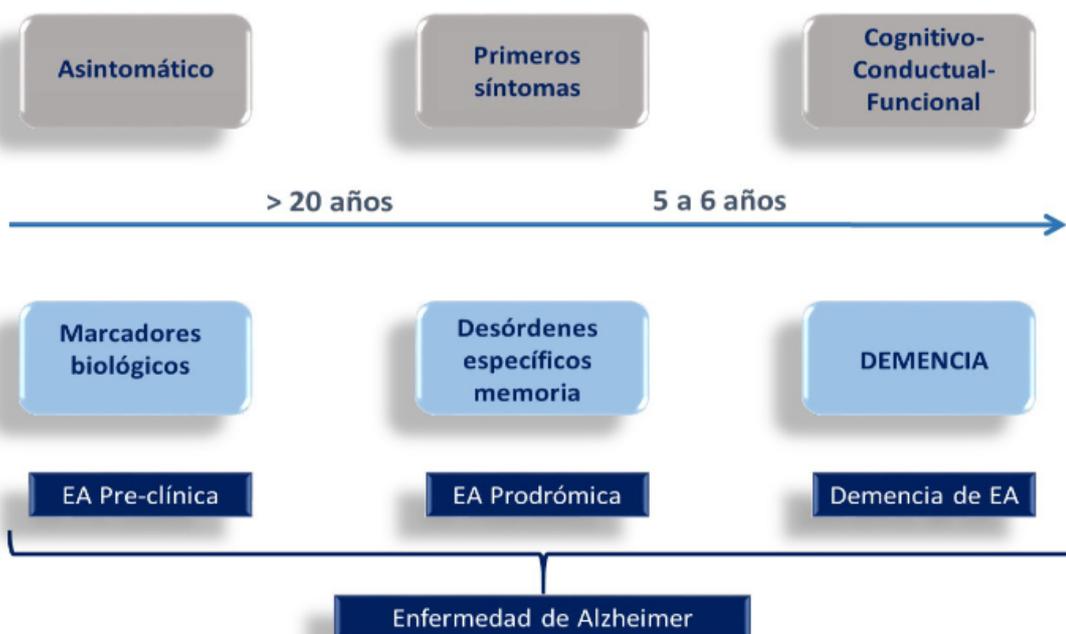
ETAPA	ALTERACIONES				Y
	MEMORIA	LENGUAJE	COORDINACIÓN	ACTIVIDADES COMPORTAMIENTO	
<b>INCIPIENTE</b>	No produce sintomatología. Sin embargo, la fisiopatología de la enfermedad está en marcha, las lesiones se están produciendo, pero no en la intensidad y cantidad suficientes como para ser reconocibles mediante la entrevista clínica, la exploración neuropsicológica o por observadores				
<b>LEVE</b>	Fallos de memoria, olvida citas y nombres de personas	Problemas para encontrar las palabras precisas  Mezcla de ideas	Se viste y come solo  Solo esta afecta por la pérdida de memoria	Cambios de humor  Tendencia a aislarse  Apatía  Retraimiento  Puede vivir de forma independiente  En esta fase el/la paciente es consciente de su situación	
<b>INTERMEDIA O MODERADA</b>  Etapa más larga de todas  Los daños ocurren en áreas del cerebro que controlan el lenguaje, razonamiento, procesamiento sensorial y pensamientos conscientes.	Olvida sucesos recientes  No asimila hechos nuevos  Persiste el recuerdo de hechos lejanos mal situados en el tiempo	La comunicación se enlentece, habla menos, vocabulario empobrecido.  Repite las mismas frases	Pierde el equilibrio, caídas frecuentes  Movimientos más lentos  Contracturas musculares	Pierde cosas  Se pierde  Reacciones violentas y desproporcionadas  Cuanto más depende más se irrita  Ideas delirantes  Depresión  Insomnio  Agitación  Va perdiendo autonomía	
<b>FINAL/ GRAVE / SEVERA</b>  En esta etapa, la mayoría de la corteza está seriamente dañada. El cerebro se encoge dramáticamente	Pérdida completa de la memoria	Afasia grave  Limitada capacidad comunicativa, pueden emitir palabras y algunas frases, pero carecen de coherencia, finalmente progresa a mutismo	Apraxia grave  No controla sus gestos  No sabe levantarse, sentarse o andar  Le cuesta trabajo tragar  Pérdida del control de esfínteres	Permanece en cama  Humor imprevisible  Agitación verbal y física  Insomnio  Dependencia absoluta	

Tabla 4. Fases de la EA

En la tabla 4, se ha querido reflejar las diferentes etapas por las cuales pasa la EA, teniendo en cuenta diferente bibliografía consultada para realización de este Capítulo.

En relación también con las fases de la EA (Ilustración 4) en el artículo de revisión *Evolución histórica del concepto y criterios actuales para el diagnóstico de demencias* de Custodio, Nilton y Montesinos, Rosa (2018), encontramos otra clasificación y nos dice:

“La EA es un continuum que se inicia con el depósito de placas de amiloide y ovillos neurofibrilares, durante el cual se denomina EA preclínica; que evolucionará en el curso de los años hacia EA prodrómica, cuando empiezan los primeros problemas de memoria episódica, y posteriormente llega a demencia de EA (cuando se compromete la funcionalidad), en sus diversos estadios: leve, moderado y severo” p. 243. [23]



EA: Enfermedad de Alzheimer

\*Modificado de Dubois B, Feldman HH, Jacova C, Cummings J, DeKosky ST, Barberger-Gateau P, et al. Revising the definition of Alzheimer's disease: a new lexicon. *Lancet Neurol* 2010; 9(11): 1118-1127.

#### Ilustración 4. Fases de la EA, desde el depósito de placas seniles y ovillos

(Fuente: Custodio Nilton y Montesinos, Rosa (2018). *Evolución histórica del concepto y criterios actuales para el diagnóstico de demencias*, p. 242) [23]

También el Instituto Nacional de Envejecimiento (NIA, en inglés National Institute on Aging) introdujo el concepto de EA preclínica, etapa que se presenta antes de hacerse evidente el DCL (deterioro cognitivo leve) y las etapas avanzadas de la EA.

Con respecto a las personas con EA, se dice que padecen una involución cognitiva, es decir, van pasando por estadios progresivos de una manera inversa a la evolución normal. En las personas que padecen EA, se habla que sufren una involución cognitiva, pasando por unos estadios progresivos de manera inversa al desarrollo de una persona (retrogénesis<sup>12</sup>)

Las fases de la enfermedad que se han descrito hasta ahora no especifican con detalle todo el proceso por el cual se pasa hasta llegar a la fase terminal, para ello se cuenta con la escala GDS (Global Deterioration Scale<sup>13</sup>, o escala de deterioro global), con esta escala se pueden especificar muchos más detalles de la enfermedad. Existen otras escalas que también se usan con cierta frecuencia en investigaciones, por ejemplo, la CDR (Clinical Dementia Rating<sup>14</sup>).

<sup>12</sup> La EA se ha relacionado de forma inversa con el desarrollo infantil. Mientras el niño va adquiriendo capacidad de forma progresiva y ordenada, las personas con EA las va perdiendo, también de formas más o menos ordenada.

<sup>13</sup> GDS (Global Deterioration Scale), o escala de deterioro global, descrita en el año 1982 por Barry Reisberg y sus colaboradores, del Centro Médico de la Universidad de Nueva York

<sup>14</sup> Clinical Dementia Rating, fue desarrollada en 1982 por la Universidad de Washington por Hughes y sus colaboradores

Como se ve en la ilustración 5, J. Peña-Casanova (1999) *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia: conceptos y hechos* [24] la escala GDS establece una distinción de 7 fases, que van desde la normalidad hasta los estadios más avanzados de la EA. Es importante aclarar que las fases 1 y 2 de esta escala no se refieren a la EA, se trata solo de adultos normales (GDS 1) y de adultos normales de más edad (GDS 2) (Ilustración 5).

Capacidades del cerebro	Fases de la enfermedad				
	GDS 3	GDS 4	GDS 5	GDS 6	GDS 7
Memoria episódica reciente					
Memoria episódica remota					
Memoria semántica (conocimientos)					
Resolución de problemas, juicio, creatividad					
Personalidad. Comportamiento					
Orientación					
Lenguaje					
Lectura-escritura					
Reconocimiento de objetos					
Manipulación de objetos					
Control de orina y defecación					
Capacidades motoras básicas					
Conciencia					
Latido del corazón					
Respiración					
	Límbico discreto	Límbico grave y neocortical discreto	Límbico grave neocortical posterior moderado	Límbico grave neocortical posterior grave	Límbico grave y neocortical posterior y anterior grave
	<b>Zonas cerebrales lesionadas</b>				

En la imagen se puede observar la evolución de las lesiones y de los trastornos de los/las pacientes. A medida que avanza la enfermedad (del GDS 3 al GDS 7) y como se van viendo afectadas la capacidad cerebral. La intensidad de los colores indica el grado de afectación

**Ilustración 5. Fases de EA según la GDS**

(Fuente: J. Peña-Casanova. 1999. *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia: conceptos y hechos.*, pp 49) [24]

### 1.1.9 Criterios de diagnóstico de la EA

En este apartado se expondrán algunos de los métodos que se utilizan en el proceso de diagnóstico de la EA.

J. Peña Casanova (1999) en su trabajo *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia conceptos y hechos* [24], expone 7 pasos en la aproximación clínica en la valoración de una persona con EA (basados en Brouchard y Rossor 1996). Estos siete pasos son los que se muestran en la Tabla 5.

<b>Historia médica general</b>	El médico considera la posibilidad de enfermedades de base (hipertensión, diabetes, enfermedades del corazón...) que pueden afectar las capacidades mentales
<b>Historia neurológica general</b>	El médico investiga antecedentes neurológicos que puedan producir la EA
<b>Historia neuroconductual</b>	El médico debe conocer todos los cambios acontecidos en las capacidades mentales de los/as pacientes: la memoria, la orientación, el lenguaje, etc.
<b>Historia psiquiátrica</b>	Importante para la evaluación de una posible demencia o de una demencia claramente establecida
<b>Historia de tóxicos, fármacos y alimentos</b>	La posibilidad de que se utilicen fármacos que afecten a las capacidades cognitivas del o la paciente es otro punto que hay que considerar
<b>Historia familiar</b>	La existencia de una historia familiar de demencia puede tener importancia en la evaluación global del caso
<b>Exploración física. objetiva, neurológica y neuropsicológica</b>	En este apartado se incluye la exploración física general, la exploración neurológica y la neuropsicológica y la emocional

**Tabla 5. Pasos para valoración clínica de la EA**

(Fuente: Peña-Casanova, J. 1999. *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia: conceptos y hechos*. p. 64)

[24]

Para la mayoría de los expertos, en primer lugar, se debe hacer un diagnóstico específico de la EA, generalmente a través de criterios diagnósticos clínicos mediante los criterios del Manual Diagnóstico y Estadístico de las Enfermedades Mentales en su V edición (DSM V, en inglés Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) o de la Clasificación Internacional de las Enfermedades (CIE 10); o más específico mediante los criterios de Dubois o los criterios del NIA y la AA (NIA-AA)

En el artículo de revisión de Barrera-López, Francisco Javier, et al (2018) *Diagnóstico Actual de la Enfermedad de Alzheimer* [25] se revisan los criterios diagnósticos del DSM V y CIE-10, así como los criterios más recientemente establecidos (Dubois y NIA-AA). Utilizando como fuente este artículo se ha realizado un resumen sobre los criterios de diagnóstico para la EA y se han plasmado en la tabla siguiente:

<b>Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE)</b>	Estos criterios se basan principalmente en el deterioro de la memoria y el pensamiento suficiente para interferir en la vida cotidiana como requisito primordial para el diagnóstico, pero llegando a los límites de una dismnesia <sup>15</sup> al afectar a otras funciones cognitivas. Actualmente, está en desarrollo la CIE-11
<b>Criterios del DSM V</b>	Los síntomas estudiados para el diagnóstico serán: atención, función ejecutiva, aprendizaje, memoria, lenguaje, funciones visuoperceptivas, visuconstructivas y cognición social.
<b>Nuevos Criterios de Dubois<sup>16</sup></b>	<p>Los criterios de Dubois son criterio en concreto para la EA. Como eje clínico central debe haber un trastorno de la memoria episódica inicial y que ésta sea progresiva y gradual, demostrándose por medio de pruebas neuropsicológicas, y que estas pruebas puedan estar acompañadas de otras alteraciones cognitivas, además de la alteración de la memoria. También debe haber por lo menos uno o más de los siguientes criterios: atrofia temporal medial por RM, perfil de biomarcadores en LCR, alteraciones características de neuroimagen funcional con PET o evidencia de mutación autosómica dominante en un familiar de primer grado. La ventaja de estos nuevos criterios es que incluyen estudios de biomarcadores, así como de imagen específicos para la EA, como por ejemplo la PET</p> <p>A diferencia de la CIE o el DSM, este grupo sí clasifica dentro de la EA los diferentes estados presintomáticos de la enfermedad</p>
<b>National Institute of Neurological and Communicative Disorders, NINCDS-ADRDA<sup>17</sup> de EA</b>	<p>En 2011 se actualizaron los criterios NINCDS-ADRDA, de 1984, dando origen a los criterios del NIA-AA. La NIA-AA incluye criterios nucleares para cualquier tipo de demencias cuando se presentan síntomas cognitivos o conductuales que interfieren con la capacidad de funcionar normalmente en el trabajo o en las actividades habituales, se da un deterioro con respecto al rendimiento o las funciones previas; los síntomas no se explican por la presencia de delirio o trastorno psiquiátrico mayor, los síntomas se corroboran con la historia clínica y una valoración objetiva del estado mental y la alteración cognitiva o conductual involucra al menos los siguientes aspectos: capacidad alterada de adquirir o recordar nueva información, alteración o cambios en el razonamiento, manejo de tareas complejas o capacidad de juicio, alteración en las capacidades perceptivas y visuoespaciales, alteración en las funciones del lenguaje y cambio de personalidad o en el comportamiento.</p> <p>Todo ello implica también que hay que cumplir los criterios de EA probable: a) inicio insidioso, b) historia de empeoramiento cognitivo progresivo referido u observado, c) el déficit inicial y más prominente puede seguir un patrón de presentación amnésico o no amnésico</p> <p>Las guías de diagnóstico más recientes (2011) de la National Institute on Aging Alzheimer Association también incluyen biomarcadores para el proceso fisiopatológico de la EA</p>

**Tabla 6. Criterios diagnósticos de la EA**

(Fuente: Barrera-López, Francisco Javier, et al. *Diagnóstico Actual de la Enfermedad de Alzheimer* [25] y Rojo Martínez, Esther. 2013. *Enfermedad de alzheimer. Nuevos criterios diagnósticos e implicaciones en la práctica clínica* [25a])

<sup>15</sup> Trastorno cualitativo de la memoria, que se caracteriza por la dificultad específica para fijar, asociar o evocar información, con olvido de nombres, fechas, rostros, etc. [26]

<sup>16</sup> En años recientes se han publicado dos conjuntos de criterios que han supuesto una verdadera puesta al día del diagnóstico de la demencia y la EA. Son los denominados criterios de Dubois et al y la actualización de los criterios NINCDS-ADRDA, que fueron revisados en 2011 y constituyen ahora los denominados criterios NIA-AA [25]

<sup>17</sup> El profesor McKhan en 2011, actualizó los criterios del National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Stroke and the Alzheimer's Disease and Related Disorders Association (NINCDS-ADRDA) de 1984 de su misma autoría. El grupo dirigido por McKhan planteó una puesta al día de los criterios NINCDS-ADRDA. La propuesta surge del trabajo conjunto de grupos pertenecientes al National Institute Of Aging estadounidense (NIA) y la Alzheimer's Association (AA) [25]

En la tabla anterior con respecto a la CIE, presenta la limitación de que, al haberse diseñado como una clasificación de enfermedades, no se contemplan los estadios preclínicos previos a la demencia, también ocurre esto en los Criterios DSM V, ya que al ser una clasificación de enfermedades tampoco incluye los estadios preclínicos, pero sí contempla un estado patológico de predemencia. Siguiendo con la tabla anterior, la diferencia entre los criterios de Dubois y NIA-AA es que en los de NIA-AA hay una mayor importancia clínica, ya que concede una gran consideración al examen neuropsicológico de diversos ámbitos cognitivos, a la exploración psicopatológica y a la valoración funcional y no solo a la alteración de la memoria. En los criterios de Dubois, según algunos expertos, propone pruebas tecnológicas muy sofisticadas, que pueden llegar a ser inalcanzables desde el punto de vista económico para las/os pacientes. Se debe mencionar que para los criterios NIA-AA se utilizan biomarcadores (como Dubois), estos únicamente apoyan el diagnóstico, pero no es imprescindible su empleo.

Resumiendo todo lo anterior, se puede decir que los criterios diagnósticos de la EA, tienen un componente importante que es la información clínica, pero también es necesario establecer una definición biológica de la enfermedad, basa en biomarcadores que reflejen la neuropatología subyacente. Para muchos investigadores en una patología tan compleja como la EA, los biomarcadores pueden ser de gran ayuda para el diagnóstico temprano de la enfermedad.

En cuanto al diagnóstico precoz de la EA, este es de gran importancia, ya que ayudará a detectar la enfermedad de forma mucho más precoz, así lo explica el artículo de revisión denominado *Diagnóstico precoz de la enfermedad de Alzheimer: fase prodrómica y preclínica* de Valls Pedret, Cinta, Molinuevo, José Luis y Rami, Lorena (2010) [\[27\]](#). Las investigaciones de biomarcadores específicos para la EA han adelantado y perfeccionado el tiempo de diagnóstico. El diagnóstico precoz en la EA permitirá construir planes a largo plazo tanto en el tratamiento de la persona con EA, como en el apoyo emocional, económico y físico de sus cuidadores. Para muchos investigadores una manera para luchar y sobrellevar la enfermedad es la información, y una detección precoz de ésta conllevará ventajas para ir un paso por delante y prever mejor las actuaciones a seguir.

#### ***1.1.9.1 Posibles pruebas para la detección de la EA***

Para la realización de un diagnóstico claro es necesario crear un plan de tratamiento. En la tabla siguiente se exponen algunas de las pruebas que se pueden utilizar para la detección de la EA y también en la Ilustración 6.

<b>Prueba con biomarcadores</b> <sup>18</sup>	Dos proteínas, la <i>beta amiloide</i> y la <i>tau</i> , que se encuentran en el cerebro de las personas con EA, se pueden medir en el líquido cefalorraquídeo (para poder analizarlo previamente es necesario obtener una muestra a través de una punción lumbar <sup>19</sup> )	Se miden las proteínas que se acumulan en el cerebro de los/as pacientes: la proteína $\beta$ -amiloide y las proteínas tau y tau fosforilada.
<b>Diagnóstico por imágenes del cerebro (neuroimagen).</b>	Imágenes por tomografía computarizada de la cabeza	La exploración por tomografía computarizada (TC), combina un equipo de rayos X especial con computadoras sofisticadas para producir múltiples imágenes del interior de la cabeza
	Resonancia magnética	Permite evaluar si hay una pérdida relevante de neuronas en las áreas típicamente afectadas por la EA. La imagen por RM de forma tradicional permite identificar atrofia cortical en especial en los lóbulos temporales, dato indicativo de probable inicio de la enfermedad. Las nuevas técnicas como la RM funciona (RM f) permiten identificar cambios sutiles en el tejido neural a nivel microscópico, como daño celular, pérdida de la integridad de los axones, desmielinización y otros cambios cerebrales.
	PET <sup>20</sup> . Tomografía por emisiones de positrones	Aplica sustancias las cuales tiene una pequeña dosis de radioactividad para estudiar el metabolismo neuronal (PET de glucosa) o el depósito de amiloide (PET de amiloide). En la investigación el PET, se utiliza para cribado de la EA y otros E. neurodegenerativas en personas asintomáticas y para el seguimiento de la respuesta terapéutica en los ensayos clínicos.
	Tomografía computarizada por emisión de un solo positrón (SPECT)	Ayuda a diferenciar la enfermedad de Alzheimer de otros tipos de demencias
<b>Evaluación cognitiva</b>	Se están utilizando tecnología para desarrollar software para evaluaciones computarizadas que detecten cambios cognitivos y puedan ser útiles en el diagnóstico precoz de la EA	Son test para valorar de manera objetivo la alteración cognitiva que presenta el o la paciente. El test de criba más utilizado en el mundo es el Minimal State Examination (MMSE)
<b>Análisis de sangre</b>	Se evalúan parámetros de salud general que pueden afectar a la función cognitiva.	En la actualidad, no hay ninguna determinación en la sangre que sea fiable para confirmar el diagnóstico de la EA
<b>Pruebas genéticas</b>	Solo se realizan en los casos en que se sospecha de una forma genética de la enfermedad.	Por ejemplo, el test de Bocross, existen varios tipos de estos test, pero este es el más utilizado

**Tabla 7. Pruebas para detección de la EA**

(Fuente: [4], [17] y [30])

<sup>18</sup> Un biomarcador es aquello que se puede utilizar como indicador de la presencia de una enfermedad [28]

<sup>19</sup> Según el artículo *Biomarcadores en la enfermedad de Alzheimer*. Manuel H. Janerio y otros (2020) [29], actualmente se emplean principalmente tres biomarcadores para el diagnóstico de la EA: A $\beta$ 42, t-Tau y p-Tau. El uso diagnóstico de biomarcadores en el líquido cefalorraquídeo (LCR) presenta algunas limitaciones debido a que la obtención invasiva mediante punción lumbar puede provocar efectos secundarios

<sup>20</sup> Utilizando la exploración por PET y una nueva sonda llamada C-11 PIB, los científicos, recientemente han logrado tomar imágenes de la acumulación de placas de beta amiloide en el cerebro vivo. Actualmente, se están desarrollando sondas similares a C-11 PIB para su uso en el entorno clínico [30]

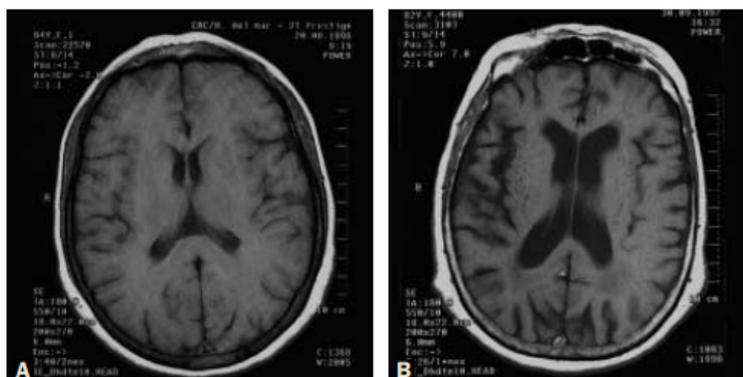


Fig. 20. A. Resonancia magnética de una persona normal. B. Resonancia magnética de un paciente de Alzheimer. Fuente: Instituto Municipal de Asistencia Sanitaria. IMAS. Hospital del Mar.

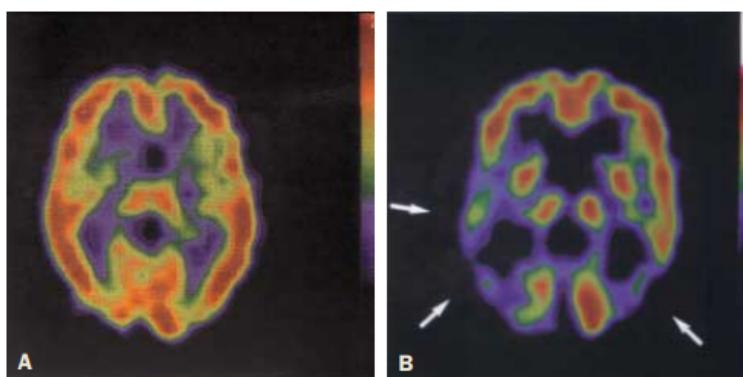


Fig. 21. A. SPECT de una persona normal. B. SPECT de un paciente de Alzheimer. Fuente: Dr. F. Lomeña.

### Ilustración 6. Resonancia magnética y SPECT (Fuente: radiologyinfo.org [30])

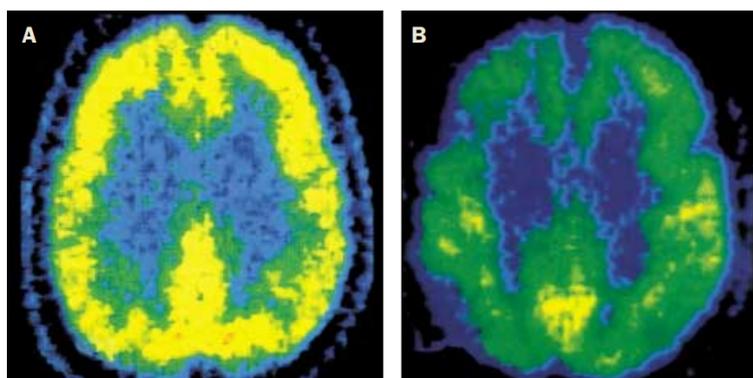


Fig. 22. Tomografía de emisión de positrones (PET). A. PET de una persona normal, control de 69 años de edad. B. PET de un paciente de Alzheimer de 71 años de edad, con una demencia grave de nueve años de evolución. En comparación con el sujeto normal se observa una disminución importante del metabolismo cerebral (el color amarillo, índice de mayor actividad, deja paso al predominio del color verde, que representa menor función metabólica cerebral). Reproducido de R. Blesa: «Enfermedad de Alzheimer y demencias relacionadas», © Themis Pharma S. L. Barcelona.

### Ilustración 7. PET.

(Fuente: J. Peña-Casanova (1999) *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia: conceptos y hechos.*) [24]

En las imágenes podemos observar en la parte izquierda un cerebro normal y en la derecha un cerebro con EA, es evidente el deterioro del cerebro del o la paciente con Alzhéimer.

### ***1.1.10 Tratamiento de la Enfermedad de Alzheimer***

La EA es una enfermedad de evolución lenta. Desde que aparecen los primeros síntomas hasta que se inicia una etapa de mayor gravedad pueden pasar algunos años. Como se ha comentado a lo largo del trabajo, no existe ningún tratamiento que la revierta, hasta ahora solo se pueden aliviar o retrasar algunos de sus síntomas.

En la *Guía de seguimiento farmacológico de pacientes con EA* (correofarmacéutico.com) [31] encontramos un apartado sobre los tratamientos farmacológicos y no farmacológicos de esta enfermedad. En cuanto a los farmacológicos, comenta que hay una gran variedad de tratamientos para EA, pero estos son sintomáticos, su objetivo es mantener y enlentecer el deterioro de la persona con EA. Con respecto a los tratamientos no farmacológicos, explica que van dirigidos a dar soporte médico, social y afectivo al enfermo y a su entorno, su finalidad también es evitar a la progresión de la EA.

#### ***1.1.10.1 Tratamientos farmacológicos DTA<sup>21</sup>***

Según la guía de la Agencia Europea de Medicamentos, que orienta sobre el desarrollo de medicamentos para la EA, para garantizar la relevancia clínica del tratamiento, es necesario demostrar un efecto tanto cognitivo como funcional en pacientes con EA de leve a moderada. (European Medicine Agency, 2018. *Guideline on the clinical investigation of medicines for the treatment of Alzheimer's disease*) [32].

El *Plan Integral de Alzheimer y otras Demencias (2019-2023)* [33] del Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social (2019) indica que actualmente solo existen autorizados fármacos para el tratamiento sintomático de la enfermedad, ya que ninguno de ellos ha sido aprobado para la modificación de ésta.

En la siguiente tabla podemos ver los diferentes fármacos aprobados para la EA para tratar los síntomas.

---

<sup>21</sup> DTA Demencia Tipo Alzheimer

Fármaco	Aprobado para	Características	Aprobado por la FDA <sup>22</sup>
tacrina	Etapa temprana y moderada de la EA	Evita la descomposición de la acetilcolina en el cerebro	1993
aducanumab	EA	Elimina la proteína <i>beta-amiloide</i> , que interfiere con la comunicación neuronal	2021
donepezil	Todas las etapas de EA	Inhibidor de la colinesterasa. Evita la descomposición de la acetilcolina en el cerebro	1996
galantamina	Leve o moderada	Evita la descomposición de la acetilcolina y estimula los receptores nicotínicos para liberar más acetilcolina en el cerebro	2001
rivastigmina	Leve o moderada	Previene la descomposición de la acetilcolina y la butyrylcholine (una sustancia química similar a la acetilcolina) en el cerebro	2000
memantina	Moderada a severa	Es un antagonista del receptor NMDA (N-metil-D-aspartato), que actúa regulando la actividad del glutamato, un importante neurotransmisor del cerebro involucrado en el aprendizaje y la memoria	2003

**Tabla 8. Fármacos para la EA**

(Fuente: *Tratamientos para Alzheimer* | Español | Alzheimer's Association [\[34\]](#))

Según Alzheimer's Association, en la actualidad existen diferentes líneas de investigación de nuevas terapias para la EA. Los esfuerzos se dirigen principalmente en elaborar un medicamento, que a diferencia de los que hoy en día tenemos, puedan modificar la evolución de enfermedad, que sea capaz de parar o retardar el proceso de los cambios patológicos de la EA en el cerebro.

<sup>22</sup> FDA: Agencia del Gobierno Federal de los Estados Unidos, cuya misión es proteger la salud pública. La FDA garantiza que los medicamentos, los dispositivos y los equipos médicos sean seguros y eficaces [\[35\]](#)

### 1.1.10.2 *Tratamiento no farmacológico*

Dentro de las terapias existentes contra la EA, cabe destacar los tratamientos no farmacológicos, entre sus ventajas podemos destacar su bajo coste, así como la mejora en la calidad de vida, tanto de los familiares como de las personas que padecen esta enfermedad.

Según la Guía de CEAFA *Terapias no farmacológicas en las asociaciones de familiares de personas con Alzheimer* (2016) nos explica que frente al hecho de que no existe un tratamiento farmacológico eficaz para la EA, se está extendiendo la utilización de tratamiento no farmacológicos. Los diferentes estudios han demostrado que estos tratamientos combinados con los farmacológicos pueden ser efectivos, mejorando la calidad de vida de los y las pacientes con EA. [\[11\]](#).

Entre los tratamientos no farmacológicos destaca la estimulación cognitiva, que hace referencia al conjunto de actividades cuyo objetivo es incrementar el rendimiento cognitivo, a nivel general o de sus componentes (lenguaje, memoria, funciones ejecutivas, atención...). Si se observan las diferentes guías que hablan del tratamiento para la EA estas recomiendan la realización de terapias de estimulación cognitiva como un elemento complementario al tratamiento farmacológico <sup>23</sup>.

A continuación, se expone una tabla con los principales tratamientos no farmacológicos para la EA.

---

<sup>23</sup> El Centro de Referencia Estatal de atención a personas con enfermedad de Alzheimer y otras demencias del IMSERSO (CREA) ha realizado un trabajo de investigación, documentación y estandarización de este tipo de terapias y ha desarrollado programas como el PACID que ponen a disposición de la persona usuaria pautas y materiales de gran valor (Programa de Actuación Cognitiva Integral de Demencias PACID. 2011) [\[36\]](#). Del mismo modo, por parte de la Red de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del SNS se está evaluando la efectividad y el coste-efectividad del entrenamiento cognitivo como conjunto de intervenciones diseñadas específicamente para abordar los déficits en diferentes áreas de la cognición en adultos con diagnóstico de demencia.



<b>PRINCIPALES TRATAMIENTOS NO FARMACOLÓGICOS PARA LA EA</b>		
<b>Tratamientos cognitivos</b>	Estimulación cognitiva	Adaptada a las necesidades cognitivas del o la paciente, para rehabilitar funciones alteradas, atención, lenguaje, orientación, memoria
	Aprendizaje del error	Impedir a los sujetos que cometan errores durante el aprendizaje de una nueva tarea o la adquisición de una información
	Recuperación espaciada	Presentación de estímulos con un intervalo creciente, para incrementar así la retención y evocación de información específica a través del tiempo
	Imaginería visual	Solicitar al sujeto que preste atención a detalles visuales específicos de la información que aprenderá, o que genera una imagen mental del objeto que le es presentado en modalidad verbal
	Disminución de pistas	Dar al paciente pistas para la evocación de la información. Estas disminuyen sistemáticamente a medida que el sujeto va aprendiendo, hasta que desaparecen por completo
<b>Intervenciones psicosociales</b>	Terapia de orientación de la realidad	Presentación constante de información relacionada con la orientación en tiempo, lugar y persona
	Terapia de validación	Aplicación de técnicas basadas en una actitud de respeto y empatía por los adultos de EA
	Terapia de reminiscencia	Estimulación para el recuerdo de experiencias pasadas a través de fotos, videos, canciones, ropas, cartas, etc.
	Método Montessori	Trabajo a través del análisis de tareas, la repetición guiada y la progresión paulatina de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto
	Psicomotricidad y actividad física	Utilización del ejercicio físico y otras actividades motrices guiadas para estimular vías sensoriales y motoras
	Terapia intergeneracional	Implementación de programas en los que los y las pacientes con demencia enseñan a niños a realizar diferentes actividades de la vida diaria u otras habilidades
<b>Otras Intervenciones</b>	Musicoterapia	Utilización de la música para el manejo de diferentes síntomas presentes en la EA. Se estudiará más adelante.
	Arteterapia	Utilización de diferentes formas de arte como método de expresión en pacientes con EA
	Modificaciones ambientales	Modificaciones en el entorno de pacientes con EA para disminuir el riesgo de accidentes e impacto de sus déficits en las actividades de la vida diaria
	Dietas y cambios de hábitos alimenticios	Seguimiento de dietas de restricción calórica y disminución de grasa saturadas, para disminuir la presencia de radicales libres en el organismo

<p><b>TIC (Tecnologías de la Información y comunicación)</b> La intervención telemática ya forma parte de la atención de terapia en la EA [39] [40]</p>	<p>Plataformas de estimulación cognitiva: Estas actividades permiten ejecutarse desde el ordenador o el móvil y su objetivo es estimular procesos cognitivos específicos, como el lenguaje, la memoria, funciones ejecutivas o la atención.</p> <p>Roboterapia: útil en la fase avanzada de demencia, a veces logra reacciones en los y las pacientes que sorprenden</p> <p>Pizarras digitales</p> <p>Wiiterapia, para conseguir su objetivo terapéutico utiliza los juegos de esta consola</p> <p>Realidad virtual Poco desarrollada hasta el momento,</p> <p>Serious Games se han desarrollado juegos serios para los y las pacientes con Alzheimer</p> <p>Programa Gradior <sup>24</sup> / Programa NeuronUp <sup>25</sup> / Samartbrain PRO <sup>26</sup> / SIMAP <sup>27</sup></p>
---	---

**Tabla 9. Tratamientos no farmacológicos para la EA**

(Fuente: De los Reyes et al., 2012. *Rehabilitación cognitiva en pacientes con enfermedad de Alzheimer*) [37]

## 1.2 El sonido, la música y el Alzhéimer

En este apartado se hablará de la música como sonido audible y como esta se puede utilizar en los y las pacientes con EA.

Antes de comenzar a hablar de la música se expone cuál es el concepto de sonido y como el cerebro lo descodifica, ya que las personas tenemos unos sistemas neuronales y sensoriales que son los que interpretan, analizan y detectan los estímulos auditivos, los sonidos son estímulos externos que son representativos para el ser humano.

Se entiende por sonido aquella onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico. El oído percibe algunos de estos sonidos y el cerebro los procesa de tal manera que los podemos escuchar. El sonido audible en las personas está formado por las variaciones que se producen en la presión del aire, que el oído transforma en ondas mecánicas con el fin de que el cerebro pueda percibirlos y procesarlos. Para que los humanos podamos percibir un sonido (sonido audible), este debe estar comprendido entre el rango de audición de 20 y 20.000 Hz. En rangos inferiores tenemos los infrasonidos y por encima los ultrasonidos.

Cada sonido tiene dos propiedades fundamentales: la frecuencia (se refiere a la altura del sonido, Hz) y la intensidad (hace referencia a como percibimos los sonidos fuertes-débiles, dB).

<sup>24</sup> Programa Gradior Programa de evaluación y rehabilitación cognitiva por ordenador

<sup>25</sup> Programa NeuronUp: es una plataforma web cuya finalidad consiste en la rehabilitación neuropsicológica (entendida como recuperación, sustitución y/o mantenimiento), focalizada en los déficits cognitivos funcionales que surgen como consecuencia de un daño cerebral (adquirido o no)

<sup>26</sup> Samartbrain PRO: se trata de un programa diseñado para cuidar y tratar cualquier caso de deterioro cognitivo: deterioro leve, enfermedad de Alzheimer y otra demencia similar, daño cerebral etc.

<sup>27</sup> SIMAP (Sistema Inteligente de Motorización de Alertas Personales): Se trata de un sistema creado por Tecnocoid11, Cruz Roja Española, AFALcontigo12 y la Fundación Alzheimer España, orientado a los familiares de personas con Alzheimer. El servicio se basa en un dispositivo GPS

Cualidades del sonido audible		
Cualidad	Característica	Rango
<b>Altura</b>	Viene determinada por la frecuencia fundamental de las ondas sonoras	Permite distinguir entre sonidos graves, agudos o medios. Se mide en Hz  Vibración lenta <input type="checkbox"/> baja frecuencia <input type="checkbox"/> sonidos graves  Vibración rápida <input type="checkbox"/> alta frecuencia <input type="checkbox"/> sonido agudo
<b>Intensidad</b>	Es la cantidad de energía acústica que contiene un sonido, viene determinada por la potencia, que a su vez está determinada por la amplitud	Nos permite distinguir si el sonido es fuerte o débil.
<b>Timbre</b>	Es la cualidad que confiere al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. Los armónicos son los componentes de un sonido y se definen como frecuencias secundarias que acompañan a una frecuencia fundamental que es la que oímos conscientemente	Fuente emisora del sonido
<b>Duración</b>	Es el tiempo durante el cual se mantiene un sonido	Largo o corto

**Tabla 10. Cualidades del sonido audible**

(Fuente: apuntes asignatura Psicoacústica de Sonología del CSMV) [\[41\]](#)

En relación con las propiedades del sonido, únicamente la frecuencia y, en menor medida, la intensidad es detectadas y extraídas por la cóclea. Son interpretadas y procesadas en el cerebro las demás propiedades de la información auditiva.

El sonido y la música tienen características comunes, pero no son iguales. Ambos poseen cualidades diferentes, que al estar relacionadas los mantienen entrelazados.

En la tabla anterior hemos visto que el sonido se fundamenta en cuatro parámetros principales, duración, timbre, altura e intensidad. La música surge como combinación de estos parámetros y además, tenemos que hablar de ritmo, armonía, melodía, textura, forma, movimiento y matices de expresión. [\[41\]](#)

- **Tono**, el tono de nota musical se compone de varias frecuencias. La llamada frecuencia fundamental, es la frecuencia más baja y es la que define la altura o el tono del sonido. Cuanto más baja es la frecuencia fundamental, el sonido se percibe como más grave, cuanto más alta es la frecuencia fundamental, el sonido se percibe como más agudo.
- **Duración**, la duración de una nota se corresponde con el tiempo momento en que la nota es mantenida y percibida
- **Timbre**, la frecuencia fundamental se asocia con otras frecuencias que se denominan armónicas y que varían dependiendo de la fuente del sonido (por ejemplo, de cada instrumento musical). El sonido se describe como más cálido, redondo, metálico, etc., dependiendo del instrumento que suena
- **Intensidad**, es la fuerza con la que se actúa sobre el instrumento. El sonido será fuerte o débil, lo que puede sugerir ira, suspense, la dulzura...
- **Melodía**, está formada por una sucesión de notas que en su conjunto resulta agradable al oído
- **Armonía**, la interpretación de acordes y su secuencia, proporciona el “relieve” de la música
- **La melodía**, se trata de una sucesión de notas que da un conjunto que resulta agradable para el oído



- **Ritmo**, es la organización de la duración de notas y de los silencios a lo largo del tiempo. La percepción de una misma canción es diferente en función del ritmo.
- **Tempo**, la velocidad con que se interpreta una obra musical

Se puede decir que la materia prima de la música es el sonido en combinación con el silencio que mantienen una temporalidad y una secuenciación, pudiéndose aprovechar esto para la formación de patrones temporales de las funciones cognitivas y puede constituir también para facilitar el aprendizaje del procesamiento secuencial de la información, como la memoria.

El sonido musical es un sonido audible que cumple con unas determinadas normas; está estructurado en notas musicales, cada una de estas notas corresponde a una frecuencia de sonido audible determinada.

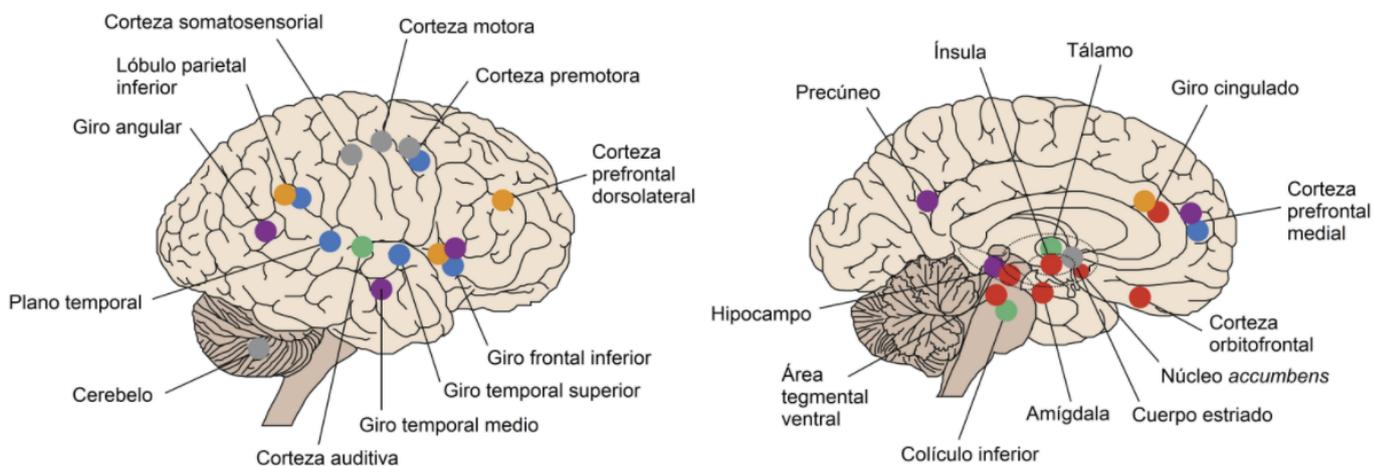
Como ya hemos visto, la música no es un sonido aislado, consiste en una secuencia de sonidos, cuya percepción depende de la comprensión de las relaciones entre ellos y en el procesamiento de sus componentes intervienen diversas áreas del cerebro.

La música se puede definir como el arte de crear y organizar sonidos y silencios, respetando los principios fundamentales de la melodía, la armonía y el ritmo

Cuando la música suena las vibraciones viajan por el aire, lo que hace que el tímpano vibre y dentro del oído las vibraciones se convierten en impulsos nerviosos que viajan al cerebro siendo ahí donde se perciben como diferentes elementos de la música, como el tono y la melodía. Al combinarse estos elementos se forma un patrón que reconocemos como música.

Existe muchas partes del cerebro involucradas en la actividad y percepción musical en ambos hemisferios cerebrales.

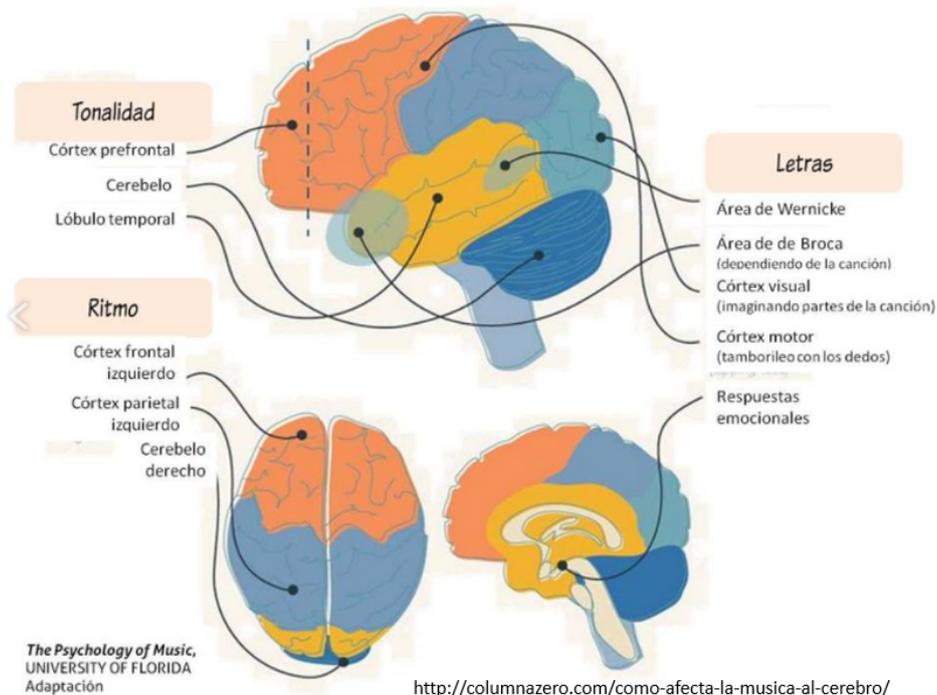
Las estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento musical son múltiples, las principales se pueden observar en las imágenes siguientes (Ilustración 8 y 9).



- **Vía auditiva básica:** percepción de las características básicas de la música
- **Red sintáctica musical:** percepción de los rasgos musicales de orden superior
- **Red atencional y de memoria de trabajo:** focalización y seguimiento de la música de forma sincronizada
- **Red de memoria episódica:** reconocimiento musical y rememoración de recuerdos asociados
- **Red motora:** práctica, canto y movimiento al ritmo de la música
- **Red emocional y de recompensa:** evocación a través de la música de emociones y sensación de placer como recompensa

**Ilustración 8. Estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento musical**

(Fuente: León Ruiz, María, et al. 2019. Musicoterapia en neurorrehabilitación: “El regalo de Apolo”) [42], [45]



**Ilustración 9. Música y cerebro**

(Fuente: ¿Cómo afecta la música al cerebro? ColumnaZero) [43]

En las imágenes se puede ver cuáles son las principales regiones cerebrales que intervienen cuando se procesa la música en el cerebro. La ilustración 8 muestra las regiones lateral y medial de hemisferio cerebral derecho, pero muchos de los procesos son bihemisféricos.

Observando las ilustraciones anteriores, vemos que actividades relacionadas con escuchar y/o crear música pueden resultar una ayuda importante para activar redes neuronales y esto puede producir cambios intrarredes y conexiones entre regiones encefálicas corticosubcorticales distantes. Por otra parte, la música estimula el sistema dopaminérgico (sistema responsable de la sensación de placer y motivación), serotonina (mejora nuestro estado de satisfacción), el sistema noradrenérgico<sup>28</sup> (activa el organismo), oxitocina (influye en la conducta social y reduce niveles de cortisol regulando la respuesta automática del estrés). Además, también actúa en la liberación de opioides endógenos que son proanalgésicos. También sincroniza nuestra frecuencia cardíaca, respiratoria, sistema circulatorio, influye en las respuestas motoras y musculares, etc.

Todos estos efectos multimodales de la música facilitarán la inducción de mecanismos neuroplásticos pudiendo ayudar al paciente con EA. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede decir que la música tiene una gran variedad de efectos tanto a nivel fisiológico, cognitivo, emocional y, por tanto, tiene efectos en el aprendizaje, lenguaje, memoria, atención y además algo muy importante puede ayudar a reorganizar el cerebro dañado.

### 1.2.1 La música como terapia para la EA

Entre las terapias no farmacológicas destacan las terapias artístico-creativas, que son aquellas que emplean los lenguajes artísticos para ayudar, entre otros, a las personas con EA, el presente apartado se centrará en la musicoterapia

#### **Definición de musicoterapia:**

Existen diferentes definiciones de musicoterapia, a continuación, se exponen algunas:

*“La musicoterapia es el uso profesional de la música y sus elementos como una intervención en entornos médicos, educativos y cotidianos con individuos, grupos, familias o comunidades que buscan optimizar su calidad de vida y mejorar su salud y bienestar físico, social, comunicativo, emocional, intelectual y espiritual. La investigación, la práctica, la educación y el entrenamiento clínico en musicoterapia están basados en estándares profesionales acordes a contextos culturales, sociales y políticos.”*. Federación Mundial de Musicoterapia (WFMT) “ [\[45\]](#)

*“Es el uso de la música en la consecución de objetivos terapéuticos: la restauración, mantenimiento y acrecentamiento de la salud tanto física como mental. Es la aplicación sistemática de la música dirigida por el musicoterapeuta en el ámbito terapéutico para provocar cambios en el comportamiento”*. American Music Therapy Association (AMTA) [\[46\]](#)

#### **Objetivos de la musicoterapia en la EA:**

En la página web de la musicoterapia.com [\[53\]](#) nos dice que cuando se trabaja con la música se debe adaptar a la capacidad de cada paciente y que Derek Prinsley, director de la “National Ageing Research Institute (1976-1986) establece que la musicoterapia debe tener unos objetivos claros, que son los siguientes

- Organización de procesos mentales
- Desarrollo de la interacción social

---

<sup>28</sup> Sistema noradrenérgico: hace referencia a las neuronas que son activadas o que segregan noradrenalina.

- Estimulación sensorial e integración psicomotriz
- Mejora del estado de ánimo

Es importante no olvidar que es una terapia complementaria a otros tratamientos farmacológicos.

En el artículo de *Neurorrehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica* de J.A. Jauset-Berrocal, G. Soria-Urios (2018) [47], nos dice que según Hillecke el objeto con la musicoterapia es lograr cambios de conducta y describe cinco factores principales:

Factores clave en cuanto a la capacidad de la música para mejorar con pacientes con EA	
<b>Factor atencional</b>	Cuando la música se utiliza como distractor, por ej. en casos de elevado estrés
<b>Factor emocional</b>	Cuando modula las emociones y afecta a diversas áreas corticales y subcorticales, lo que se utiliza ampliamente en el tratamiento de la depresión, la ansiedad o el estrés. La depresión, la ansiedad son síntomas que aparecen en la EA.
<b>Factor cognitivo</b>	La música involucra diversas funciones cognitivas en su procesamiento, como la memoria asociada a la música (codificación, almacenamiento y recuperación), por ello se utiliza en el tratamiento de trastornos de la memoria, como es en caso de la EA
<b>Factor motor conductual</b>	Por su capacidad en evocar patrones de movimiento, incluso de manera involuntaria, lo que posibilita el uso del ritmo en la rehabilitación de pacientes con trastornos de movimiento, síntomas que se pueden dar en un/a enfermo/a de Alzheimer
<b>Factor interpersonal,</b>	La música implica comunicación, por lo que puede emplearse para entrenar habilidades de comunicación no verbal, siendo de gran utilidad para las alteraciones conductuales que sufren, entre otros, los/as pacientes de EA

**Tabla 11. Factores clave en cuanto a la capacidad de la música para la EA**

(Fuente: Jauset-Berrocal, J.A. Soria-Urios, G. (2018) *Neurorrehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica* [47])

La musicoterapia posee varias aplicaciones y tiene diferentes formas de aplicación:

APLICACIONES DE LA MUSICOTERAPIA	FORMAS DE APLICACIÓN
<b>Música pasiva</b>	El o la paciente escucha la música, siendo persuadido sin la necesidad de emplear ningún instrumento.
<b>Musicoterapia activa</b>	En ella, hacemos participar al o la paciente cantando o emitiendo sonidos, ejecutando movimientos, etc.
<b>Musicoterapia mixta</b>	La mezcla de las dos anteriores
<b>Musicoterapia receptiva</b>	Consecuencia de la atención prestada por el o la paciente.
<b>Musicoterapia creativa</b>	El/la paciente crea música mediante la voz, instrumentos y/o movimientos corporales

**Tabla 12. Aplicaciones de musicoterapia en pacientes con demencia y EA**

(Fuente: TFG Cáceres Hernández, Anabel (2016) *Aplicación de la musicoterapia en el paciente con demencia y Alzheimer*) [48]

En la música como terapia se puede utilizar tanto técnicas pasivas como de escucha, como técnicas activas como creativas.

### 1.2.1.1 Intervención musicoterapéutica según las diferentes áreas afectadas en la EA

La musicoterapia emplea diferentes técnicas para la intervención: experiencias de canto, tocar instrumentos musicales, el movimiento y el uso del baile, momentos de autoedición, etc. Los/las pacientes al participar en cada una de ellas hacen que se activen una serie de funciones cognitivas del área socioemocional y fisicomotriz. La musicoterapia se puede usar para trabajar cada una de las diferentes áreas afectadas por la EA.

Área Afectada	Intervención
<p><b>Área física:</b> esta área está afectada en los/as enfermos de Alzheimer, y más especialmente el síntoma de la apraxia. Gracias a la música se pueden activar los músculos y las articulaciones</p>	<p><b>Motricidad y sincronización:</b> La teoría más importante y conocida en el ámbito de la motricidad y la sincronización, es la que presentó Michael Thaut. Se conoce como teoría auditivo-motriz, muestras las formas en las que se piensa que una señal rítmica ayuda a facilitar el control muscular de movimientos. Se utilizan actividades que tienen un ritmo marcado y constante, repetitivo.</p>
	<p><b>Activación:</b> En su mayoría, las personas con EA se muestran apáticos y con un grado relevante de inactividad. Se les puede ayudar utilizando la musicoterapia enfocada a la activación de la persona. Las actividades se basan en estimular la interacción verbal y el pensamiento para mejorar las habilidades sociales.</p>
	<p><b>Relajación:</b> Música para mejorar su estado de ánimo, centrarles y calmarles. La música propicia para la relajación debe ser lenta, constante, evocadora, de sonidos suaves y ritmo no muy marcado.</p>
<p><b>Área cognitiva:</b> El conocimiento está relacionado con la percepción. Los/as pacientes que presentan deficiencias serias en las áreas sensoriales, como pueden ser los/as enfermos/as de Alzheimer al presentar agnosia, son un caso a tener en cuenta en el uso de la musicoterapia.</p> <p>Se realizan actividades sencillas que estimulen cada uno de los sentidos y restaurar así el contacto con el entorno</p>	<p><b>Memoria y reminiscencias, conectando con la emoción:</b> Se emplean actividades con músicas que tengan un significado para el/la paciente o para el grupo, como canciones de la infancia, populares, etc.</p>
	<p><b>Atención:</b> Las orientaciones a la realidad que incluyen música tienen como efecto una mejora de las funciones cognitivas de los/as pacientes, logrando que recuerden nombres, días de la semana y lugar de residencia, la música que busca atraer la atención, ha de ser variada, imprevisible, rítmica y vivaz, con silencios repentinos, cambios de tempo y de intensidad.</p>
	<p><b>Reconocimiento auditivo:</b> Una parte indispensable del tratamiento musicoterapéutico es la utilización de audiciones para que el/la paciente rememore vivencias y emociones pasadas. Se utilizan actividades de reconocimiento auditivo que trabajan la memoria y la atención promoviendo emociones y el intercambio social.</p>
<p><b>Área comunicativa:</b> La música, como se ha visto, ayuda a la comunicación, hace que las personas activen emociones y sentimientos</p>	<p>A través de la música se transmiten emociones y ayuda al estado de ánimo del oyente, lo cual se puede usar para intensificar y ampliar significados, ya sean textuales o visuales.</p>
	<p><b>Lenguaje oral:</b> El lenguaje verbal, además del escrito, presenta deficiencias en los/as pacientes de EA, en algunos casos presentan afasia. Con actividades como parar una canción y permitir al o la paciente que continúe cantando; completar huecos de canciones; se puede trabajar el lenguaje</p>
<p><b>Área social:</b> Muchas de las actividades musicales se realizan en grupo, lo que promueve un contacto social de primer orden.</p>	<p><b>Baile:</b> A través del baile se trabajan diversas áreas afectadas por la EA, como son el movimiento, la activación y la interacción social, etc. Bailar al compás de la música conlleva un acoplamiento de las funciones auditivas y motrices. Moverse al compás de la música requiere la coordinación de múltiples regiones cerebrales que incluyen el centro de recompensa del cerebro y los circuitos sensoriales y motrices.</p>
	<p><b>Canto colectivo:</b> es una actividad grupal que ayuda a las personas con EA a participar de forma conjunta.</p>

**Tabla 13. Intervención musicoterapéutica según las áreas afectadas en la EA**

(Fuente: García Gómez, Sandra (2013). *Musicoterapia en el tratamiento de los síntomas de la Enfermedad de Alzheimer*:

[50])

A través de la diferente bibliografía consultada para realizar este trabajo se ha visto que una de las técnicas más emergentes para trabajar con las demencias y con la EA es la Musicoterapia Neurológica o Musicoterapia de Neurorehabilitación.

### 1.2.2 *Terapia musical neurológica*<sup>29</sup> (NMT)

Ya se ha descrito que la música es una de las pocas actividades que provocan una gran actividad en el cerebro, estimulando la interacción neuronal entre ambos hemisferios. Hace años se creía que el cerebro tenía una parte donde se ejecutaba el procesamiento musical, dedicado a los diferentes elementos de la música. Se hablaba de la dicotomía izquierda-derecha de la organización cerebral, diciendo que la música era propia del hemisferio derecho y el lenguaje del izquierdo. Hace alrededor unos treinta años, gracias a los estudios de neuroimagen, donde se mostraba la activación de diversas áreas cerebrales implicadas en la percepción de cada elemento musical, variando según la actividad musical realizada. Varios estudios corroboran la participación de diversas estructuras cerebrales en las actividades cerebrales (corteza sensorial, la corteza prefrontal, el sistema límbico, áreas de Broca y Wernicke, lóbulos temporales, corteza motora, cerebelo, entre otras).

J.A. Jauset-Berrocal y G. Soria-Urios (2018) en su artículo *Neurorehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica* [47] nos dice que es sobre los años noventa cuando la musicoterapia entra en la neurología, que es en el Centro de Investigación Musical Biomédico de la Universidad de Colorado, junto con el Instituto de Neurorehabilitación de la Facultad de Medicina de la Universidad de Düsseldorf donde se desarrollan estas nuevas técnicas. La diferencia entre la musicoterapia tradicional y la musicoterapia neurológica radica principalmente en que en la segunda sus métodos están estandarizados, adoptados a las necesidades individuales del enfermo, se basa en evidencias clínicas y se basan en modelos neurocientíficos de percepción cerebral. En ella se tienen en cuenta funciones de la memoria, ejecutivas, de la atención y la percepción auditiva y también habilidades psicosociales. Con respecto a la musicoterapia tradicional tiene como objetivo el bienestar emocional, psicológico y de social del o la paciente, en cambio, la musicoterapia neurológica actúa sobre mecanismos neuronales que están involucrados en el EA, esto puede ayudar a una disminución de los síntomas, mejorando déficits motores, de lenguaje, cognitivos, emocionales y sociales en personas con EA.

Gracias a la neuroplasticidad (propiedad que tienen las células nerviosas de reorganizar sus conexiones y de modificar los mecanismos implicados en su comunicación con otras células), se puede conseguir modificar el funcionamiento de los circuitos neuronales y la forma como se relacionan los sistemas modales en que se organiza el cerebro. Estudios han demostrado que las redes neuronales que componen el sistema nervioso de las personas permanecen plásticas, modificables, a lo largo del curso entero de la vida. La plasticidad cerebral constituye una de sus adaptaciones más importantes. También hay que tener en cuenta que el grado de recuperación dependerá de muchos factores, que incluyen el área del cerebro dañada, la edad, rapidez con la que se produce el daño, los programas de rehabilitación y los factores ambientales y psicosociales de la persona enferma. En el caso de la terapia musical neurológica con pacientes de EA, se trata de utilizar esa plasticidad, que aún tiene el cerebro, para que, a través de las diferentes actividades musicales, se puedan modificar o generar nuevos circuitos neuronales con el fin de instaurar nuevas rutas de conexiones, produciéndose así cambios en los procesos de aprendizaje y la memoria. Siempre se ha de tener en cuenta que las zonas del cerebro que ha dañado la enfermedad prácticamente son irrecuperables, se trata de tener la posibilidad de crear nuevas vías neuronales. Todo puede ser un camino y una alternativa para ayudar las personas con EA. [55a]

---

<sup>29</sup> La musicoterapia en neurorehabilitación llama Neuromusicoperatia (NMT) modelo reconocido por la World Federation of NeuroRehabilitation (<https://www.wfnr.co.uk/>)

**Tratamiento:** La NMT cuenta con evidencias clínicas en las siguientes áreas:

- Rehabilitación sensorio-motriz
- Rehabilitación del habla y el lenguaje
- Rehabilitación cognitiva

Y utilizan principalmente tres mecanismos de rehabilitación:

- Restauración: trabaja en las funciones afectadas para conseguir un rendimiento mayor.
- Compensación: es un mecanismo que proporciona ayudas externas para compensar la función perdida
- Sustitución: consiste en enseñar al/la paciente con EA a mejorar el rendimiento de la función alterada mediante el uso de sistemas conservados.

Con los descubrimientos realizados sobre la plasticidad cerebral<sup>30</sup> en edades avanzadas, se está optando por usar la restauración cuando el daño es leve o reciente, cuando esto no es posible debido a la afectación sufrida se utiliza el mecanismo de compensación o sustitución.

### Principios teóricos de la musicoterapia neurológica

- La música provoca una actividad integral del cerebro: comenzando el procesamiento en la corteza auditiva primaria (lóbulo temporal), que donde se percibe el timbre, el ritmo y los intervalos, para pasar al sistema límbico (integramos las emociones) y se acaba en el lóbulo frontal, (producimos los cambios en el comportamiento).
- La música estimula la neuroplasticidad (permite a las neuronas regenerarse y formar nuevas conexiones sinápticas, permitiendo al cerebro la capacidad de reestructurarse), con la repetición de intervalos musicales se ayuda a la integración de áreas cerebrales dañadas y a que se formen nuevas conexiones neuronales.
- El cerebro usa áreas iguales para la música y para las actividades de la vida diaria. La activación de las áreas de Broca y Wernicke (lenguaje) se dan cuando cantamos igual que en el habla. Se utilizan los mismos mecanismos en el pensamiento motor que en la percepción del ritmo.
- Existe una sincronización rítmica entre las neuronas auditivas y las motoras, por ej. el ritmo estímulo auditivo, es capaz de anticipar cada pulsación y programar los movimientos necesarios. [\[62\]](#)

A continuación, se hará una breve descripción de las técnicas de NMT que pueden ser empleadas para ayudar a las personas con EA. Se estructuran en tres grandes grupos: [\[51\]](#) [\[54\]](#)

- Técnicas de NMT, rehabilitación cognitiva
- Técnicas de NMT, rehabilitación del lenguaje
- Técnicas de NMT, rehabilitación motora

---

<sup>30</sup> El sistema nervioso experimenta cambios estructurales y funcionales, los cuales se manifiestan en el número de contacto sinápticos que forman circuitos como resultado de la experiencia, o bien de la reparación de algún daño, a través de factores tróficos u hormonales. A este proceso, que es una de las propiedades fundamentales del sistema nervioso, se le conoce como plasticidad neuronal. La plasticidad neural o neuroplasticidad desempeña un papel muy importante cuando el cerebro se lesiona por un golpe, o una enfermedad degenerativa. Si bien las zonas del cerebro que la enfermedad ya dañó no se recuperan, el crear nuevas vías neuronales genera una respuesta favorable. Los fenómenos de plasticidad son histológicos, bioquímicos y fisiológicos, tras los cuales el sujeto puede experimentar una mejoría funcional-clínica, observándose recuperación paulatina de las funciones perdidas. Blasco Prado, Luis y Fariñas Rodríguez, Silvia (2013)

### Función cognitiva. Técnicas de la NMT.

Jurado Noboa, Cecilia (2018) en su artículo de revisión *La Musicoterapia Neurológica como modelo de neurorehabilitación* (Neurologic Music Therapy as a Neurorehabilitation Model) [51], nos dice que según la Academy of Neurologic Music Therapy, la rehabilitación cognitiva comprende las funciones de atención-percepción, función ejecutiva, memoria, y comportamiento psicosocial. Existen nueve intervenciones dirigidas hacia estos objetivos (Ilustración 10):

#### Intervención de la NMT para la función cognitiva

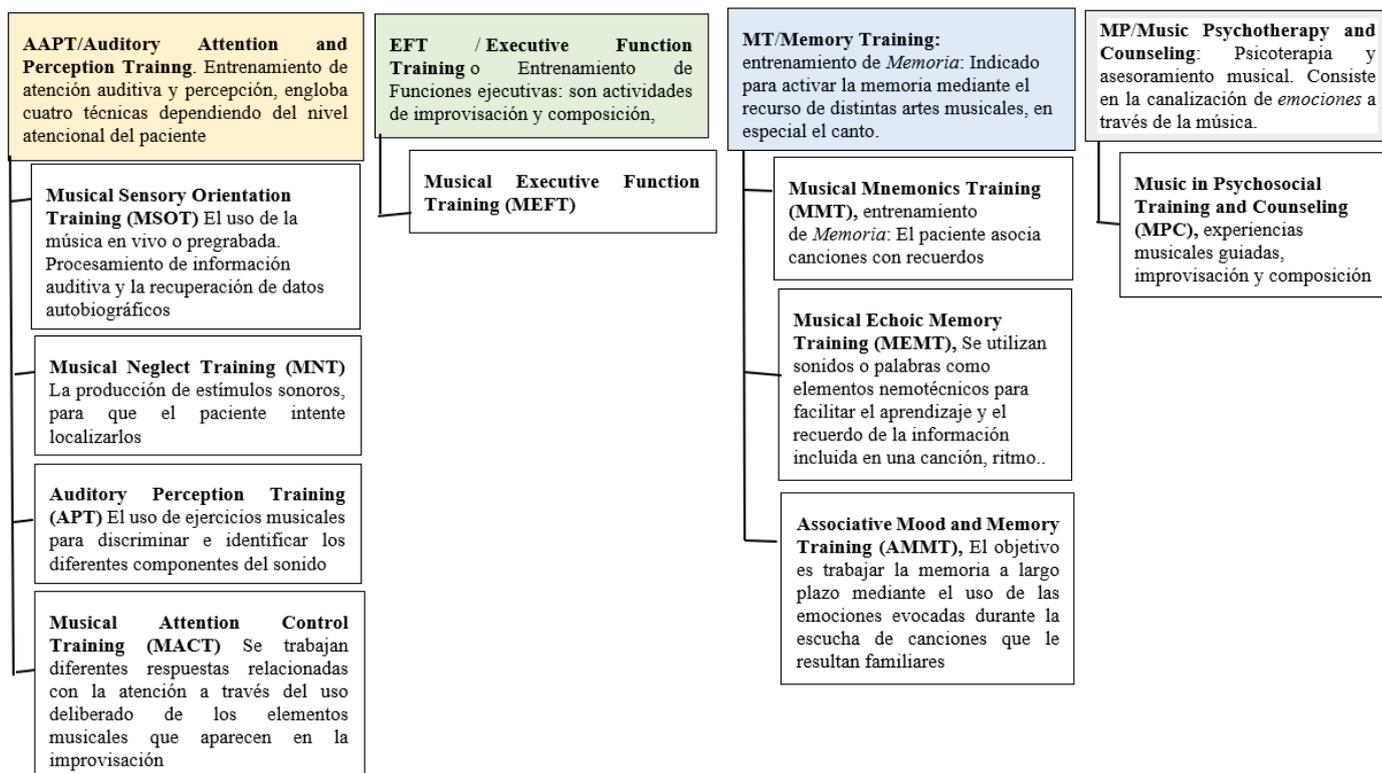


Ilustración 10. Técnicas NMT. Rehabilitación cognitiva [51]

Las imágenes que se mostraran a continuación son de elaboración propia y se ha utilizado como fuente el artículo de revisión *La Musicoterapia Neurológica Como Modelo de Neurorehabilitación*, de Jurado-Noboa, Cecilia (2018) [51]

## Técnicas de la NMT. Rehabilitación del Lenguaje

La relación entre la música y lenguaje, en la neurociencia es una de las áreas más estudiadas, debido a la similitud que hay entre hablar y cantar. Los/as neurocientíficos/as han estudiado la utilización de la música para tratar déficits motores en el lenguaje, también problemas de fluidez, prosodia, inteligibilidad, que resultan de los trastornos neurológicos. Para la rehabilitación del lenguaje la musicoterapia neurológica cuenta con ocho intervenciones (Ilustración 11).

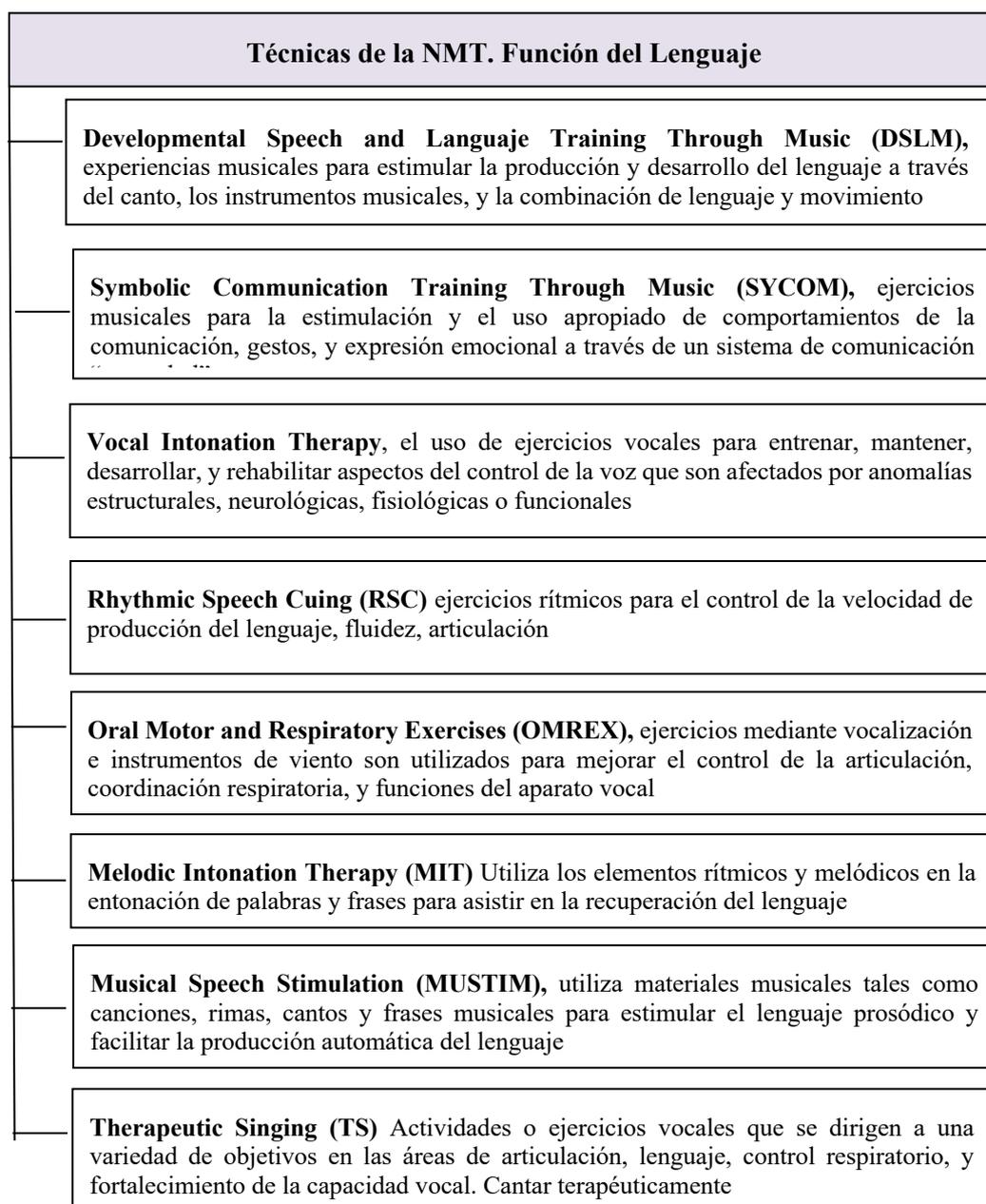


Ilustración 11. Intervenciones NMT para rehabilitación del lenguaje [51] [54]

### Técnicas de la NMT. Función Motora

Alrededor de hace dos décadas que comenzaron las investigaciones sobre el sistema auditivo y la sincronización rítmica o “entrainmet” en el control del movimiento. Los diversos estudios han demostrado que en relación con los efectos de la música sobre el cerebro existe una sincronización del sistema motor con el auditivo. Dentro de estos estudios, algunos expusieron la evidencia de activación muscular mediante los circuitos reticuloespinales en respuesta a señales auditivas y patrones rítmicos. En la actualidad se cree que el sistema auditivo tiene diversas conexiones con centros motores distribuidos en el tallo cerebral y a nivel medular, cortical, y subcortical. Estos descubrimientos han servido para que se desarrollen técnicas de rehabilitación motora (Ilustración 12).



Ilustración 12. Intervenciones NMT para la función motora [\[51\]](#) [\[54\]](#)

### 1.3 Localización del sonido

Un aspecto importante de este proyecto es que se trabaja con la localización del sonido en el espacio, por ello se ha incluido este epígrafe.

Antes de adentrarnos en la localización del sonido se expone una breve explicación de la anatomía del oído y de su fisiología.

El término oído se utiliza generalmente tanto para expresar la fisiología del sistema auditivo como para la sensación de escucha.

Las ondas mecánicas con frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz causan la sensación de la audición y, por lo tanto, se clasifican como ondas sonoras o sonidos. Las ondas con frecuencias más bajas, es decir, por debajo de 20 Hz o vibraciones por segundo, se denominan ondas infrasónicas o infrasonidos. Las ondas con frecuencias superiores a 20 KHz, es decir, que vibran más de 20.000 veces por segundo, se denominan ondas ultrasónicas o ultrasonidos. Solamente los sonidos provocan sensación de audición en las personas, las ondas infrasónicas y las ultrasónicas no son audibles por nosotros.

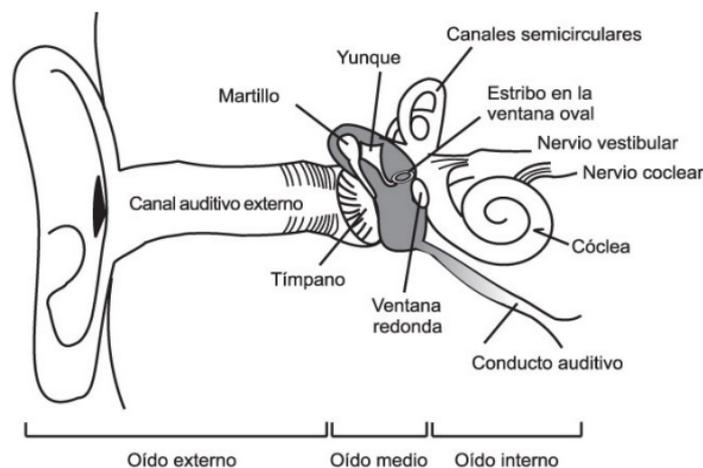
#### 1.3.1 Anatomía del oído

El oído es el detector biológico del sonido; responde a una forma de energía, la energía acústica. El oído humano puede escuchar en un intervalo de 20 a 20 KHz y con un rango dinámico de 120 dB. [52]

Convertir las ondas sonoras en vibraciones que estimulen las células nerviosas, es una de las funciones del oído y para ello el oído consta de tres partes, interconectadas entre ellas. Cada parte tiene unas funciones específicas dentro del procesamiento del sonido.

Las tres secciones en que se divide el oído son (Ilustración 13):

- El oído externo
- El oído medio
- El oído interno



**Ilustración 13. Sistema auditivo**

(Fuente: Basso, Gustavo (2016) *Percepción auditiva* [52])



Los siguientes apartados se han elaborado principalmente, teniendo en cuenta los apuntes de la asignatura de Música y Medicina impartida en el Conservatorio Superior de Música de Valencia [19].

### 1.3.1.1 Oído externo

Cuenta con el pabellón auditivo: cartílago elástico con extremo distal en forma de trompeta, recubierto de piel. El pabellón auditivo funciona como una especie de antena que ayuda a dirigir el sonido hacia el interior del oído. Sin el pabellón, la percepción sonora sería más ineficaz porque gran parte del sonido se perdería y sería más difícil escuchar y comprender los sonidos.

También en el oído externo se encuentra el conducto auditivo externo que es un tubo curvado de 2.5 cm que comunica el pabellón de la oreja con la membrana del tímpano. Recubierta por pilosidad y por glándulas sebáceas que segregan *cerumen*, está la parte más externa. El cerumen tiene como objetivo retener la suciedad y lubricar la piel. Transmite el sonido hacia el tímpano y provoca un efecto de resonancia en las frecuencias agudas, entre 2kHz y 4 kHz

La finalidad principal del oído externo es focalizar el sonido hacia el tímpano y también la de protección del tímpano y oído medio.

### 1.3.1.2 Oído medio

El oído medio se encuentra en el temporal y es una cavidad pequeña llena de aire y está revistada de epitelio. Está separado del oído externo por la membrana timpánica y del oído interno por una fina división ósea, que tiene dos oberturas cubiertas con membrana que son la ventana oval y la redonda. Esta parte del oído transmite la energía sonora desde la membrana timpánica hasta el oído interno a través de la cadena de huesecillos.

Esta sección del oído está ubicada en la caja timpánica, y la integra el tímpano, los huesecillos u osículos (martillo, yunque, estribo). La parte más externa de esta cadena osicular, el martillo, se encuentra adherida al tímpano, mientras que la base del estribo se halla unida a un anillo flexible de las paredes de la ventana oval, orificio de entrada al oído interno. Y la cavidad del oído medio a su vez se comunica a la rinofaringe a través de la Trompa de Eustaquio

La cadena de huesecillos actúa como una palanca, convirtiendo las oscilaciones de gran amplitud y pequeña presión del tímpano en oscilaciones de pequeña amplitud y gran presión en el oído interno.

Dos pequeños músculos, el tensor del tímpano (unido al martillo) y el estapedio (unido al cuello del estribo), limitan un poco los movimientos de los huesecillos. Cuando se producen altas intensidades, estos músculos pequeños cambian su extensión, así reducen la amplitud del movimiento. Este proceso se conoce como Reflejo Acústico y requiere de cerca de 0,5 ms para hacerse efectivo, teniendo en cuenta lo anterior, esto no ofrece protección para sonidos súbitos impulsivos como por ejemplo los disparos de armas de fuego.

La función del oído medio es conducir el sonido desde el tímpano al oído interno y convertir la energía acústica en movimientos mecánicos.

### 1.3.1.3 Oído interno

Está ubicado en el interior del hueso temporal, formado por un laberinto óseo, cuya función es proteger a un laberinto membranoso. En este laberinto membranoso se puede diferenciar el canal coclear, cuya función es la audición, y el órgano vestibular en el cual se puede distinguir el sáculo, el utrículo y los canales semicirculares destinados al equilibrio. El laberinto membranoso está rodeado de perilinfa y contiene endolinfa. Los fluidos del oído interno son originados por la microcirculación laberíntica. El tubo de la cóclea está dividido en vestíbulo superior y vestíbulo

inferior. La división se completa por una membrana fibrosa flexible llamada membrana basilar. La única comunicación entre los vestíbulos es de una pequeña abertura en el vértice de la cóclea llamado helicotrema.

El movimiento de los cilios de las células ciliadas hace que estas generen impulsos eléctricos denominados microfónicos cocleares.

La membrana basilar es más pequeña y rígida en la base, por eso en dicha zona la frecuencia de resonancia es alta; pero es más ancha y flexible en el ápex, por lo cual allí la frecuencia de resonancia es baja. En la zona de máxima oscilación, las células ciliadas experimentan deformaciones más intensas, enviando más impulsos nerviosos al cerebro. Constituyen así la membrana basilar un analizador de espectro que envía al cerebro la señal sonora descompuesta en sus frecuencias constitutivas.

La funcionalidad del oído interno es transformar el sonido en impulsos eléctricos y enviarlos al cerebro a través del nervio auditivo.

### ***1.3.2 Fisiología del oído***

Los procesos de la percepción de las sensaciones auditivas del ser humano son la captación y transmisión mecánica de las ondas sonoras, la transducción de las vibraciones mecánicas en impulsos nerviosos y de estos a su vez a los centros sensoriales del cerebro y por último el procesamiento neural de la información codificada en forma de impulsos nerviosos, que interrelaciona áreas auditivas-motoras y visuales. Proceso cognitivo complicado que permite reconocer un sonido, una palabra, etc. El oído transforma las fluctuaciones de presión en impulsos eléctricos y los lleva hasta el cerebro, que es donde son interpretados. [\[55\]](#)

Físicamente, el oído funciona como una serie de transductores de energía, empezando con una transducción de energía sonora a energía mecánica, seguido de una transducción de energía mecánica a energía eléctrica, ésta última se refiere a impulsos eléctricos en el cerebro. La sensación de escucha se genera en el cerebro cuando éste interpreta la información que llega por medio de las señales neuronales.

Diferentes elementos son los que ayudan a saber qué es lo que estamos oyendo, como la combinación de frecuencias que dan los diferentes sonidos (su característica distintiva), la fuente, la dirección, el volumen del sonido... todo esto son pistas que ayudan al cerebro a descifrar el mensaje, pero el análisis final de los estímulos sonoros tiene lugar en determinadas zonas de la corteza cerebral.

Una explicación breve de como del funcionamiento del oído es que el oído externo recoge los sonidos y vibraciones, conduciéndolas a través del canal auditivo hacia el tímpano, las ondas sonoras hacen que el tímpano vibre, la cadena de huesecillos transmite y amplifican las vibraciones hacia la ventana oval del oído interno (las pérdidas conductivas normalmente tienen lugar en el área del oído medio). El estribo abre la ventana oval y hay una vibración, esta vibración impulsa perilinfa a la rampa vestibular, la presión se transmite a la rampa timpánica y luego a la redonda. La presión de ambas rampas presiona la endolinfa del caracol. Esta presión hace vibrar la membrana basilar del caracol y mueve las Células pilosas del órgano de Corti contra la membrana tectoria. La flexión de las células genera potenciales de receptor, que se transducen en impulsos nerviosos en las fibras del nervio de coclear.

Para terminar, podemos decir que la audición se realiza en a través de tres etapas; la conducción de la sonora y cambio de onda acústica a mecánica (oído externo □ oído medio), la etapa coclear en el oído interno y la circulación del estímulo nerviosa a través de las vías auditivas y su interpretación en los centros cerebrales

Para la realización de los siguientes apartados se han tomado como principales referencias bibliografías MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV [56b] y los apuntes de la asignatura de TDA (Tratamiento digital de audio) , 4º de Telecomunicaciones de la UPV [57].

### ***1.3.2.1 Percepción espacial del sonido***

Para empezar, hay que tener en cuenta que el ser humano oye en 3 dimensiones.

El sistema de audición humano, que se ha explicado en el apartado anterior, es un sistema complejo que ayuda a percibir de dónde vienen los sonidos, pero es la combinación de oídos, cuerpo y cerebro lo que ayuda a localizarlo. Aunque al final, es el cerebro de la persona quien en último lugar decide de donde viene el sonido, el oído es simplemente un sistema transductor.

La ubicación de la señal puede variar en acimut, en elevación y en distancia. Veremos que el cerebro utiliza la información de la señal sonora para detectar cuál es la ubicación de la fuente.

En relación con la direccionalidad, la audición permite no solo obtener información semántica, sino además espacial. Por todo ello se puede considerar la direccionalidad del sonido, como una de las características espaciales básicas.

En cuanto a la espacialidad, el oído no solo permite determinar la procedencia del sonido. sino también que nos hagamos una imagen del entorno acústico.

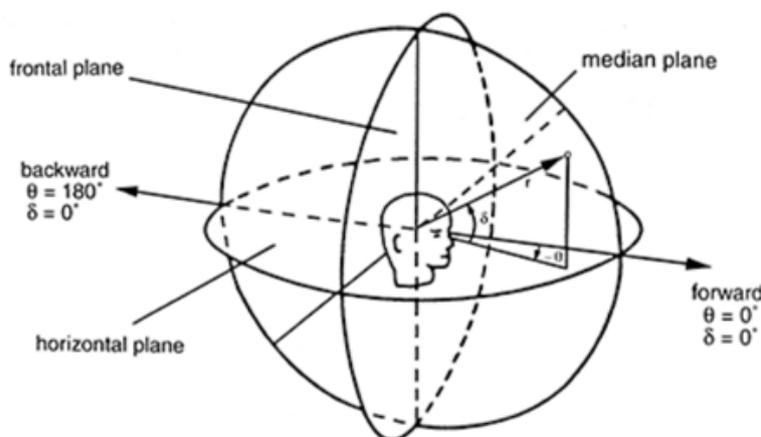
En la localización del sonido también es importante conocer que es la audición monoaural y la binaural. La primera es cuando hacemos uso de un solo oído, mientras que la segunda es la capacidad que tiene la persona de percibir estímulos a través de los dos oídos. Estos dos tipos de audición son relevantes para distinguir la localización o procedencia de un sonido.

El ser humano emplea una serie de partes de su cuerpo para localizar los sonidos en el espacio y son los que se comentan a continuación:

- Los oídos: son el fundamento de la audición humano y, por tanto, sirven también para localizar los sonidos en el espacio. Al tener dos oídos hay dos sensores de localización
- La cabeza: la propia esfera de cabeza es uno de los elementos que interviene en la localización de los sonidos
- Las orejas: la forma que tiene la oreja es un elemento que abre el sensor al espacio (son como una antena parabólica)
- Los hombros: el sonido que rebota en los hombros vuelve al oído, produciéndose una diferencia entre el sonido que llega directo y el que proviene de del rebote
- La vista: la vista nos ayuda a localizar el sonido, refuerza la sensación del oído.
- El cerebro: es el elemento que integra los elementos anteriores y les da una interpretación de donde está la fuente del sonido

### ***1.3.2.2 Mecanismos que permiten la localización del sonido***

Los mecanismos que nos permiten la localización del sonido en tres dimensiones son principalmente la localización en el plano horizontal, la percepción de la elevación, y la percepción de la distancia (Ilustración 14).



**Ilustración 14. Sistema de coordenadas esféricas [55]**

(Fuente: Lebrón Ruiz, San Martín Murugarren, Aitor Ricardo. *Diseño y construcción de dummy head destinada a la recreación de entornos virtuales [59]*)

En la imagen se puede apreciar como para caracterizar al espacio acústico se emplean coordenadas esféricas cuyos parámetros son el ángulo de azimut  $\theta$ , el ángulo de elevación  $\delta$  y la distancia  $r$  a la fuente,

#### 1.3.2.2.1 Los mecanismos de localización en el plano horizontal

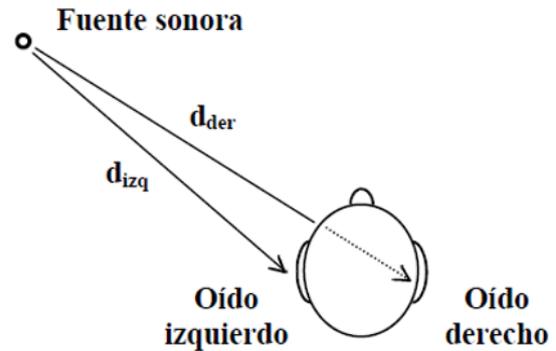
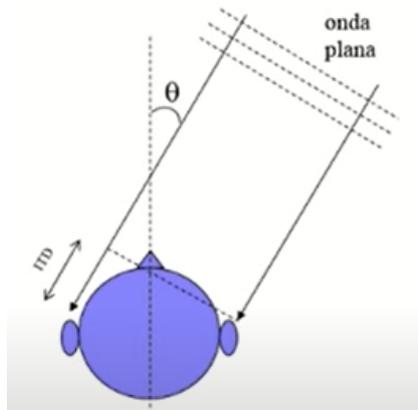
Es la localización de sonidos más habitual, son los sonidos que oímos de forma habitual a nivel de nuestra cabeza, al nivel del que nos movemos en la vida diaria.

El sistema auditivo de las personas tiene mayor resolución espacial en el eje horizontal que en otros planos del espacio auditivo. En el plano horizontal la resolución es mayor cuando la señal proviene desde el frente de la cabeza que cuando provienen de los lados.

Una onda, que llega a la cabeza con un ángulo, tarda más en llegar a un oído que a otro, esta diferencia de tiempos se denomina *diferencia de tiempo interaural* (ITD).

La ITD se da principalmente porque las dos orejas están separadas por la cabeza, que es un elemento que actúa como pantalla. Para frecuencias cuya longitud de onda es menor que el diámetro de la cabeza no hay difracción, sino lo que se produce es sombra acústica, dándose una diferencia de nivel que va en función del ángulo de incidencia de la onda.

También la ITD depende del ángulo de posicionamiento de la fuente, y el retardo (pequeño) que se da entre las señales que llegan a cada uno de los oídos está asociado a la diferencia entre los caminos recorridos (Ilustración 15).



**Ilustración 15. Direccionalidad del sonido**

(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV) [56]

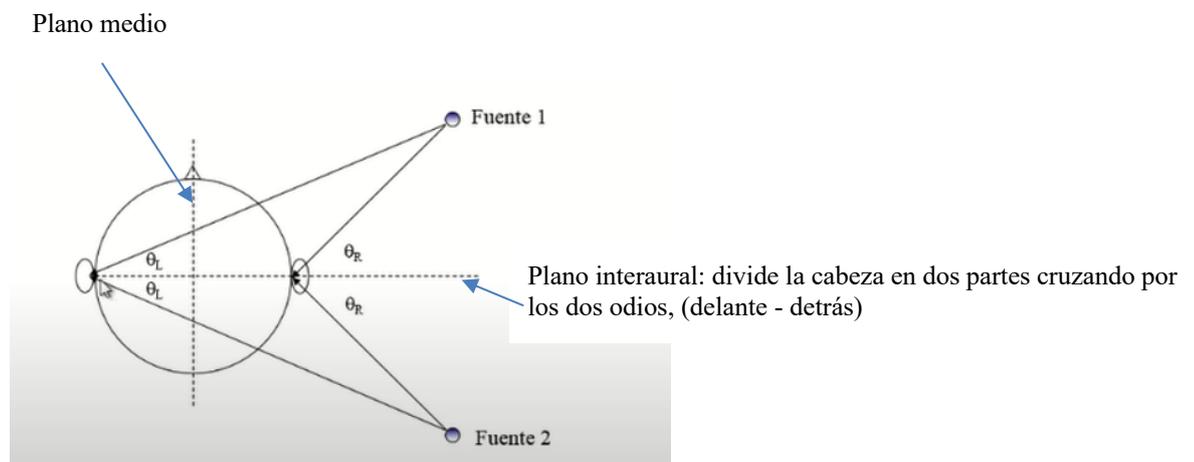
En la imagen vemos un gráfico con la cabeza de una persona desde un plano cenital. Se puede ver que la onda no llega de frente, la onda llega 1º al oído derecho que, al izquierdo, esta diferencia de tiempos de un oído a otro se denomina ITD (Diferencia de Tiempo Interaural)

(Fuente: Miyara, *Psicoacústica*) [58]

En la imagen se puede ver claramente la direccionalidad del sonido. El recorrido entre la fuente sonora y el oído izquierdo es menor que el correspondiente al oído derecho  $d_{izq} < d_{der}$ , por ello el sonido llega antes y con mayor presión al oído izquierdo que al derecho.

Lo que hace la ITD es medir la diferencia de tiempo de llegada de un sonido en los dos oídos. Esta diferencia de tiempo es usada por el cerebro para calcular la procedencia de la fuente emisora, pero hay que recordar que estas diferencias funcionan como mecanismos de localización binaurales, puesto que se comparan las señales llegadas a los dos oídos para construir la localización del sonido. Por lo que debemos tener en cuenta que estas diferencias solo permiten la localización de fuentes sonoras en el plano horizontal, este mecanismo no permite distinguir la elevación de las fuentes.

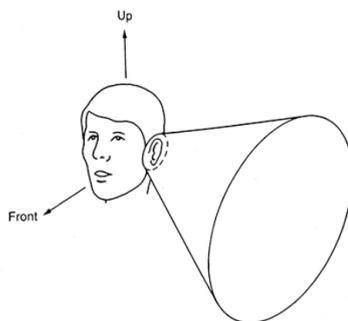
Se debe tener en cuenta que, para fuentes simétricas, es decir, fuentes simétricas respecto al plano interaural, se produce una ITD igual, dando lugar a confusión entre delante y detrás (Ilustración 16).



**Ilustración 16. Plano interaural**

(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV) [56]

Otro problema que se puede dar es que la fuente no esté exactamente en el plano horizontal, lo que ocurre es que tiene una ITD igual (Ilustración 17).



**Ilustración 17. Cono de confusión**

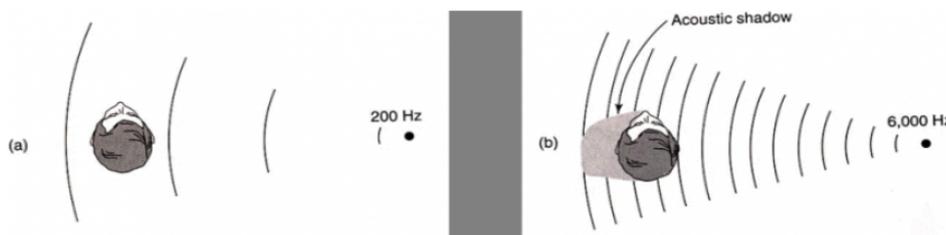
(Fuente: Lebrón Ruiz Aitor (2016) *Diseño y Construcción De Dummy Head Destinada A La Recreación De Entornos Virtuales*, 2016 p. 15) [59]

Cono de confusión en torno a un oído, los sonidos que se emitan en la superficie del cono podrían generar esa confusión sobre su procedencia. Si observamos la imagen poder ver que cualquier punto de la superficie del cono tiene una ITD igual, haciendo prácticamente imposible que el oyente realice una localización precisa de las fuentes, es a lo que se le llama cono de confusión

Otro problema que se da en el mecanismo de localización en el plano horizontal es el de la ambigüedad de fases a altas frecuencias. La ITD que detecta nuestro sistema auditivo la procesa el cerebro como una diferencia de fases, es decir, el cerebro no tiene la rapidez suficiente para detectar esas pequeñas diferencias de tiempo, cuando llega a un oído y cuando llega al otro, entonces lo que hace el cerebro es procesarlas como una especie de diferencia de fases. Cuando la onda está en el oído derecho va avanzando, cuando llega al izquierdo esa fase tendrá una cierta diferencia, ese tiempo se traducirá en una diferencia de fase. Por ello, la ITD es interpretada por el sistema auditivo como una diferencia de fases. Por todo ello, por encima de 1.5 KHz el mecanismo de ITD no es operativo.

Dado que la ITD no siempre es útil como mecanismo para darnos información en el plano horizontal, se cuenta con otro mecanismo para corregir las ambigüedades que aparecen debido a la relación de fases entre los dos oídos, ese mecanismo es *la diferencia de intensidades entre los dos oídos*.

Po otra parte, si una fuente se encuentra más hacia la derecha, no solo su sonido nos llega antes, al oído derecho, sino que también nos llega más fuerte, la explicación radica en que el otro oído está bloqueado por la cabeza, para que el sonido llegue al otro oído debe sortear la cabeza, a esto se le denomina *efecto de sombra* y esto nos puede ayudar a localizar el sonido, porque va a producir una diferencia de intensidad dependiendo del ángulo de llegada. Es importante destacar que cuando la ITD empieza a producir ambigüedades (alrededor de 1.5 kHz), la cabeza empieza a funcionar como efecto sombra. A bajas frecuencias la cabeza casi no produce efecto sombra, porque la difracción que produce es pequeña por su tamaño, se habla de pequeña comparado con la longitud de onda (Ilustración 18).



**Ilustración 18. Efecto sombra**

(Fuente: Crespo, Mario. *¿Cómo ubicamos los sonidos en el espacio? Binauralidad y Teoría Dúplex*. 2017. [55])



En la imagen se puede observar una onda y una cabeza. Se ve que la onda llega al oído derecho primero y después como choca con la cabeza, para llegar al otro oído debe sortear la cabeza en todas direcciones (por arriba, por abajo, etc...). En la parte izquierda se observa un vacío (lo que se llama sombra del campo acústico) luego de nuevo se proyecta hasta una cierta distancia donde por el efecto de difracción se vuelve a restituir el campo y la onda vuelve a funcionar como una onda plana. Podemos observar también es mayor cuanto mayor es la frecuencia y muy importante a partir de 1500Hz.

Este efecto de sombra dependerá de la longitud de onda, si la longitud de onda es pequeña comparada con el tamaño de la cabeza, la sombra será más grande, si la longitud de onda es mayor la zona de sombra será menor.

El efecto de sombra dependerá de la frecuencia. Donde la longitud de onda del sonido tiene varios metros, la cabeza no va a producir casi sombra y la presión que se va a producir en el oído más alejado va a ser prácticamente la misma que el oído más cercano, por lo que a frecuencias bajas será difícil predecir la dirección de llegada por la diferencia de presiones. En cambio, si son frecuencias altas (5 o 6 kHz) donde la longitud de onda es corta, el efecto de sombra si se va a producir y la presión en el oído más alejado va a ser mucho más débil que el oído más cercano. Es así como nuestro sistema auditivo puede reconocer si la señal viene de una dirección porque en el primer oído la señal la va a oír mucho más fuerte que el segundo.

Todo lo anterior da lugar a una diferencia de intensidades que se denomina IID o ILD (diferencia de intensidad interaural o diferencia de nivel interaural).

Hasta ahora hemos visto de forma independiente los mecanismos de diferencia de tiempos y la diferencia de intensidades, ahora describiremos como se integra todo esto en el cerebro de las personas.

Hemos de tener en cuenta que la percepción de la distancia es un mecanismo combinado, a frecuencias por debajo de 1.5kHz el cerebro interpreta la dirección utilizando la diferencia de tiempos (ITD), para más de 1.5kHz el cerebro interpreta la dirección de la señal utilizando la IID, es decir el mecanismo de diferencia de intensidades.

La transición entre ambos mecanismos se hace de forma progresiva, en la zona común ambos se complementan, y a partir de una cierta frecuencia un mecanismo ignora al otro.

Finalmente es el cerebro el que se encarga de procesar ambas medidas y extrapolar la dirección de llegada de la señal.

Oído envía impulsos y niveles → cerebro extrapola los datos en base a la experiencia

Se ha de tener en cuenta que a mayor frecuencia más atenuación debido a la difracción, esa atenuación irá desde 0db a frecuencias bajas hasta llegar por encima de los 30db para fuentes situadas a 90° y a 20 kHz.

#### 1.3.2.2.2 Mecanismos de localización del sonido para la percepción de la elevación

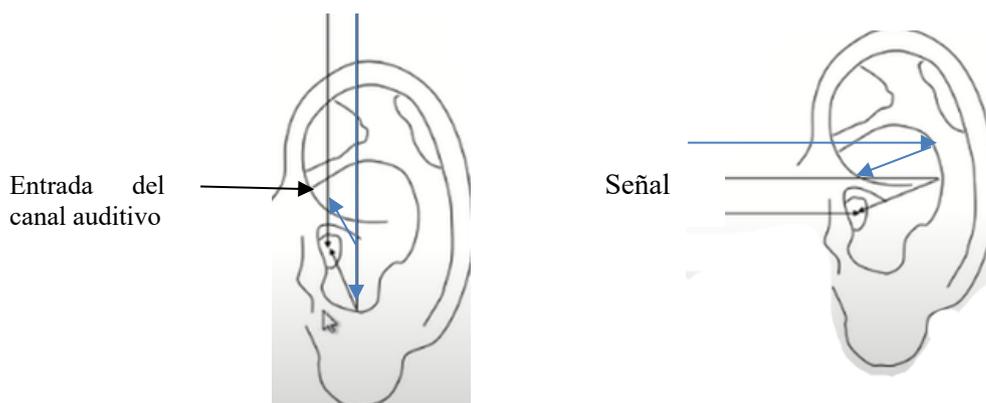
Mecanismos necesarios porque las fuentes sonoras no solo llegan el plano horizontal, sino que las personas también pueden percibir el ángulo de incidencia del sonido en el plano vertical, este caso se habla de elevación, cuando la señal proviene con un ángulo de incidencia diferente de cero en el eje vertical. Son mecanismos que localizan los sonidos que nos vienen de una dirección diferente al plano donde nos movemos, más arriba o más abajo.

Una vez el cerebro ha localizado una fuente en el plano horizontal suele ser necesario en algunas ocasiones saber su elevación, pues no se encuentra en el plano horizontal, como hemos dicho antes puede estar por arriba o por debajo.

Hasta ahora se han visto los mecanismos de percepción horizontal que se basan en los dos oídos, que se encuentran en el plano horizontal, para poder hacer lo mismo en el plano vertical deberíamos contar con un tercer oído, que no tenemos, por lo que no es posible utilizar los mecanismos que

conocemos para el plano horizontal (ITD), así que para localizar sonidos en el plano vertical las personas utilizamos otros mecanismos. Uno de ellos es usar el pabellón auricular de la oreja, que recoge las señales antes de entrar en el canal auditivo. La oreja produce un filtrado de las altas frecuencias en función de la dirección de llegada. Aquí la oreja funciona como una antena que filtra dependiendo de la frecuencia y del ángulo de llegada (Ilustración 19).

Señal: parte entra en el canal auditivo directamente, y parte de esta produce microrrebotes en los pliegues que luego entran al canal



**Ilustración 19. Respuesta del oído en función del ángulo de la inclinación**

(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV [\[56\]](#))

En la imagen se puede ver una oreja humana, que tiene una serie de pliegues, y la entrada al canal auditivo. Cuando una señal llega de una determinada dirección produce unos microrrebotes en los pliegues de la oreja. Estos rebotes producen un efecto de filtrado, que además depende de la frecuencia, ya que las distancias donde rebotan hasta llegar al canal producen desfases diferentes en cada frecuencia.

La oreja produce una alteración de la señal de llegada fundamentalmente entre 5 y 10Khz en función de la elevación desde donde llega la señal. Los estudios frecuenciales demuestran que el oído va a detectar esa alteración de la señal y va a extrapolar de donde viene en función de cómo se han alterado sus altas frecuencias. Este es el mecanismo principal de detección de la elevación del sonido, para intentar predecir la elevación. También hay que tener en cuenta que el rebote del sonido en el hombro puede influir.

### 1.3.2.2.3 Mecanismos de percepción de la distancia

Son mecanismos con los que cuentan las personas para la localización del sonido son los relacionados con la percepción de la distancia, estos son mecanismos que nos ayudan a saber a qué distancia está un objeto de nosotros. Son cinco y se deben tener en cuenta para percibir la distancia de una fuente sonora en la percepción de la elevación, no siempre se utilizan todos (se puede utilizar uno, varios o todos).

Uno de los mecanismos relacionados con la localización del sonido en relación con la percepción de la distancia es la intensidad. Teniendo en cuenta la intensidad sabemos si los sonidos más alejados llegan más atenuados, cuando nuestro cerebro percibe un sonido más débil, interpreta a priori que está más lejos, aunque esto no siempre es así, ya que hay sonidos que suenan más débiles que otros, por lo que esto nos puede impedir conocer cuál es la potencia que tiene el sonido origen.

La atenuación con la que recibimos un sonido es la potencia de ese sonido al transmitirse dividido por la potencia al recibirlo.

Nuestro oído percibe la potencia con que recibimos el sonido, nos da una información de presión. Si conocemos la potencia que tenía el sonido originalmente, podemos calcular la atenuación y ésta está relacionada directamente con la distancia.

De forma matemática podemos calcular la atenuación que es lo que nos permitirá conocer la distancia.

$$A_t = P_t / P_r$$

Donde:  $P_t$  (potencia sonido origen)

$P_r$  (potencia sonido recibido por el oído)

Para poder conocer la atenuación necesitamos conocer la potencia original del sonido y la potencia que nos llega (esta la conocemos porque nos la da nuestro oído), pero la fuente original debemos conocerla anteriormente. Generalmente, conocemos la potencia original, pues cuando oímos un sonido lo reconocemos, sabemos si el sonido de una sirena es fuerte o débil, el sonido de un animal, etc., generalmente conocemos cuáles son las intensidades de los sonidos que oímos.

Este mecanismo combina la física, la capacidad de recibir de nuestro oído, con el conocimiento que tenemos a priori de cuál es la potencia transmitida por el sonido origen.

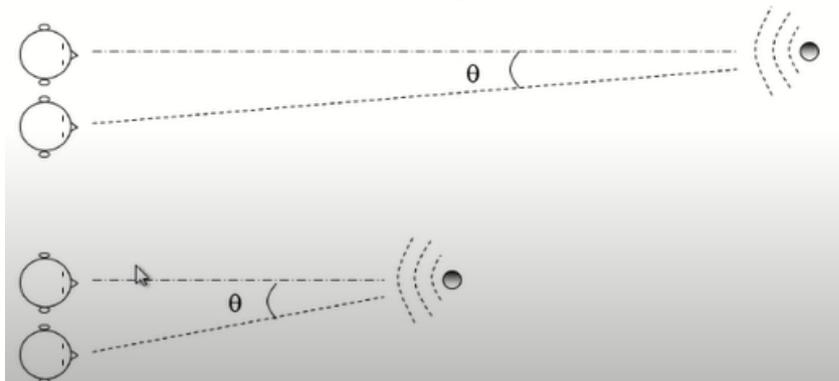
La intensidad es un mecanismo que es útil cuando somos capaces de conocer los parámetros de la potencia del sonido original y la potencia del sonido que nos llega al oído.

Pero puede darse el caso donde el individuo no conozca a priori la potencia transmitida del sonido origen, es decir, un sonido que no haya oído nunca, en este caso no podríamos conocer la potencia de la señal origen y este mecanismo de la percepción de la intensidad no sería útil para conocer la distancia.

Por ello también para la percepción de la distancia se cuenta con el mecanismo de atenuación de altas frecuencias, que se basa en que en general el aire atenúa las frecuencias más altas que las bajas, conforme aumenta la frecuencia de la señal de audio se produce más rozamiento en las partículas de aire y una atenuación mayor (atenuación por fricción), esta atenuación no sigue el patrón de propagación de onda, sino que es una atenuación de tipo de rozamiento, por lo que afecta más a las altas frecuencias y se atenúa de forma diferente. Por regla general conocemos que componentes de altas frecuencias tiene un sonido, ej. cuando oímos una señal sabemos si tiene falta de graves o de agudos, es decir si tiene falta de algún tipo de frecuencia. Se puede suponer, generalmente, que cuanto más atenuadas recibamos las altas frecuencias más lejos estará la señal, esto no es algo preciso, pero ayuda a la localización.

#### 1.3.2.2.4 Mecanismo de Paralaje por movimiento.

Este es un mecanismo que se utiliza cuando tenemos señales de muy alta frecuencia y que no vemos, por ello para intentar localizarlas lo que hacen las personas es moverse de un lado a otro, no para verla, sino para ver cómo cambia el balance de intensidades entre nuestros oídos. Así, si la señal u objeto que la produce está muy alejado de nosotros. un movimiento lateral producirá muy poco cambio en la diferencia de intensidades de los oídos (la diferencia de intensidad no cambiará apenas porque estará, aunque nos movamos un poco, siempre delante de nosotros), pero en el caso de que el objeto esté cerca y nos movemos de derecha a izquierda sí que se notará un cambio sustancial de intensidad entre los dos oídos, debido al efecto de diferencia de intensidades (Ilustración 20).



**Ilustración 20. Mecanismos de paralaje por movimiento**

(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV) [\[56\]](#)

Exceso de diferencia de intensidad interaural (IID) es un mecanismo que se utiliza principalmente para detectar objetos muy próximos al oído. Funciona de tal manera que cuando el objeto está muy cerca de nuestra cabeza la onda que nos llega no es plana, es una onda esférica, entonces el efecto de difracción aumenta mucho, debido a que la onda no impacta en forma plana sino esférica y la sombra que produce la cabeza es mayor. Este tipo de mecanismo suele ser más un mecanismo de defensa, por ejemplo, cuando tenemos un mosquito cerca de la oreja, la diferencia interaural aumenta mucho y eso produce un mecanismo de alerta en el oído, indicándonos que tenemos algo muy cerca de nosotros produciendo una diferencia de intensidades fuera de lo normal, de las que consideran para la onda plana

#### 1.3.2.2.5 Relación sonido directo a sonido de reverberación.

Este mecanismo es útil para localizar el sonido cuando estamos dentro de una sala, en este supuesto a la persona le llega señal directa y señal reflejada en las paredes, es lo que se conoce con el nombre de reverberación o campo de reverberación. Este campo tiene un valor similar en todos los puntos de sala. Por ello hay que tener en cuenta que la parte de reverberación que produce el sonido en una sala no depende de donde estemos situados en la sala en cuanto a la potencia. Sin embargo, la señal directa que nos llega de la fuente si depende de la distancia, es decir, cuanto más se aleja la fuente menos señal no llega. Por ello, si estamos en una sala y la señal directa que nos llega es muy grande comparada con la señal de reverberación significará que el objeto está cerca y viceversa. La relación entre la señal directa y los rebotes nos da una idea de la distancia dentro de una sala.

Mecanismos de la percepción de la distancia	
<b>Intensidad</b>	Los sonidos más lejanos llegan más atenuados, a más atenuación, más distancia
<b>Atenuación de altas frecuencias</b>	En la transmisión por el aire, las altas frecuencias sufren una atenuación superior a las bajas
<b>Paralaje por movimiento</b>	Se realiza un pequeño desplazamiento lateral de la cabeza. Cuanto más alejado esté el objeto, menor será el ángulo en el desplazamiento del paralaje
<b>Exceso de diferencia de intensidad interaural (IID)</b>	Este mecanismo se emplea para objetos que están muy cerca del oyente. Cuanto más cerca está un objeto de la cabeza del oyente, mayor es la diferencia de intensidad interaural. Para objetos próximos a los oídos, puede ser muy elevada
<b>Relación sonido directo a sonido de reverberación</b>	Este mecanismo se aplica en espacios interiores, donde existe reverberación. El campo reverberado tiene un valor similar en todos los puntos de la sala. Sin embargo, la señal directa de la fuente se atenúa con la distancia. El cerebro interpreta la relación entre ambas para estimar la distancia a la fuente

Tabla 14. Mecanismos de la percepción de la distancia

En la tabla se pueden observar un cuadro resumen de los diferentes tipos de mecanismos que se utilizan para la percepción de la distancia, para su elaboración la información ha sido extraída de MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV[56]

### 1.3.2.3 Función de transferencia relacionada con la cabeza (HRTF, Head-related transfer function)

Hasta ahora hemos visto los diferentes mecanismos que utiliza el sistema auditivo humano y los órganos asociados para localizar los sonidos que nos rodean. Se ha hecho una descripción de cada uno de ellos, en las siguientes líneas se intentará explicar si es posible de alguna manera modelar a través de operaciones matemáticas de la teoría de la señal esos efectos. Según esta teoría existe la función que se llama HRTF<sup>31</sup> (*función de transferencia relacionada con la cabeza*), que engloba todos los aspectos direccionales que intervienen en la percepción de sonido.

Para modelar la diferencia de intensidades entre los dos oídos, la diferencia de tiempo de llegada y los efectos de difracción que se producen en la cabeza, en los hombros y en el pabellón auricular, es necesario poder medir el canal acústico entre la fuente, puede ser un altavoz, y un micrófono que estuviera a la entrada del canal auditivo.

Podemos decir que es una función que engloba todos los aspectos direccionales en la percepción del sonido.

<sup>31</sup> HRTF, Esta función está caracterizada por como un oído recibe un sonido desde un punto en el espacio. A medida que el sonido impacta en el oyente, la densidad de la cabeza y el tamaño y forma de los pabellones de audición transforman el sonido y esto afecta a como se percibe la señal, atenuando algunas frecuencias y aumentando otras.



Cada individuo tiene una HRTF, esta función depende del ángulo horizontal (azimut), el de elevación y la frecuencia. Se puede utilizar tanto en el dominio frecuencia como en el temporal.

Los métodos de personalización de la HRTF son: medir de forma exacta la HRTF de la persona, hacer un modelo acústico computacional de la cabeza, tener en cuenta el término del vecino más cercano y escalar una HRTF estándar.

Como ya se ha visto en un ambiente natural, las personas percibimos los sonidos en tres dimensiones y somos capaces de localizarlos. El cerebro a lo largo de la vida se va entrenando y reconoce los parámetros que se han estudiado anteriormente.

En relación con el sonido tridimensional, su clave está en el uso de funciones de transferencia de la dirección y la frecuencia. En el campo de la realidad virtual, hoy en día existen medios de edición y manipulación de la señal digital que permiten la elaboración de aplicaciones relacionadas con la percepción del audio.

La HRTF es la transformada de Fourier de la respuesta al impulso sobre el canal auditivo HRIR (*Head Related Impulse Response*). De la respuesta al impulso se pueden extraer las diferencias interaurales de tiempo e intensidad. Realizando la transformada de Fourier<sup>32</sup>, podemos obtener la respuesta en frecuencia y los cambios espectrales dependientes de la dirección de incidencia del sonido.

La HRTF captura las cualidades que las personas utilizamos para localizar la fuente sonora. Una vez se conocen esos parámetros para ambos oídos, se pueden sintetizar señales binaurales a partiendo de una señal monoaural.

Esta función depende de 4 variables, una frecuencial y tres espaciales. En distancias superiores a un metro, se dice que la fuente está en el campo lejano de audición y la HTRF cae con el inverso de la distancia. Las mediciones de la HRTF en su mayoría se miden en el campo lejano, porque así dependerá principalmente del azimut, la elevación y la frecuencia.

En cuanto a la medición de la HRTF hay dos formas de ejecutarla, la primera y más frecuente es por medio de un maniquí que emule las características fisiológicas de la persona, la segunda es realizar la medición con las personas (Ilustración 21). [\[59\]](#)

---

<sup>32</sup> La transformada de Fourier es una transformación matemática que se usa habitualmente, para transformar señales entre el dominio de tiempo o espacio al dominio de frecuencia



Medición de la HRTF con un maniquí



Medición de la HRTF con una persona real

### Ilustración 21. Medición HRTF

(Fuente: Ingeniería de Ondas. Universidad de Valladolid (2004) [60])

Se generan secuencias LSS (Long Sine Sweep) o de ruido blanco, que son capturadas por un micrófono, que está situado donde estarían las orejas, si es dummy head, o en la entrada del oído si la medida la estamos realizando con una persona

Las mediciones se suelen hacer en un espacio sin reflexiones, generalmente en una cámara anecoica.

Datos principales que se extraen de la medición de la HRTF:

- Diferencias interaurales de tiempo: Analizando las diferencias de tiempo entre las respuestas al impulso de los dos oídos, se extrae la ITD, para diferentes posiciones de la señal.
- Diferencias interaurales de intensidad. El ILD junto con la ITD son denominados pistas binaurales, de aquí se extrae la información para la localización en el plano horizontal.
- Diferencias espectrales. La frecuencia varía según la posición de la fuente en el espacio tridimensional. La oreja, en concreto el pabellón auditivo, funciona como una cavidad de resonancia, que amplifica algunas frecuencias y su forma (pliegues) generan ciertos efectos de interferencia que atenúan otras frecuencias. Cuando el ITD y el ILD se hacen iguales la función de transferencia se convierte en algo fundamental para la ubicación de la fuente, la localización es realizada con la convolución de la señal y los efectos de la fisiología humana, incluyen cabeza, hombros y oídos. La información que nos da es fundamental para determinar la elevación y la ubicación trasera o delantera de la señal.

Los sistemas que se utilizan basados en HRTF pueden simular, el azimut, la elevación y la distancia, lo que en la teoría se puede pensar que son capaces de crear la impresión de un sistema en 3D, no es del todo así, ya que existen diferencias entre las personas y también hay limitaciones computacionales. En la práctica resulta mucho más fácil controlar el plano horizontal que la distancia y la elevación. Aunque existen estas limitaciones, hay sistemas basados en HRTF que se están convirtiendo en un estándar para los sistemas de sonido 3D.

Resumiendo todo lo anterior podemos decir que:

- La direccionalidad del sonido es percibida fundamentalmente gracias a la audición binaural (dos oídos).
- Los caminos entre la fuente y los oídos son de diferente longitud, por lo que se produce una diferencia de tiempo interaural, *ITD*
- También hay una diferencia de intensidad interaural, *IID*, que obedece a dos factores: la diferencia de distancia y la atenuación de la propia cabeza.
- La diferencia de distancia influye debido a la divergencia geométrica (atenuación por distancia) del campo sonoro.
- La atenuación de la cabeza se debe al efecto pantalla que la misma causa en el oído menos expuesto.
- A causa de la difracción se producen variaciones del sonido percibido en un mismo oído.
- Todo lo anterior se puede evaluar mediante la función de transferencia de la cabeza, HRTF (Head Related Transfer Function). Esta función expresa la atenuación para diferentes ángulos y frecuencias y la HRTF se puede medir mediante la construcción de maniqués que representen una persona promedio.

Actualmente, la HRTF se utiliza en los sistemas de realidad virtual para simular la ubicación espacial de una fuente.

Hoy en día se puede ver que el sonido juega un papel muy importante a la hora de transmitir sensaciones e interactuar con el oyente en los entornos virtuales, el cine, etc. El sonido 3D que se genera con el uso de la HRTF, es una herramienta muy útil, ya que permite sumergir al sujeto en un espacio recreado. También se cuenta con diferentes herramientas ingenieriles que permiten recrear artificialmente la localización de los sonidos.

Como ya hemos visto, la cabeza, el torso y el oído externo modifican las ondas sonoras antes de llegar a los tímpanos de un oyente. Las ondas, por la separación que tenemos entre ambos oídos, siguen caminos distintos, dando lugar con ello a una diferencia de tiempo que se conoce como diferencia de tiempo interaural (ITD). Dependiendo de la posición de la fuente, uno de los oídos puede quedar escondido por la cabeza (sombra acústica) produciendo una diferencia de nivel de presión sonora entre ambos oídos, lo que se denomina diferencia de nivel interaural ILD. El espectro de las ondas incidentes es modificado por las protuberancias y cavidades del oído externo que producen reflexiones y resonancias. Los fenómenos mencionados, esto es, la diferencia de tiempo y de nivel interaural y los espectros, son claves que las personas utilizan para localizar una fuente sonora en el espacio. Debido a aspectos como el tamaño de la cabeza y oído; ancho de hombro y torso; entre otras, las HRTF son diferentes entre individuos. Cuando las HRTF que se utilizan corresponde a las del oyente, la fuente se percibe compacta, externa y bien definida en una posición del espacio. Pero si las HRTF pertenecen a otro individuo, la fuente se escucha difusa y ubicada en el interior de la cabeza, según Blauert, (1997), científico alemán especializado en psicoacústica.

Las funciones de transferencia del oído, que son reconocidas por las siglas HRTF, dependen de la distancia de la fuente, la frecuencia, del ángulo de azimut y del ángulo de elevación. Desde el punto de vista práctico se obtiene la HRT de una persona o a través de una cabeza artificial poniendo micrófonos en los dos oídos y midiendo las respuestas para diferentes direcciones de la fuente. Las respuestas HRIR (*Head Related Impulse Response*) son después transformadas al dominio de frecuencias con la Transformada Discreta de Fourier (DFT), y esto forman las HRTF medidas para posiciones particulares de una fuente.

También si comparamos varias HRTF nos podemos hacer una idea de las transformaciones espectrales que tienen lugar al cambiar la posición de la señal.

En la actualidad para tratar de reproducir de forma artificial estas sensaciones para diversas aplicaciones: cine, realidad virtual (sonidos 3D ayudando a una mayor inmersión), medicina (diferentes test), etc. se cuenta con la ingeniería del sonido.

La medición de la HRTF no es fácil y es caro, existen diferentes bases de datos en internet que son de libre distribución, algunas de éstas son: MIT KEMAR, la CIPIC, la IRCAM, etc. [\[61\]](#)

#### **1.3.2.4 Sistemas de sonido espacial y sus sistemas de clasificación**

Existen diversas maneras de conseguir una inmersión acústica en los oyentes, hay diversos métodos con múltiples variantes.

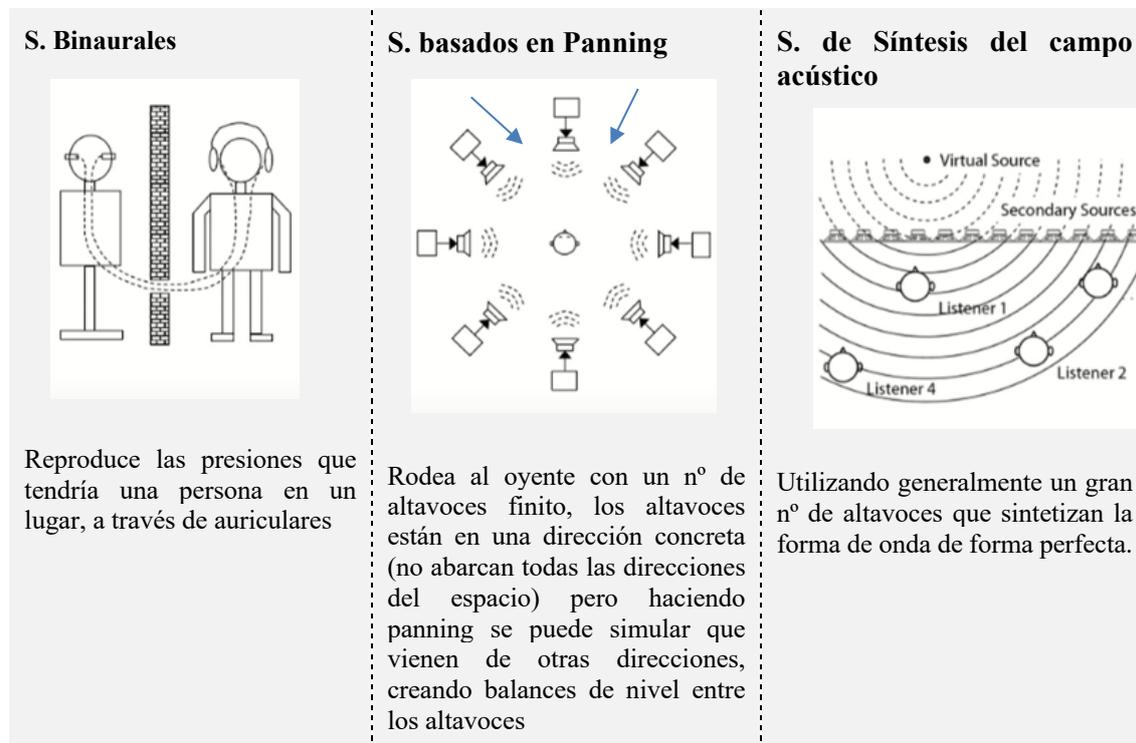
A la hora de utilizar un método u otro debemos tener en cuenta: el objetivo al que va dirigido (cine, música, realidad virtual...), ya que, según el objetivo, unos métodos pueden estar más indicados que otros; el segundo aspecto a tener en cuenta será la complejidad y el coste que podemos asumir, mayor complejidad mejor hardware más caro, número de canales de audio independientes, número de altavoces, todo esto encarece. En tercer lugar, el otro condicionante será a que personas va dirigido nuestro sistema de sonido espacial (una persona, el hogar, el cine, etc.) y el último aspecto a tener en cuenta es la percepción deseada, es decir, si se quiere un sistema muy realista necesitaremos una alta precisión, en otras ocasiones se necesitará menor precisión, pero mayor sensación.

Una de las diferentes las clasificaciones de los sistemas de sonido que se pueden hacer es la que se muestra en la tabla siguiente:

SISTEMAS DE SONIDO ESPACIAL. CLASIFICACIÓN		
Sistemas	Características	Tipos
<b>Binaurales</b>	Basados en la forma en la que oímos HRTF. Son métodos orientados a la escucha con auriculares	- Grabación binaural - Síntesis binaural
<b>Basados en Panning</b>	Desplaza una señal entre varios altavoces por medio de cambios de amplitud	- Estéreo - Sonido envolvente (Surround) - Vector base Amplitude Panning (VBAP)
<b>Síntesis de campo acústico</b>	Son los más modernos y avanzados, pero también los más complejos. Sintetizan el campo acústico de forma realista	- Ambisonics - Wave-Field Synthesis (WFS)

**Tabla 15. Sistemas de sonido espacial. Clasificación**  
(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV) [56]

En la Ilustración 22 se puede ver gráficamente cómo funcionan los tres sistemas.



**Ilustración 22. Sistemas de sonido espacial**  
(Fuente: MOOC Sonido Espacial y 3D | Universitat Politècnica de València UPV) [56]

En esta clasificación se pueden incluir, en su mayoría, los diferentes métodos de sonido espacial que existen.

De los sistemas explicados anteriormente en este proyecto se basa en sistemas binaurales, por lo que se explican brevemente.

**Sistemas binaurales.** Utiliza dos canales para transmitir el sonido espacial, pues solo tenemos dos oídos, dos transductores, oído derecho y oído izquierdo.

- Grabación binaural: es un método estático, si se mueve la cabeza el sonido se oye igual, no admite producción, tengo el sonido que grabé en su momento.
- Síntesis binaural: emplea una base de datos HRTF, es dinámico, nos permite utilizar fuentes y moverlas en el espacio.

En relación con estos sistemas la ventaja principal es que da una sensación de espacialidad muy realista y son sencillos. En cuanto a las desventajas, dependen de la particularidad de la oreja, pabellón auditivo, donde van los auriculares, y los auriculares a veces pueden generar efectos dentro de la cabeza.

Las reproducciones binaurales por auriculares son las más simples de adaptar en la realidad, pues nos permite tener una señal individual para cada oído. Su aplicación en la realidad virtual es muy importante, pero siempre está limitado por el uso de los auriculares.

Los sistemas binaurales demuestran que no es necesario tener múltiples canales para conseguir tener un sonido 3D, dos canales son bastante. Se trata de recrear las presiones del sonido en ambos oídos, como si la persona que oye se encontrará en el lugar real.

Para realizarlo se ponen dos micrófonos en los canales auditivos de un maniquí, o dos maniqués situados cerca de las orejas. Para grabar lo que nuestros oídos oyen.

Si el maniquí del que se dispone tiene la misma forma y tamaño de la cabeza serán recibidos los mismos tiempos de ITD y ILD, así, si tuviera el mismo pabellón auditivo con la misma forma y tamaño, la información de elevación será recibida perfectamente.

Este tipo de grabaciones se llaman grabaciones binaurales, y pueden producir casi un sonido 3D. Son económicos y efectivos, pero tiene sus desventajas: requieren el uso de altavoces, no son interactivos, deben ser grabados con antelación, si el oyente se mueve, también lo hace la fuente, las fuentes de sonido que están justo en frente, parecen que están muy cerca, los pabellones auditivos de cada persona no son iguales.

Para realizar unas mejores grabaciones binaurales es necesario tener una buena comprensión de las HTRF.

Los auriculares simplifican el problema de enviar distintas señales a cada oído, pero también dan otros inconvenientes, como por ejemplo en la realidad virtual, como son que a mucha gente no le gustan los auriculares (les resultan incómodos) y atenúan los sonidos externos, aíslan socialmente al oyente. Por otra parte, la respuesta en frecuencia de los auriculares puede tener picos y cortes que se parezcan a las de del pabellón auditivo. También los auriculares dan impresión de estar demasiado cerca (aunque no lo esté) y por último los efectos utilizados para dar una localización del sonido es muy sensible a la posición del auricular.

## Capítulo 2. Desarrollo del proyecto y resultados

El programa con el cual se han realizado estos dos módulos ha sido Max, de la compañía Cycling 74, en su versión Max 8. El por qué se ha utilizado este software en lugar de otros de los que existen en mercado para trabajar con los sonidos, es que Soundcool trabaja con este software y los módulos que se han creado se quiere que se puedan incluir dentro de este entorno.

Para realizar los módulos que se presentan se ha tenido que profundizar en el estudio de Max, pues el conocimiento del programa que se tenía era muy poco.

Max permite crear cualquier tipo de interfaz capaz de manipular señales de audio, MIDI, video y otras. Permitiendo no solo implementar plataformas interactivas, en este caso Soundcool, sino también sistemas de creación interactivos en sí mismos.

Es una de las plataformas más versátiles en cuanto a creación de bloques modulares

Como se verá en el desarrollo de los módulos, es un entorno orientado a objetos que se conectan entre sí. Es decir, Max es un lenguaje de programación para crear objetos con un entorno de desarrollo gráfico en tiempo real.

Brevemente el principio de funcionamiento de Max es la programación. Esta se realiza de forma visual, ya que como se verá más adelante, se parte de la organización de recuadros con objetos en los cuales se debe escribir la acción a realizar y estos objetos se conectan mediante cables, por así decirlo.

### 2.1.- Módulo 3Dspat

El primer módulo, llamado 3Dspat se basa en la utilización de las HRTF para la localización espacial. Para su desarrollo se ha utilizado Max, como se ha dicho anteriormente, y la librería HISSTools Impulse Response Toolbox (HIRT). Este módulo está pensado para una difusión sonora binaural mediante auriculares.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que no hay ningún objeto nativo de Max que realice la convolución mediante HRTF. Por eso, se ha tenido que buscar en librerías externas. Tras realizar una búsqueda sobre cómo implementar la HRTF en Max, se decidió utilizar la librería HISSTools Impulse Response Toolbox (HIRT). Esta librería contiene una gran cantidad de objetos para realizar la convolución mediante HRTF de diferentes maneras. En este caso, se va a utilizar el objeto *multiconvolve*<sup>33</sup> (Ilustración 23), ya que se cree que es el que más se aproxima a lo que se necesita. Dicho objeto realiza una convolución multicanal. En nuestro caso serán 2 canales para tener el formato estéreo, con una latencia muy baja que se podría aproximar a cero. Por eso, se puede afirmar que es una convolución en tiempo real. Se va a empezar a trabajar sobre el patch que aparece en la ayuda de cada objeto que proporciona Max de todos los objetos, para tener una base de programación.



Ilustración 23. Objeto multiconvolve

Para el correcto funcionamiento de la convolución se necesita cargar las muestras de las HRTF. En nuestro caso, se han utilizado las muestras del MIT, Instituto Tecnológico de Massachusetts [63]. Se han utilizado dichas muestras ya que se piensa que son las más exactas. También son las que más se utilizan en este tipo de investigaciones y proyectos. Las muestras se pueden descargar tanto en formato estéreo, 2 canales, como en formato mono, una para el canal izquierdo y otra para el canal

<sup>33</sup> multiconvolve: Convolución multicanal en tiempo real con latencia cero muy poca latencia.



derecho. En esta aplicación se han utilizado las muestras en formato mono para una mayor comodidad en la programación.

Para la realización de la convolución se necesita introducir las muestras en un buffer. Esto se puede realizar en Max mediante el objeto *buffer*<sup>34</sup>. Hay que tener en cuenta que el objeto *multiconvolve* solo acepta las muestras con una nomenclatura: *read LXeYa.wav*, siendo X el valor de elevación e Y el valor del azimut. Para el azimut, las muestras del MIT van de 0 a 355 grados con un paso de 5 grados. En nuestra aplicación, el azimut variará con un paso de 45 grados, empezando en 0. Por ello tendremos valores de azimut de 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 y 315 grados respectivamente. Para la elevación, las muestras proporcionadas por el MIT varían desde -40 grados hasta 90 con un paso de 10 grados. En nuestro caso, solo se van a utilizar valores de -40, -20, 0, 40 y 90 grados respectivamente. No se han utilizado todas las posibles muestras debido a que, aparte de añadir un coste computacional considerable, no hay una diferencia auditiva perceptible entre muestras con un azimut separadas 5 o 10 grados entre sí. Se ha realizado un experimento y se ha comprobado mediante la percepción de 10 sujetos<sup>35</sup>, que 45 grados en el azimut es suficiente para una clara diferenciación. Por el mismo motivo no se han utilizado todas las muestras de la elevación.

Para la aplicación, se ha utilizado la muestra con una nomenclatura inicial *XeYa.wav*. En primer lugar, mediante el objeto *prepend*<sup>36</sup> se le ha añadido la letra L y R respectivamente. Ahora las muestras pasan a llamarse *L XeYa.wav*. Gracias al objeto *regexp*<sup>37</sup>, y mediante su correcta programación, se eliminan los espacios para que las muestras pasen a llamarse *LXeYa.wav*. En estos ejemplos se pone L pero es igual para la muestra R.

Para llegar a la nomenclatura definitiva se vuelve a utilizar el objeto *prepend*, pero en este caso para añadir la palabra *read*. Las nomenclaturas de las muestras que salen del segundo *prepend* es *read LXeYa.wav*, que es la nomenclatura que necesita el objeto *multiconvolve* (como se ha comentado al principio de la explicación) y que son las muestras que entran en los buffers, teniendo un buffer para el canal izquierdo, L y un buffer para el canal derecho, R respectivamente. (Ilustración 24).

---

<sup>34</sup> *buffer*: Almacena muestras de audio.

<sup>35</sup> Los sujetos han sido el alumnado de tercero y cuarto de Sonología del Conservatorio Superior de Música de Valencia, Joaquín Rodrigo.

<sup>36</sup> *prepend*: Añade al inicio el mensaje deseado a un input.

<sup>37</sup> *regexp*: Elimina el espacio que se encuentra en el input. En este caso en formato mensaje.

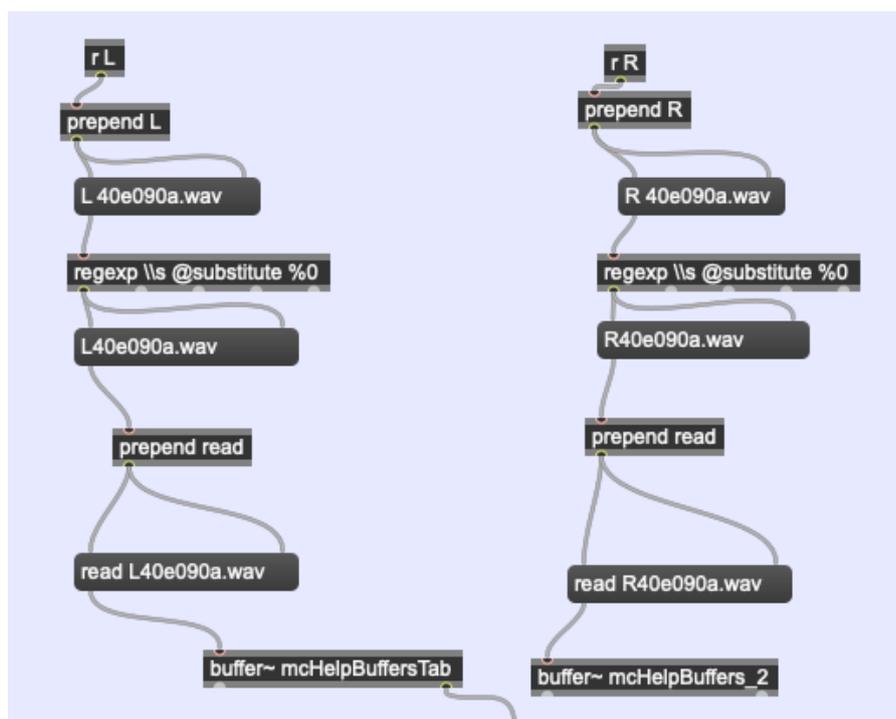


Ilustración 24. Objetos para llegar a la nomenclatura final de las HRTF del módulo 3Dspat

Para que el usuario o usuaria pueda escoger que HRTF utilizar, se han utilizado unos botones llamados *toggle*<sup>38</sup>. En nuestro caso estos botones se han modificado desde el punto de vista gráfico para que aparezcan como rectángulos rojos. Cuando se pulsa este *toggle* con el ratón, se carga esa HRTF y se realiza la convolución. También, el *toggle* pasa a ser de color verde para una mejor visualización. El principal problema es que se quería que cuando se pulse un segundo *toggle*, el primer *toggle* se apague y el seleccionado se ponga en rojo para saber exactamente la HRTF que se ha utilizado. El *toggle* dispara un valor 1 al activarlo, y 0 al desactivarlo, por este motivo se ha procedido a una programación que permitiera utilizarlos como interruptores alternativos entre ellos. En primer lugar, para apagar todos los *toggles* excepto el pulsado, se envía un cero a todos los pulsadores que no se han pulsado. Esto se realiza con un delay de 25 milisegundos. Cuando se ha pulsado el *toggle*, el 1 enviado pasa por una comparación. Si el valor que entra es igual a 1, se envía un impulso (en Max se suele denominar simplemente *bang*). Esto se ha programado para que si se pulsara dos veces con la acción de encender/apagar, en la segunda pulsación que sería la de apagar, no se envíe el *bang*. El *bang* que sale del objeto condicional *if*<sup>39</sup> es el llamado *outif* y es el que acciona el envío de ceros a todos los *bangs*, incluido el pulsado, después de 25 ms. Este cero es el llamado *reset*. El *bang* que sale del *if*, después de 50 ms, se convierte en un 1 para accionar el pulsador y para accionar el envío de la primera nomenclatura de la HRTF, una nomenclatura no definitiva como se ha explicado en el apartado anterior. Al utilizar tiempos tan pequeños, parece que el pulsador se enciende justo cuando es pulsado. Como aportación a la programación se ha utilizado un formato de objeto con conexiones inalámbricas mediante el objeto *send* para envío y *receive* para respuesta para no tener que conectar mediante cable todos los objetos. Se ha realizado de esta manera ya que si se realizara mediante cables, la comunicación interna del patch se hace demasiado compleja y el ordenador se ralentizaba demasiado hasta el punto de no poder trabajar. (Ilustración 25) (Ilustración 26).

<sup>38</sup> *toggle*: Interruptor que cambia entre off y on (0 para off y 1 para on)

<sup>39</sup> *if*: Evalúa el input acorde a la condición que se escriba en el objeto.

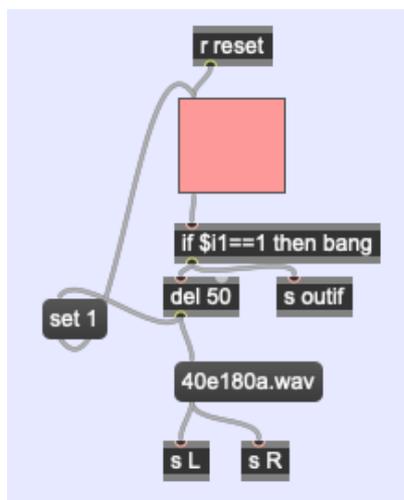


Ilustración 25. Toggle del módulo 3Dspat

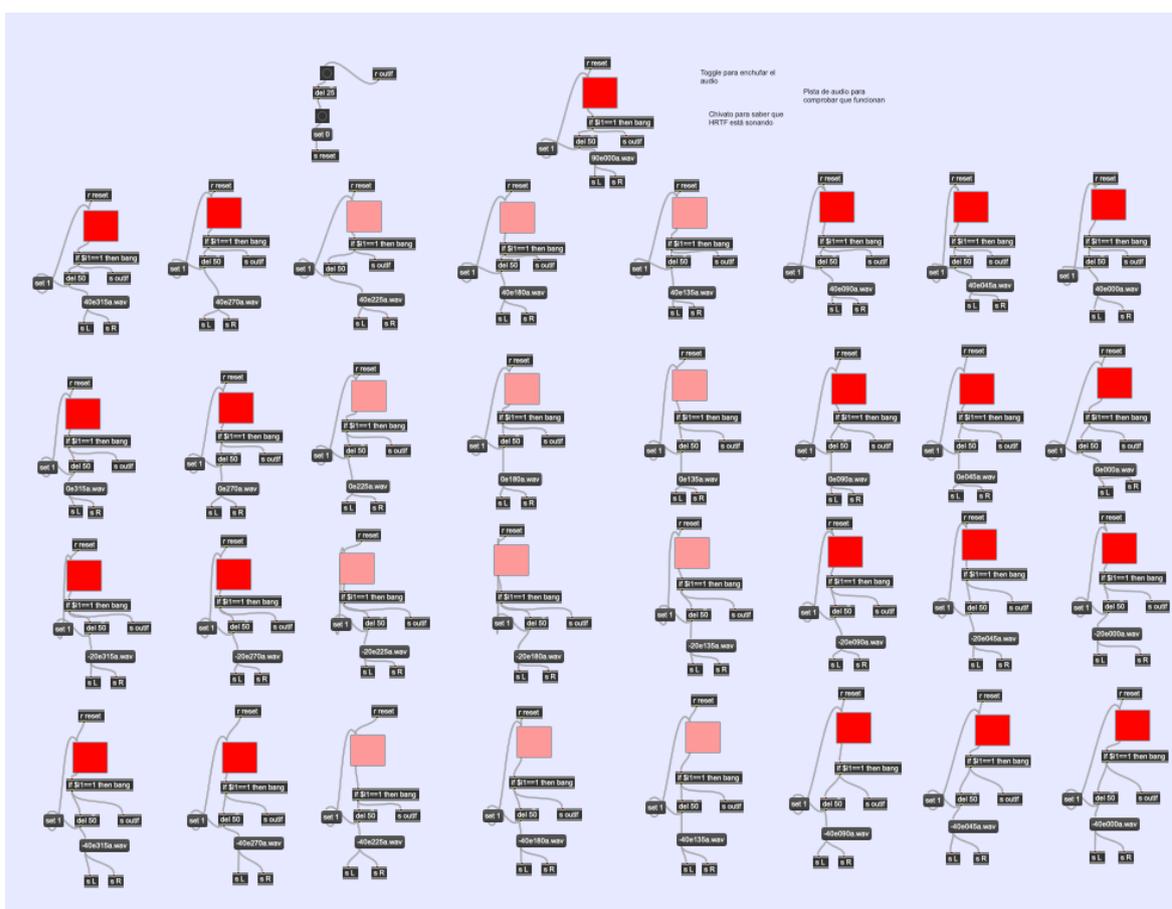


Ilustración 26. Todos los toggles del módulo 3Dspat

Para el interfaz de usuario/a se han tenido que crear una esfera en la que se pudieran colocar los *toggles* en cada una de las posiciones de las HRTF. La esfera es en realidad justo algo más que una semiesfera, ya que la elevación más baja del MIT es -40 grados. La esfera ha sido descargada gratuitamente de la página web Canva [64] y se le han añadido puntos de color rojo para identificar

las posiciones. Encima de cada punto se ha colocado el *toggle* correspondiente ya que se necesita que se pulse el *toggle* no el punto rojo de guía. (Ilustración 27).

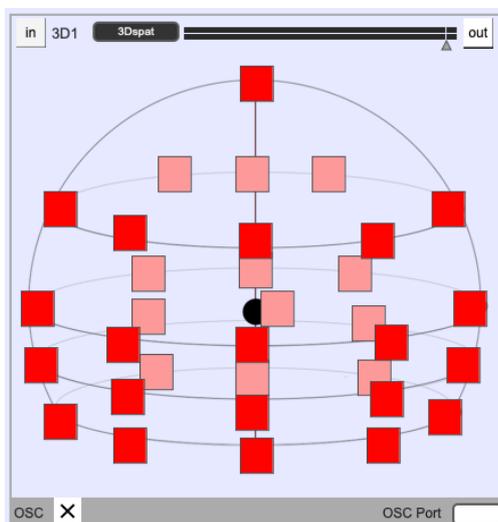


Ilustración 27. Interfaz de usuario/a del módulo 3Dspat

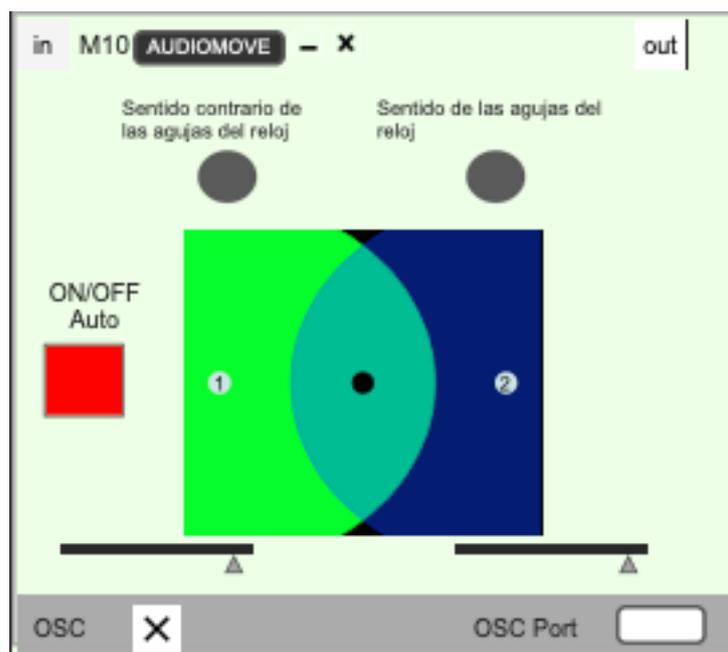
Como resumen, el funcionamiento del módulo se puede definir de la siguiente manera:

Al pulsar el cuadrado rojo que se quiera, la muestra de sonido que se esté escuchando pasará a realizar una convolución en tiempo real con la HRTF del MIT de dicha posición. Si se quiere cambiar la localización espacial de la muestra, se pulsa otro cuadrado rojo y este se pone en color verde poniendo el anterior en rojo automáticamente. El cambio de localización espacial de la muestra es casi automático en cuanto a la escucha del sonido.

Para que la aplicación funcione de manera correcta, tanto las HRTF, como el objeto *multiconvolve*, como la esfera se necesita que se encuentre en la misma carpeta del patch principal para que cuando se abra el patch, este lo lea de forma automática.

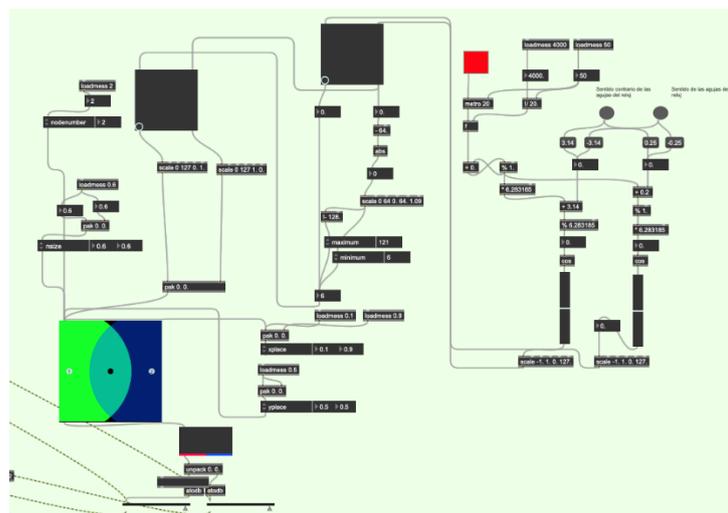
## 2.2.- Módulo Audiomove

El segundo módulo, llamado Audiomove, está pensado para la difusión sonora mediante altavoces y permite un control en el posicionamiento espacial libre, aunque limitado al plano horizontal. El usuario o usuaria puede mover una bola negra para controlar el posicionamiento de la fuente de sonido en el espacio, mediante una precisa distribución del sonido entre los altavoces disponibles. También se puede programar de forma automática el movimiento circular en el sentido deseado. Se han realizado varias operaciones matemáticas para conseguir un movimiento fluido y lo más circular posible. La interfaz de usuario/a la conforman dos círculos muy grandes que simbolizan los altavoces. El círculo verde representa el altavoz izquierdo, L y el círculo azul representa el altavoz derecho, R. (Ilustración 28).



**Ilustración 28. Interfaz de usuario/a del módulo Audiomove**

La bola negra es la posición de la fuente sonora. Esta bola es el parámetro que el usuario o usuaria puede mover con el ratón para cambiar la localización espacial de la fuente sonora. (Ilustración 29). Este módulo se podría potenciar mediante la distribución a través de un número mayor de altavoces, aumentando así la precisión en la percepción espacial del resultado. Con el uso de un sistema cuadrafónico (4 canales de difusión) u octofónico (8 canales de difusión) se puede conseguir la creación de un espacio para terapias colectivas, a diferencia del primer módulo que es de uso individual mediante auriculares.



**Ilustración 29. Patch Audiomove**

### 2.3.- Implementación en Soundcool

Para la implementación de los módulos dentro del entorno de Soundcool se ha utilizado la plantilla proporcionada por Soundcool para que los módulos puedan garantizar la conectividad prevista para el sistema y una apariencia semejante a los ya programados. Los módulos realizados presentan las clásicas entradas (Ilustración 30) y salidas estéreo (Ilustración 31) de los módulos de Soundcool, lo que permite la completa compatibilidad con los demás módulos de audio presentes. Hay que señalar que la plantilla de programación de los módulos de Soundcool resulta anticuada, ya que se remonta al nacimiento de este sistema, y que ha sido complicado adaptarla a las necesidades de estos nuevos módulos.

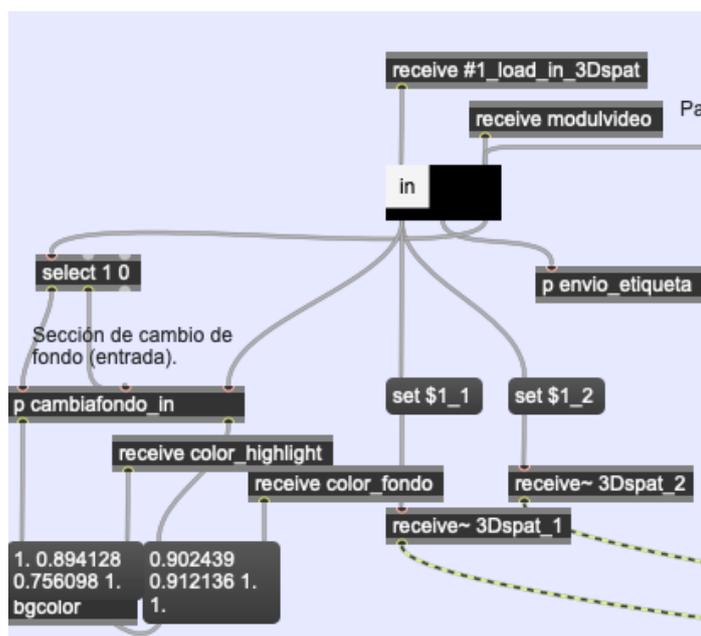


Ilustración 30. Entradas de audio del módulo 3Dspat

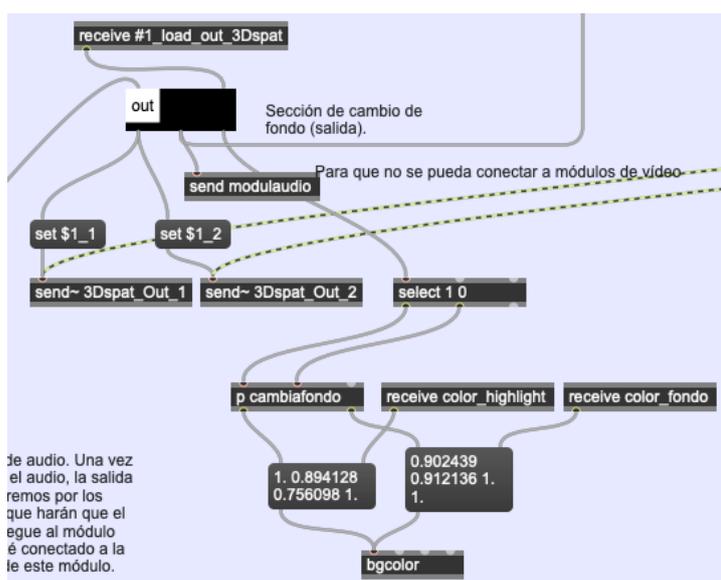


Ilustración 31. Salidas de audio del módulo 3Dspat

## Capítulo 3. Propuesta de trabajo futuro y conclusiones

### 3.1.- Limitaciones y posibles mejoras

Los módulos realizados aún no forman parte del conjunto de módulos de Soundcool, ya que cómo prototipos necesitan de un largo periodo de prueba antes de ser englobados de forma definitiva en el paquete. Aun así, pueden ser abiertos con la aplicación de Soundcool y utilizados de forma individual, aunque no aparezcan en la propia aplicación.

Como posible mejora del módulo 3Dspat, se podía programar una nueva versión en la que se introduzca la gamificación para las terapias. Es decir, utilizar un juego para hacer la terapia mucho más amena. En ella, sonaría una muestra por una localización espacial específica, y el usuario o usuaria debería pulsar el *toggle* que corresponde a dicha localización.

Para mejorar el módulo Audiomove, se podrían programar varios presets en los que se tengan 4 y 8 altavoces para usar en terapias grupales utilizando la cuadrafonía y la octofonía respectivamente.

### 3.2.- Conclusiones

Como conclusión a este trabajo de investigación se puede afirmar que se han obtenido unos resultados satisfactorios, aunque no se ha llegado de forma favorable a todos los objetivos presentados.

Con respecto al objetivo general de este trabajo de investigación, que es la programación de un módulo que utilice la localización espacial y que se pueda utilizar como terapia para las personas con EA, este se ha cumplido con creces, ya que no se ha desarrollado un módulo si no que se han desarrollado dos. Inicialmente se pensó en realizar un módulo. que en este caso es el 3Dspat. que utilizaría el terapeuta para trabajar con el o la paciente la localización del sonido en el espacio. posteriormente tras hablar con el neurólogo Dr. José Manuel Moltó del Hospital de la Virgen de los Lirios de Alcoy, comentó que es importante trabajar con este tipo de pacientes utilizando la gamificación. Es por ello que se pensó que podría ser interesante crear un pequeño juego, llamado Audiomove. donde el paciente pudiera jugar moviendo el sonido de un lado a otro. Así surgió la idea de crear el segundo módulo.

En relación con los objetivos específicos relacionados con la EA, también se han cumplido todos, ya que se ha buscado información sobre la enfermedad y como la música se puede utilizar para realizar terapias no farmacológicas.

Con respecto a la creación de los módulos, indicar que no se han probado con pacientes y que son dos prototipos que están listos para poder iniciar las pruebas con pacientes con EA u otras demencias.

En cuanto a Soundcool, se han diseñado los prototipos de dos módulos en forma de prototipo con el aspecto de Soundcool funcionales y fáciles de utilizar. Actualmente los módulos se pueden abrir y utilizar con la aplicación Soundcool como módulos externos. El siguiente paso sería testarlos adecuadamente y probarlos en el entorno para el que fueron construidos (terapias para EA y otras demencias). Una vez verificados se incluirían en la aplicación como parte integrante del sistema. Además, dichos módulos pueden tener muchos otros usos aparte de la EA que se estudiarán: aplicaciones a terapias para otras enfermedades neurocognitivas, diversidad funcional, aplicaciones en educación, TDAH o aplicaciones semiprofesionales.

Para acabar, decir que este trabajo se ha realizado con el fin de crear herramientas para ayudar en las terapias a las personas con EA y se cree que se ha conseguido con la programación de estos dos módulos, los cuáles son funcionales y pueden facilitar a que las terapias sean más interesantes y sobre todo a utilizar la música para ayudar con este tipo de enfermedades.



## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Diferencia entre EA y Demencia .....	8
Ilustración 2. Neurona, proteína AB y Tau.....	10
Ilustración 3. La EA cambia el aspecto del cerebro.....	12
Ilustración 4. Fases de la EA, desde el depósito de placas seniles y ovillos .....	17
Ilustración 5. Fases de EA según la GDS .....	18
Ilustración 6. Resonancia magnética y SPECT.....	23
Ilustración 7. PET. ....	23
Ilustración 8. Estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento musical .....	31
Ilustración 9. Música y cerebro.....	31
Ilustración 10. Técnicas NMT. Rehabilitación cognitiva .....	37
Ilustración 11. Intervenciones NMT para rehabilitación del lenguaje .....	38
Ilustración 12. Intervenciones NMT para la función motora .....	39
Ilustración 13. Sistema auditivo.....	40
Ilustración 14. Sistema de coordenadas esféricas .....	44
Ilustración 15. Direccionalidad del sonido .....	45
Ilustración 16. Plano interaural.....	45
Ilustración 17. Cono de confusión .....	46
Ilustración 18. Efecto sombra .....	46
Ilustración 19. Respuesta del oído en función del ángulo de la inclinación .....	48
Ilustración 20. Mecanismos de paralaje por movimiento .....	50
Ilustración 21. Medición HRTF .....	53
Ilustración 22. Sistemas de sonido espacial.....	55
Ilustración 23. Objeto multiconvolve .....	57
Ilustración 24. Objetos para llegar a la nomenclatura final de las HRTF del módulo 3Dspat .....	59
Ilustración 25. Toggle del módulo 3Dspat.....	60
Ilustración 26. Todos los toggles del módulo 3Dspat.....	60
Ilustración 27. Interfaz de usuario/a del módulo 3Dspat .....	61
Ilustración 28. Interfaz de usuario/a del módulo Audiomove.....	62
Ilustración 29. Patch Audiomove.....	62
Ilustración 30. Entradas de audio del módulo 3Dspat .....	63
Ilustración 31. Salidas de audio del módulo 3Dspat.....	63



## Índice de tablas

Tabla 1. Factores de riesgo de la demencia y EA conocidos.....	9
Tabla 2. Neurotransmisores afectados por la EA.....	13
Tabla 3. Funciones afectadas por la EA y síntomas que producen.....	14
Tabla 4. Fases de la EA .....	16
Tabla 5. Pasos para valoración clínica de la EA.....	19
Tabla 6. Criterios diagnósticos de la EA .....	20
Tabla 7. Pruebas para detección de la EA.....	22
Tabla 8. Fármacos para la EA.....	25
Tabla 9. Tratamientos no farmacológicos para la EA.....	28
Tabla 10. Cualidades del sonido audible .....	29
Tabla 11. Factores clave en cuanto a la capacidad de la música para la EA .....	33
Tabla 12. Aplicaciones de musicoterapia en pacientes con demencia y EA .....	33
Tabla 13. Intervención musicoterapéutica según las áreas afectadas en la EA .....	34
Tabla 14. Mecanismos de la percepción de la distancia .....	51
Tabla 15. Sistemas de sonido espacial. Clasificación.....	55

## Bibliografía

- [1] knowledge. *El Plan de acción mundial sobre la respuesta de salud pública a la demencia (2017-2025)* Global action plan on the public health response to dementia 2017-2025 | Portal Conocimientos y Acción. Disponible en: <https://www.knowledge-action-portal.com/es/content/global-action-plan-public-health-response-dementia-2017-2025>
- [2] Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. *Plan Integral Alzheimer. (2019)*. Disponible en: [https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Plan\\_Integral\\_Alzheimer\\_Octubre\\_2019.pdf](https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Plan_Integral_Alzheimer_Octubre_2019.pdf)
- [3] Enterarse. *El Alzheimer: ¿qué es y qué consecuencias tiene?* | Enterarse Web enterarse.com. Disponible en: El Alzheimer: ¿qué es y qué consecuencias tiene?
- [4] Fundación Pasqual Maragall Maragall. *Hablemos del Alzheimer (2020)* |. Disponible en: <http://blog.fpmaragall.org/> <https://blog.fpmaragall.org/diagnostico-alzheimer>
- [5] Clínica Universidad de Navarra. *Pruebas diagnósticas*. Disponible en: <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/pruebas-diagnosticas>
- [6] EPAD. *European Prevention of Alzheimer's Dementia Consortium. 19 de mayo de 2015*, Disponible en: <https://ep-ad.org/>
- [7] CIE-11. Disponible en: <https://icd.who.int/es>
- [8] American Psychiatric Association. *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5™*. Washington, DC London, England. 2014. Disponible en: <https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Documents/dsm-v-guia-consulta-manual-diagnostico-estadistico-trastornos-mentales.pdf>.
- [9] Fundación Pasqual Maragall. *Guía Claves sobre la enfermedad de Alzheimer (2019)*. | Por un futuro sin Alzheimer. FPM - ES, pp 3. Disponible en: <https://www.alzheimeruniversal.eu/2019/10/15/claves-sobre-la-enfermedad-de-alzheimer-descarga-gratuita/>
- [10] OMS. *Demencia*. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- [11] CEFEA. *Censo de las personas con Alzheimer y otras demencias en España. Fundamentación, metodología, datos disponibles, herramientas, aprendizajes y propuesta*. CEAFA Alzheimer (2020) p 8. Disponible en: <https://www.ceafa.es/files/2020/12/censo-alz.pdf>, y *Terapias no Farmacológicas en las Asociaciones de Familiares de Personas con Alzheimer (2016)* p. 7. Disponible en: <https://www.ceafa.es/files/2017/08/ManualTNF-2.pdf>
- [12] Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. *Guía de Práctica Clínica sobre la Atención Integral a las Personas con Enfermedad de Alzheimer y otras Demencias (2012)*. p 26. Disponible en: [https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC\\_484\\_Alzheimer\\_AIAQS\\_resum.pdf](https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC_484_Alzheimer_AIAQS_resum.pdf)
- [13] SEN. *Día Mundial de la Enfermedad de Alzheimer*. 21 de septiembre, 2019, pp 1-2. Disponible en: <https://www.sen.es/saladeprensa/pdf/Link280.pdf> pp 1-2
- [14] Garre Olmo, Josep (2018). *Epidemiología de la enfermedad de Alzheimer y otras demencias*. Revista de Neurología, vol. 66, n. 11, 2018, p. 377. DOI.org (Crossref). Disponible en: <https://doi.org/10.33588/rn.6611.2017519>
- [15] SID. *Día mundial del Alzheimer: 2021, el año del primer tratamiento capaz de modificar procesos fisiopatológicos claves de la enfermedad*. SID (Servicio de Información sobre Discapacidad). Disponible en: <https://sid-inico.usal.es/noticias/dia-mundial-del-alzheimer->



2021-el-ano-del-primer-tratamiento-capaz-de-modificar-procesos-fisiopatologicos-claves-de-la-enfermedad/

- [16] Rodríguez Álvarez, Marina, y Juan Luis Sánchez Rodríguez. *Reserva cognitiva y demencia*. Rev. Anales de psicología, 2004. vol. 20, nº 2 (diciembre), 175-186. Disponible en: digitum.um.es, <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/8036>
- [17] Alzheimer universal. *Diagnóstico alzhéimer PET cerebral* (2015). Blog Alzheimer. Disponible en: <https://www.alzheimeruniversal.eu/2015/10/15/diagnostico-alzheimer-recomendaciones-para-el-uso-del-estudio-pet-cerebral/>
- [18] *Comprender la enfermedad de Alzheimer* (Understanding Alzheimer's Disease) (2017). Disponible en [www.youtube.com](http://www.youtube.com), <https://www.youtube.com/watch?v=bixNBV2EDYc>
- [19] Apuntes de la Asignatura optativa Música y Medicina del Conservatorio Superior de Música de Valencia "Joaquín Rodrigo"
- [20] Portal Español de la Alzheimer's Association. Disponible en: [www.alz.org/espanol/about/el\\_alzheimer\\_y\\_el\\_cerebro.asp](http://www.alz.org/espanol/about/el_alzheimer_y_el_cerebro.asp)
- [21] Neurorhb. *Prosopagnosia: ¿Quién es quién?* Blog de Daño Cerebral de NEURORHB - Servicio de Neurorehabilitación (2017). Disponible en: <https://neurorhb.com/blog-dano-cerebral/prosopagnosia-quien-es-quien/>
- [22] National Institute on Aging. *¿Qué es la enfermedad de Alzheimer?* Disponible en: <https://www.alzheimers.gov/es/alzheimer-demencias/enfermedad-alzheimer>
- [23] Custodio, Nilton, et al. *Evolución histórica del concepto y criterios actuales para el diagnóstico de demencia*. Revista de Neuro-Psiquiatría, vol. 81, n. 4, 2018, pp. 235-250. Disponible en: [revistas.upch.edu.pe](http://revistas.upch.edu.pe), <https://doi.org/10.20453/rnp.v81i4.3438>
- [24] Peña-Casanova, J. *Enfermedad de Alzheimer. Del diagnóstico a la terapia: conceptos y hechos*. (1999) (p. 64). Fundación la Caixa. Disponible en: [https://fiapam.org/wp-content/uploads/2012/10/Enfermedad\\_Alzheimer\\_de\\_diagnostico\\_a\\_terapia.pdf](https://fiapam.org/wp-content/uploads/2012/10/Enfermedad_Alzheimer_de_diagnostico_a_terapia.pdf)
- [25] Barrera-López, Francisco Javier, et al. *Diagnóstico Actual de la Enfermedad de Alzheimer*. Revista de Medicina Clínica, vol. 2, n. 2, mayo de 2018, pp. 58-74. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1287738> .
- [25a] Rojo Martínez, Esther. 2013. Enfermedad de alzheimer. Nuevos criterios diagnósticos e implicaciones en la práctica clínica. An Real Acad Med Cir Vall 2014; 51, pp 67-75. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5361605>
- [26] Diccionario médico. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/>
- [27] Valls Pedret, Cinta, et al. *Diagnóstico precoz de la enfermedad de Alzheimer: fase prodrómica y preclínica*. Revista de Neurología, vol. 51, n. 08, 2010, p. 471-480. DOI.org (Crossref). Disponible en: <https://doi.org/10.33588/rn.5108.2010501>
- [28] Mayo Clinic. *Cómo los médicos podrían ser capaces de detectar la enfermedad de Alzheimer a tiempo* (2019). Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/alzheimers-disease/expert-answers/alzheimers-test/faq-20057850>
- [29] Janeiro, Manuel H., et al. *Biomarcadores En La Enfermedad de Alzheimer*. Advances in Laboratory Medicine / Avances En Medicina de Laboratorio, vol. 2, n. 1, marzo de 2021, pp. 39-50. Disponible en: DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1515/almed-2020-0109>
- [30] Radiology (ACR), Radiological Society of North America (RSNA) and American College of. *Enfermedad de Alzheimer*. Disponible en: [Radiologyinfo.Org](http://Radiologyinfo.Org), <https://www.radiologyinfo.org/es/info/alzheimers>. Accedido 12 de mayo de 2022



- [31] Tuneu Valls, Laura; Rojas Cano, Miquel et. al. *Guía de Seguimiento Farmacoterapéutico de los Pacientes con Alzheimer* Correo farmacológico.comp. vol.15-16 pp 11-12. Disponible en: [https://www.diariofarma.com/wp-content/uploads/2015/02/GuiaSFT\\_Alzheimer.pdf](https://www.diariofarma.com/wp-content/uploads/2015/02/GuiaSFT_Alzheimer.pdf)
- [32] European Medicines Agency. Disponible en: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/guideline-clinical-investigation-medicines-treatment-alzheimers-disease-revision-2\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/guideline-clinical-investigation-medicines-treatment-alzheimers-disease-revision-2_en.pdf)
- [33] Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social. *Plan Integral de Alzheimer y otras Demencias 2019-2023* (2019). Disponible en: [https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Plan\\_Integral\\_Alzheimer\\_Octubre\\_2019.pdf](https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Plan_Integral_Alzheimer_Octubre_2019.pdf)
- [34] ALZHEIMER'S ASSOCIATION. *Tratamientos. Fármacos aprobados por la FDA*. Disponible en: <https://www.alz.org/alzheimer-demencia/tratamientos>
- [35] Commissioner, Office of the. «FDA En español». FDA, 27 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.fda.gov/about-fda/fda-en-espanol>
- [36] Centro de Referencia Estatal de Atención a Personas con Enfermedades de Alzheimer y otras Demencias. *Programa de atención cognitiva integran en demencias (PACID)*. Instituto de Neurociencias de Castilla y León (INCYL) Universidad de Salamanca 82011) Edita Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. Disponible en: [http://www.crealzheimer.es/InterPresent1/groups/imsero/documents/binario/guia\\_pacid\\_web.pdf](http://www.crealzheimer.es/InterPresent1/groups/imsero/documents/binario/guia_pacid_web.pdf)
- [37] Díaz, Melissa Alejandra Rodríguez, et al. *Rehabilitación Cognitiva en pacientes con Enfermedad de Alzheimer*. *Psicología desde el Caribe*, vol. 29, n. 2, 2012, pp. 421-55. Disponible en: [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org), <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21324851008>
- [38] Francisco Javier Barrera López, Esteban Antonio López Beltrán, Natalia Baldivieso Hurtado, Itzel Valeria Maple Álvarez, María Antonia López-Moraila, Luis Manuel Murillo-Bonilla. 2018. *Diagnóstico Actual de la Enfermedad de Alzheimer*. En *Revista de Medicina Clínica* Año 2018 . vol. 2, n. 2. Disponible en: <https://medicinaclinica.org/index.php/rmc/article/view/58/53>
- [39] Barreto Carballo, Carolina. 2016. *El Alzheimer y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (Tic)*. Trabajo fin de grado. Universidad de La Laguna Facultad de Educación Grado en Pedagogía. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/3291>
- [40] Universidad Internacional de Valencia. *Tratamiento Alzheimer, tecnologías que debes tener en cuenta*. VIU. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/tratamiento-alzheimer-tecnologias-que-debes-tener-en-cuenta>
- [41] Apuntes asignatura Psicoacústica de Sonología del Conservatorio Superior de Música de Valencia. “Joaquín Rodrigo”
- [42] León Ruiz, María Teresa Pérez Nieves y Siricio Arce Arce. *Musicoterapia en neurorehabilitación: el regalo de Apolo* Article in *Kranion* · December 2019. *Rev. Kranion*. 2019; n.14, pp. 129-135. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/338036659>
- [43] ColumnaZero. *¿Cómo Afecta la Música al Cerebro?* COLUMNAZERO, 14 de marzo de 2013. Disponible en: <http://columnazero.com/como-afecta-la-musica-al-cerebro/>.
- [44] Siesto Sánchez, Violeta. *Música y cerebro Influencia del arte musical en la biología humana*. Trabajo fin de grado. Universidad de Salamanca, 2027. Disponible en: [17TFG318\\_SIESTO%20S%20C1NCHEZ\\_VIOLETA.pdf](17TFG318_SIESTO%20S%20C1NCHEZ_VIOLETA.pdf) (usal.es)



- [45] Federación Española de Asociaciones de Musicoterapia. Disponible en: <http://feamt.es/que-es-la-musicoterapia/#:~:text=La%20musicoterapia%20es%20el%20uso,%2C%20comunicativo%2C%20emocional%2C%20intelectual%20y>
- [46] American Music Therapy Association (AMTA). Disponible en: <https://www.musictherapy.org/>
- [47] Jauset-Berrocal JA, Soria-Urios G. *Neurorrehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica*. Rev Neurol 2018; n. 67 (08), pp. 303-310. Disponible en: doi:10.33588/rn.6708.2018021
- [48] Cáceres Hernández, Anabel. *Aplicación de la musicoterapia en el paciente con demencia y Alzheimer*. Santa Cruz de La Palma, 2016. Universidad de la Laguna Aplicación de la musicoterapia en el paciente con demencia y Alzheimer”. Disponible en: ull.es
- [49] López Beltran, Esteban Antonio, Baldivieso-Hurtado, Natalia, at. *Diagnóstico actual en la Enfermedad de Alzheimer*. Revista de Medicina Clínica 2018, vol. 2, n. 2, pp 57-73. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1287738>
- [50] García Gómez, Sandra. *Musicoterapia en el tratamiento de los síntomas de la Enfermedad de Alzheimer*. Grado en Historia y Ciencias de la Música, 2013. Universidad de Valladolid. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/3340/TFG-F-003.pdf?sequence=1>
- [51] Jurado-Noboa, Cecilia. *La Musicoterapia Neurológica Como Modelo de Neurorrehabilitación. Neurologic Music Therapy As A Neurorehabilitation Model*. Revista Ecuatoriana de Neurología, vol. 27, n. 1, 2018, pp. 72-79. Disponible en: 2631-2581-rneuro-27-01-00072.pdf (senescyt.gob.ec)
- [52] Basso, Gustavo. *Percepción auditiva*, 1a ed. Bernal 2016. Universidad Nacional de Quilmes, 2017. Colección Música y ciencia. Disponible en: eumus.edu.uy
- [53] lamusicoterapia.com. Disponible en: <https://www.lamusicoterapia.com/alzheimer-y-musicoterapia/>
- [54] Molina-Ampuero, k., Méndez-Orellana, C., Fredes-Roa, et al., D. *La terapia musical y sus implicaciones en la neurorrehabilitación en pacientes con ictus y con demencia*. Rev. Neurología Perspectivas, 2021, vol 1, pp. 166-181. Disponible en: ScienceDirect
- [55] Crespo, Mario. *¿Cómo ubicamos los sonidos en el espacio? Binauralidad y Teoría Dúplex*. 2017. Disponible en: Hispasonic
- [55a] Basco Prado, Luis y Silvia Fariñas Rodríguez. *Neuroplasticidad y psicoestimulación en enfermos de Alzheimer*. Alzheimer. Real Invest Demenc. 2013; n. 53, pp. 39-44. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/272693439>
- [56] MOOC. *Sonido Espacial y 3D*. 2015. Universitat Politècnica de València UPV. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=8ap3KzqiHhQ&list=PL6kQim6lJtJtWQiuE58oBWuM1Xxf\\_AYyv&index=6](https://www.youtube.com/watch?v=8ap3KzqiHhQ&list=PL6kQim6lJtJtWQiuE58oBWuM1Xxf_AYyv&index=6)
- [57] Apuntes de la UPV 4º de Telecomunicaciones, asignatura TDA, 2022
- [58] Miyara, Federico. *Acústica y sistemas sonido*. 1999. Capitulo II Psicoacústica pp18-30. UNR Editora, Editorial de la Universidad Nacional de Rosario. Argentina. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/228027871/Miyara-Federico-Acustica-y-Sistemas-de-Sonido-COMPLETO>
- [59] Lebrón Ruiz Aitor. *Diseño y Construcción De Dummy Head Destinada A La Recreación De Entornos Virtuales*, 2016. . Trabajo final. Escuela Técnica Superior de Ingenieros



Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Pamplona. Disponible en:  
<https://academica->

[e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/22328/629356.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/22328/629356.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[60] Ingeniería de Ondas. *Fenómenos Acústicos a través del Csonun, 2004*. Universidad de Valladolid ETSI Telecomunicación. Head-Related Transfer Functions. Disponible en:  
[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_03\\_04/Csound/44.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/Csound/44.htm)

[61] Cardona, A.I, Garelli, J.M, et al. *Sistemas de medición de HRTF individuales: revisión del estado del arte y desarrollos en argentina*. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Mecánica Computacional, 2019, vol XXXVII, pp. 77-85. Disponible en:  
Sistemas de Medición de HRTFS Individuales: Revisión del Estado del Arte y Desarrollos en Argentina (amcaonline.org.ar)

[62] IDACE. *Musicoterapia como tratamiento neurorrehabilitador*. Disponible en:  
<https://idace.es/rehabilitacion-cognitiva/musicoterapia-como-tratamiento-neurorrehabilitador/> abril 2020

[63] <https://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>

[64] <https://www.canva.com>

## VIDEOS

- <https://www.youtube.com/watch?v=bixNBV2EDYc>
- *What is dementia? Alzheimer's Research UK - YouTube*
- [https://www.youtube.com/watch?v=Fr1lTAM3\\_kw](https://www.youtube.com/watch?v=Fr1lTAM3_kw)