



Universidad de Valladolid



Grado en Logopedia

Facultad de Medicina

Trabajo de Fin de Grado:

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico de Alzheimer

Presentado por:

Irina Gómez Ballesteros

Tutelado por:

Prof.^a María José Barrio Baños

Valladolid, Curso 2024/2025

AGRADECIMIENTOS

A mi hermanito que me demostró la importancia que tiene la logopedia y me demuestra día tras día que con constancia y trabajo se puede conseguir lo que uno quiera.

A mi madre y mi padre que me apoyaron cuando peor estaba y me hicieron ver que un fracaso no definía mi futuro. Nunca es tarde y lo importante no es lo que se tarda, sino el final y los aprendizajes que haces por el camino.

Gracias al angelito que tengo en el cielo por creer en mí siempre, va por ti. Hoy y siempre.

RESUMEN

Introducción: Actualmente la enfermedad de Alzheimer constituye la demencia más diagnosticada en el mundo. Esta, conlleva una serie de necesidades englobadas dentro del ámbito logopédico que son posteriormente abordadas en la terapia una vez diagnosticada la enfermedad. Se ha demostrado que los pacientes que reciben intervención tras el diagnóstico conllevan un declive menos pronunciado y acusado en comparación con quienes no, es por ello que es importante la detección precoz, para iniciar la intervención más rápido.

Objetivo: Analizar el impacto que tiene la inteligencia artificial en el diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer, dónde nos puede ayudar y qué métodos son utilizados.

Metodología: Se ha realizado una búsqueda en la base de datos Web of Science que incluyera los términos de inteligencia artificial y Alzheimer y estuviese relacionados con parámetros lingüísticos y paralingüísticos.

Resultados: La inteligencia artificial puede acelerar el proceso diagnóstico identificando patrones que el ojo clínico pasa por alto en cuanto a análisis del discurso como evaluación de cualidades acústicas.

Conclusiones: El uso de la inteligencia artificial tiene un futuro prometedor y, en conjunto con otras pruebas clínicas de otros ámbitos como la resonancia magnética, puede ofrecer una visión holística del paciente que permita un diagnóstico temprano.

Palabras clave: *Alzheimer, inteligencia artificial, aprendizaje automático, lenguaje y voz*

ABSTRACT

Introduction: Alzheimer's disease is currently the most commonly diagnosed form of dementia worldwide. It entails a series of needs within the field of speech and language therapy, which are typically addressed through intervention after diagnosis. Evidence shows that patients who receive intervention following diagnosis experience a less pronounced and slower cognitive decline compared to those who do not. Therefore, early detection is crucial in order to initiate treatment as soon as possible.

Objective: To analyze the impact of artificial intelligence on the diagnosis of Alzheimer's disease, identify the areas in which it can be helpful and explore the methods employed.

Methodology: A literature search was conducted in the Web of Science database using the terms "artificial intelligence" and "Alzheimer", focusing on studies related to linguistic and paralinguistic parameters.

Results: Artificial intelligence can accelerate the diagnostic process by identifying patterns that may be overlooked by clinicians, particularly in discourse analysis and the evaluation of acoustic features of speech.

Conclusions: The use of artificial intelligence holds great promise and, when combined with clinical assessments from other domains such as magnetic resonance imaging, may contribute to a more holistic understanding of the patient and facilitate early diagnosis.

Keywords: *Alzheimer's disease, artificial intelligence, machine learning, speech*

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1. GLOSARIO DE ABREVIATURAS	5
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1 Marco teórico	7
2.2 Justificación	11
3. OBJETIVOS	13
4. MÉTODOLOGÍA	14
5. RESULTADOS	15
ANÁLISIS DE DATOS DE LOS RESULTADOS	26
6. DISCUSIÓN	29
6.1 Morfología, sintaxis y fonología	29
6.2 Evaluación de cualidades acústicas	30
6.3 Baterías neuropsicológicas	30
6.4 Perspectivas futuras. Aplicación en el desarrollo de planes de intervención	30
6.5 Limitaciones	31
7. CONCLUSIÓN	32
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AChEI: Inhibidores de colinesterasas

EA: Alzheimer's disease – enfermedad de Alzheimer

IA: Artificial Intelligence – Inteligencia Artificial

MCI: Mild Cognitive Impairment – Deterioro Cognitivo Leve

MRI: Magnetic Resonance Imaging – Resonancia Magnética

fMRI: Functional Magnetic Resonance Imaging - Resonancia Magnética funcional

TNF: Terapias no farmacológicas

2. INTRODUCCIÓN

Un elevado porcentaje de la población es diagnosticada con demencia cada año, de tipo Alzheimer se prevén alrededor de 5.000.000 de casos nuevos cada año (Qui et al., 2009). El logopeda constituye un papel importante para la detección de esta última pues es el encargado de la valoración del lenguaje y la deglución. La enfermedad de Alzheimer supone, además de los conocidos problemas en la memoria, dificultades de acceso al léxico empeorando, de esta manera, la capacidad de expresión y comprensión verbal, y dificultades a la hora de manejar y deglutir el alimento afectando este último entorno a un 50-75% de los casos de Alzheimer (Baena et al., 2016).

El envejecimiento normal implica que las funciones cognitivas superiores se vayan deteriorando progresivamente, siendo la más comúnmente afectadas la memoria y capacidad de aprendizaje. Ahora bien, las funciones ejecutivas, en algunos casos, suelen sufrir un deterioro mayor pasando de clasificar el envejecimiento como normal a patológico. Esto, en los manuales de clasificación de trastornos mentales, DSM-5, y manual de clasificación internacional de enfermedades, CIE-10, es recogido como trastorno neurocognitivo leve, siendo la demencia un nivel superior de afectación cognitiva y, por ende, incapacitante. Según estudios, el deterioro cognitivo supone un factor de riesgo para el desarrollo de demencias en un futuro próximo, entre ellas el Alzheimer (López, 2009).

La enfermedad de Alzheimer, de aquí en adelante EA, es un tipo de demencia con afectación en la memoria y consecuente deterioro progresivo en lenguaje y problemas perceptivos y emocionales. Según el CIE-11, la enfermedad de Alzheimer se encuentra dentro del capítulo V: Trastornos mentales y del comportamiento; Trastornos mentales orgánicos, incluidos los sintomáticos. La definición que nos da el manual es la siguiente: “es una enfermedad degenerativa cerebral primaria de etiología desconocida, con rasgos neuropatológicos y neuroquímicos característicos”. Esta enfermedad ha de cumplir los criterios generales de demencia entre los cuales encontramos que debe haber un deterioro de la memoria evidente y objetivable, un déficit en otras habilidades cognoscitivas, conciencia del entorno y deterioro del control emocional que se manifieste por labilidad emocional, irritabilidad, apatía y/o embrutecimiento en el comportamiento social. Cabe destacar, además, que estos síntomas deben presentarse durante un periodo mínimo de seis meses (Organización Mundial de la Salud, 2019).

2.1 Marco teórico

Hoy en día, esta enfermedad supone un problema en los países desarrollados siendo considerada una de las principales causas de muerte solamente por detrás de problemas cardiovasculares y el cáncer, puesto que una de las características principales es la irreversibilidad que conlleva y dificulta el tratamiento y la carga por parte de los familiares que conviven con el afectado. Epidemiológicamente, la EA supone la demencia que más afecta a la población de la tercera edad suponiendo más de la mitad de los casos. En países como Estados Unidos se estima que entre 1% y el 6% de la población con más de 65 años, un 10% de la población mayor a 70 años y entre un 20% y un 40% de la población mayor a 85 sufre de ella, lo que viene a confirmar lo previamente mencionado, supone una gran preocupación a nivel internacional (Qiu et al., 2009). En 2013, solo en Estados Unidos, se estimaba que padecían AD 3.4 millones de norteamericanos, aunque se espera que para el 2030 le afecte a 5.5 millones personas de la población estadounidense (Affoo et al., 2013).

Por otro lado, en España, estudios afirman que, en mayores a 70 años, el porcentaje de población que padecen EA oscila entre el 9.4% y el 8.5%, disminuyendo entre 5.5% y 5.8% cuando la edad baja a mayores de 65 (Garre-Olmo, 2018).

El cuadro clínico de esta enfermedad puede dividirse en tres fases dependiendo de si su sintomatología es leve, modera o severa. A nivel lingüístico, la EA puede conllevar un deterioro de la comprensión y fluencia verbal con repercusión en la lectura y escritura y, finalmente, también en la denominación. Esto dentro del marco de la logopedia podría estar clasificado dentro de la afasia. Sin embargo, también cabe destacar una apraxia ideomotora y alteraciones perceptivas y espaciales. Además, como antes se mencionó, el principal síntoma de la enfermedad es el deterioro en la memoria afectando así la memoria reciente, remota, inmediata, verbal, episódica y semántica de manera que se agrava el cuadro lingüístico (Romano, 2011). También cabe destacar que entre las primeras manifestaciones encontramos los problemas en la denominación debido al déficit en la memoria semántica, es decir, los sujetos tienen un déficit en el acceso al léxico (Moreno, 2007).

La atención logopédica en la EA se ve necesaria desde un inicio ya que, como se ha mencionado, los sujetos evidencian dificultades de acceso al léxico produciendo dificultades en la expresión verbal. A su vez, la afectación en la memoria semántica puede producir un déficit en la comprensión verbal impidiéndole, así, una comunicación efectiva tanto oral

como escrita siendo afectada, por ende, la lectura, siendo un punto fundamental de la intervención la ampliación del acceso al léxico. En cuanto a la expresión escrita encontramos dificultades en la grafía y la ortografía de manera que, en esta segunda, se encuentran tendencias a confundir los distintos grafemas evidenciando un déficit en la conciencia fonológica. Ya más avanzada la enfermedad, en una fase intermedia y final, aparecen los síntomas previamente descritos de agnosia y apraxia limitando la expresión verbal del paciente hasta dejarla prácticamente nula impidiendo, así, que se pueda comunicar de forma eficaz (Rubio Prieto, 2020).

Por otro lado, cabe destacar la labor del logopeda en cuanto a las funciones de masticación y deglución pues estos pacientes suelen presentar problemas en dichos procesos. En etapas intermedias encontraremos una afectación en los pares craneales y consecuente pérdida del control motor lo que lleva al paciente a experimentar la conocida como disfagia neurogénica que puede venir acompañada de penetraciones y aspiraciones del alimento (líquido o sólido) hacia la cavidad laríngea, lo cual incrementa el riesgo a padecer infecciones de la vía aérea (Rubio Prieto, 2020).

De esta manera, así proceden a quedar recogidas las necesidades de atención logopédica de los pacientes con EA (Rubio Prieto, 2020).

Tabla 1. Necesidades de atención logopédica en la enfermedad de Alzheimer (Rubio Prieto, 2020)

Anomia	Dificultad de acceso a las unidades léxicas.
Perseverancia	Repeticiones erróneas o interferencias.
Parafasia	Palabras o fonemas que se aproximan a una unidad perdida.
Circunloquio	Sustitución de una palabra por una paráfrasis que la explica.
Apraxia y dispraxia	Trastorno en el cual se comprometen los procesos motores del habla con afectación en la articulación y prosodia (González Vitoriano, 2015).
Logorrea	Monopolización del turno del habla sin dar lugar a participación ajena.
Agnosia	Incapacidad para el reconocimiento estímulos pese a la existencia sensorial del mismo (Ardila, 2015).

Agramatismo	Pérdida de la capacidad de analizar o combinar sintácticamente.
Disartria	Alteración en la articulación del habla debida a daño neurológico.
Mutismo	Supresión total del habla.
Disfagia	Trastorno para la ingesta de los alimentos en cualesquiera de las texturas debidas a un error en una o varias etapas de la deglución.
Dislexia, disortografía, disgrafía	Alteraciones en la lectura y escritura (tanto en el trazo como en las palabras).

En mayo del 2010, Olazarán et al. realizaron una revisión sistemática de las terapias no farmacológicas (TNF) en la EA clasificándolas según el dominio de intervención, siendo estos la cognición, las actividades de la vida diaria, la conducta, el estado de ánimo, escalas combinadas, área física y la calidad de vida.

Dentro de las TNF cabe destacar los programas de estimulación cognitiva. En un estudio realizado en 2008 sobre los efectos de la psicoestimulación cognitiva se evaluó el rendimiento en baterías neuropsicológicas como el MMSE (Mini-Mental State Examination) en dos grupos diferentes, uno de ellos habiendo recibido terapia de estimulación cognitiva. En el estudio se observó cómo, pese a que ambos grupos disminuyeron su rendimiento, el grupo experimental obtuvo diferencias menos significativas, mejorando, así, las puntuaciones en cuanto a la plasticidad cognitiva (Cassinello et al., 2008).

Otro tipo de terapia frecuentemente utilizada es la musicoterapia dirigida al afrontamiento de la depresión y la ansiedad del paciente. Según diversos estudios, el uso de la musicoterapia en pacientes con EA en estado leve contribuye en la disminución de estados depresivos y ansiedad, aumentando de cierta manera el bienestar (De la Rubia et al., 2014).

Un abordaje interesante de comentar es la terapia nutricional. La dieta mediterránea contiene diferentes nutrientes que pueden modificar el transcurso y pronóstico de padecer EA. En un estudio realizado por la Universitat de les Illes Balears se administra un suplemento nutricional llamado Souvenaid que contiene estos nutrientes mencionados y da como conclusión que se obtienen tendencias en mejora de la memoria y reducción de

ansiedad, irritabilidad y apatía, con consecuente mejora del estado anímico (Caldentey et al., 2020).

Dentro de las terapias farmacológicas encontramos los inhibidores de colinesterasas (AChEI) cuya principal función es la inhibición de la degradación de la acetilcolina, ya que el glutamato y la acetilcolina están relacionados con la función de memoria y aprendizaje. Dentro de los AChEI los más utilizados son la galatamina, el donepezilo y la rivastigmina. Estos fármacos son utilizados en pacientes en fase leve a moderada, pero se administran con precaución en aquellos con insuficiencia hepática y renal ya que los dos primeros tienen metabolismo hepático y en su conjunto los tres son eliminados vía renal. Estudios han demostrado una mejoría significativa en las actividades de la vida diaria, la cognición y la conducta, incluyendo un 38% de reducción en la declinación funcional. Entre sus principales efectos adversos encontramos los gastrointestinales, es por ello por lo que se recomienda la administración en las comidas. Por otro lado, otro AChEI sería la tacrina que se encuentra en desuso y solo se recomienda su uso cuando los demás AChEI no son adecuados. Este fármaco cuenta con los siguientes inconvenientes: administración cada 6 horas, metabolización hepática lo que puede conllevar a interacciones medicamentosas y hepatotoxicidad y efectos adversos gastrointestinales. Finalmente, para los pacientes de AD en fases moderada a severa, la FDA (Food and Drug Administration) solo tiene aprobado el uso de memantina que, pese a la escasez de estudios, ha demostrado un enlentecimiento en la declinación funcional y cognitiva (Fuentes, Slachevsky; 2005).

Tabla 2. Características de los fármacos utilizados en la enfermedad de Alzheimer adaptada por mí (Fuentes, Slachevsky, 2005)

Fármaco →	Galatamina	Donepezilo	Rivastigmina	Memantina
Vida media	5-7h	70-80h	10h	60-80h
Metabolismo	Hepático	Hepático	No hepático (hidrólisis)	No hepático
Excreción	Renal (75% en orina) 25% en heces	50% renal 50% en heces	Renal (97% en orina)	Renal (90%)
Fases de EA en	Leve-moderada	Leve-moderada	Leve-moderada	Moderada-

que se utiliza				severa
Frecuencia diaria	Dos veces	Una vez	Dos veces	Dos veces

Por otro lado, la inteligencia artificial, a partir de ahora IA (Artificial Intelligence), podría definirse como la rama de la informática destinada a realizar actividades propias de los seres humanos basándose en la conducta y razonamiento propios de la especie. Como definieron Charniak y McDermott en 1985, la inteligencia artificial es el estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales (Takeyas, 2007).

Actualmente, en la salud se han producido una serie de avances tecnológicos entre los cuales vemos la irrupción de la AI. Las aplicaciones más populares son las que implican un asistente óptico en cirugías (robot-assisted surgery) o las enfermeras virtuales (nursing assistant), aunque cabe destacar un ordenador denominado “Watson” que diagnostica casos de cáncer con una precisión de 83% (García, 2019).

2.2 Justificación

Estos últimos años ha habido un avance abismal en el desarrollo de la conocida como Inteligencia Artificial, de aquí en adelante IA. Se ha intentado introducir dentro de los hospitales para la mejora del rendimiento en el diagnóstico de patologías, como la incorporación de un modelo de resonancia magnética (MRI) que genera una imagen basada en un algoritmo que emplea la AI en la Unidad de Diagnóstico por la Imagen del Hospital Quironsalud de Barcelona. Según la Dra. Nadine Romera, este modelo ha proporcionado unas “imágenes más precisas y una alta fiabilidad diagnóstica en un número creciente de patologías”. Es por ello que, aparte de poder encontrar en la IA una nueva herramienta para la labor del logopeda, podemos adaptarnos a los nuevos tiempos.

Viendo el impacto que ha tenido en dicho hospital nos podemos hacer una pregunta: ¿puede la AI mejorar el diagnóstico e intervención de la enfermedad de Alzheimer?

Para el diagnóstico de la IA cabe tener en cuenta el impacto en la comunicación que produce el déficit en la memoria semántica, alterando de esta manera la comprensión y dificultando el acceso al léxico, lo que a día de hoy podemos conocer como “fenómeno de punta de la lengua”.

Además, se intentará llevar el estudio de manera de que todo lo expuesto esté basado en la evidencia científica.

3. OBJETIVOS

Se ha propuesto como objetivo general de esta revisión de artículos analizar el impacto que tiene la inteligencia artificial y otros nuevos avances como la realidad virtual para el diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer desde una perspectiva logopédica.

Para el abordaje de dicho objetivo, se intentarán atender los siguientes objetivos específicos:

1. Revisar la literatura actual sobre el uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico del Alzheimer relacionadas con la comunicación y el lenguaje.
2. Identificar los principales síntomas/parámetros lingüísticos y paralingüísticos utilizados para la detección precoz del deterioro cognitivo con la inteligencia artificial.
3. Identificar herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el diagnóstico del Alzheimer relacionadas con la comunicación y el lenguaje.
4. Ahondar en qué perspectivas podemos contemplar de cara a un futuro para la inclusión de esta herramienta en el sistema sanitario.

De esta manera se intentará dar respuesta a la pregunta “¿En qué medida la IA mejora la detección temprana del Alzheimer?” y analizar la existencia de modelos en específico que muestren mayor efectividad para la intervención del logopeda en el diagnóstico.

4. METODOLOGÍA

Este estudio se basa en una revisión sistemática de los estudios que relacionan el diagnóstico de la EA con la IA en cuanto a los déficits en lenguaje y habla relacionados con la logopedia.

Con la finalidad de que el estudio estuviera basado en la evidencia científica, se hizo una búsqueda de artículos científicos en la base de datos WOS (Web of Science) utilizando las siguientes combinaciones de términos para encontrar los artículos adecuados:

- (Alzheimer) AND (Inteligencia Artificial)
- (Alzheimer) AND (Ciber-rehabilitación)
- (Alzheimer) AND (Artificial Intelligence) AND (Speech Therapy)
- (Mild Cognitive Impairment) AND (Speech and Language Therapy) AND (Artificial Intelligence)

Los artículos buscados, generalmente, estaban todos en inglés y se utilizaron las keywords/palabras clave en inglés con la finalidad de encontrar un rango mayor de artículos actualizados. Esta búsqueda se realizó entre los meses de enero, febrero y marzo de 2025.

En un principio el criterio de inclusión fue el siguiente: Las keywords debían de encontrarse dentro del resumen/abstract del artículo. Posteriormente, se seleccionaron los criterios de exclusión:

- Se excluyen los artículos previos al 2010.
- Solo se aceptan los artículos que estén escritos en lengua inglesa.
- Se desestiman los artículos que utilicen la AI para pruebas de imagen y no utilicen baterías neuropsicológicas.
- Se desestiman los artículos que no hagan mención a la alteración en lenguaje.
- Se descartan los artículos repetidos.

Las citas y referencias bibliográficas en este documento se rigen todas y cada una de ellas por la normativa APA (American Psychological Association) 7ª edición.

5. RESULTADOS

Tras la aplicación de los criterios de exclusión previamente mencionados en el apartado anterior, se cuenta con una totalidad de 13 estudios. De estos un 30.79% (4 estudios) son revisiones sistemáticas mientras que el porcentaje restante, 69.21%, son estudios comparativos experimentales.

No se cuenta con ninguna guía ni manual entre estos debido a la novedad que supone el tema tratado, IA en el diagnóstico de EA basado en los componentes lingüísticos y paralingüísticos. No obstante, este cribado cuenta con la primera revisión sistemática que se basa en el tema en cuestión. Muchos de los estudios han evidenciado la importancia de la MRI para el diagnóstico de la EA debido a la disminución del volumen cerebral y consecuente atrofia.

Tabla 3. Artículos empleados

AUTORES, AÑO Y PAÍS	NOMBRE DEL ARTÍCULO	TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	OBJETIVOS Y CONCLUSIONES
2011 Järvelin, A; Juhola, M Finlandia	<i>Comparision of machine learning methods for classifying aphasic and non-aphasic speakers</i> [Comparación de métodos de aprendizaje automático para clasificar hablantes afásicos y no afásicos]	Estudio comparativo experimental	N=191 (45 no afásicos y 146 afásicos)	OBJETIVO: evaluar diferentes algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) para diferenciar grupos de hablantes afásicos y no afásicos según el desempeño en pruebas de afasia. La IA se pudo utilizar para dos de los grupos (el primero y tercero concretamente) clasificando a los pacientes correctamente en afásicos o no afásicos, mientras que en el segundo grupo los resultados no fueron tan buenos.
2012 Arroyo-Anlló, Eva M; Díaz, Marta; Póveda, Juan; Chamorro-Sánchez, Jorge	<i>Técnicas de rehabilitación neuropsicológica en demencias: hacia la ciber-rehabilitación</i>	Revisión sistemática	No se especifica	OBJETIVO: analizar las técnicas existentes de rehabilitación aplicadas en pacientes con demencia y proponer métodos de intervención basados en la

España	<i>neuropsicológica</i>			tecnología.
				El uso de las nuevas tecnologías (realidad virtual, programas computarizados y plataformas digitales interactivas) tienen ventajas respecto a la personalización, monitoreo constante y aumento motivacional en el paciente con demencia. Pese a estos hallazgos, se requieren estudios controlados y longitudinales que respalden la eficacia de estos.
2014 Fraser, KC; Meltzer, JA; Graham, NL; Leonard, C; Hirst, G; Black, SE; Rochon, E Canadá	<i>Automated classification of primary progressive aphasia subtypes from narrative speech transcripts</i> [Clasificación automatizada de los subtipos de afasia]	Estudio experimental cuantitativo	N= 17 pacientes con afasia progresiva primaria (fluyente o no fluyente)	OBJETIVO: encontrar un método de lenguaje automático (machine learning) que sea capaz de distinguir entre muestras de habla de hablantes con y sin afectación. El entrenamiento de la IA con las características del discurso de pacientes con afasia progresiva

	progresiva primaria a partir de transcripciones del discurso narrativo]			primaria (APP), demencia semántica y afasia progresiva no fluente constituye una herramienta viable y precisa para la distinción entre paciente sano o patológico ya que identifica los patrones lingüísticos habituales de estos hablantes.
2020 De la Fuente García, S; Ritchie, CW; Luz, S Escocia (Reino Unido)	<i>Artificial Intelligence, speech and language processing approaches to monitoring Alzheimer's disease: a systematic review</i> [Inteligencia artificial y enfoques de procesamiento de habla y lenguaje para el seguimiento de la enfermedad de	Revisión sistemática	51 estudios	OBJETIVO: recopilar las evidencias existentes en cuanto al uso de IA y procesamiento del habla y lenguaje para la predicción del deterioro cognitivo en EA. Se trata de la primera revisión sistemática que combina métodos basados en la IA para la detección de EA con procesamiento del lenguaje y habla. Todo apunta a ser un campo por explorar que puede aportar muchos cambios en la práctica clínica de

	Alzheimer: una revisión sistemática]			manera que pruebas que puedan tener un componente subjetivo se vuelvan objetivas en su totalidad.
2020 Thomas, JA; Burkhardt, HA; Chaudhry, S; Ngo, AD; Sharma, S; Zhang, L; Au, R; Ghomi, RH Estados Unidos	<i>Assessing the utility of language and voice biomarkers to predict cognitive impairment in the Framingham heart study cognitive aging cohort data</i> [Evaluación de la utilidad de biomarcadores de lenguaje y voz para predecir el deterioro cognitivo en los datos del estudio Framingham Heart sobre envejecimiento cognitivo]	Estudio experimental cuantitativo	170 grabaciones de 135 participantes (97 con rendimiento cognitivo bueno y 73 con cierto deterioro)	OBJETIVO: evaluar el uso de los marcadores de la voz mediante el uso de herramientas neuropsicológicas. Existen características que suponen un poder predictivo para la correlación de los resultados en pruebas de carácter neuropsicológico con el posible futuro diagnóstico de deterioro cognitivo entre las cuales encontramos unas variaciones en las bandas de frecuencia F2 en el espectrograma.
2022 Rodrigues, Pedro	<i>A framework for AI-Driven neurorehabilitation</i>	Estudio teórico	No se especifica	OBJETIVO: desarrollar un marco basado en la IA indicado para la

Alexandre Gomes Portugal	<i>training: the profiling challenge</i> [Un marco para la rehabilitación neurocognitive impulsada por IA: el desafío del perfilado]			neurorrehabilitación individualizada de los pacientes.
				Actualmente el uso está indicado para los dominios cognitivos, pero se espera que en un futuro se pueda extender a otras subfunciones cognitivas o incluso al mundo del fitness.
2022 Bertini, F; Allevi, D; Lutero, G; Calzà, L; Montesi, D Italia	<i>An automatic Alzheimer's disease classifier based on spontaneous spoken English</i> [Clasificador automático de la enfermedad de Alzheimer basado en inglés hablado espontáneamente]	Estudio experimental cuantitativo	282 sujetos 101 con rendimiento cognitivo adecuado y 181 con AD.	OBJETIVO: desarrollar un clasificador automático basado en el análisis de muestras de habla que identifique la EA. Los métodos utilizados analizan el espectrograma de los sujetos y en base a ello se obtuvo una precisión elevada (93.30%) en cuanto al análisis de los audios. Igualmente, el análisis de estos audios no es suficiente para determinar si un sujeto padecerá o no de EA y se espera que en un futuro si pueda ser de

				mayor relevancia al considerar los parámetros acústicos y léxicos del lenguaje un componente que facilitaría el diagnóstico temprano.
2022 Li, RJ; Wang, XY; Lawler, K; Garg, S; Bai, Q; Alty, J Australia	<i>Applications of Artificial Intelligence to aid early detection of dementia. A scoping review on current capabilities and future directions</i> [Aplicaciones de la inteligencia artificial para apoyar la detección temprana de la demencia. Una revisión exploratoria sobre capacidades actuales y direcciones futuras]	Revisión sistemática	177 artículos	OBJETIVO: recoger las ayudas que puede ofrecer la IA en la detección precoz de demencia. Los métodos basados en la IA pueden suponer un avance en el campo de búsqueda de nuevos biomarcadores para la detección temprana de la demencia que ayuden a los profesionales clínicos. Además, reduciría el posible error clínico por causa subjetiva proporcionando, así, un ojo objetivo.
2024	<i>Machine learning</i>	Revision sistemática	40 artículos	OBJETIVO: recoger los métodos de

Al-Hammadi, M; Fleyeh, H; Aberg, AC; Halvorsen, K; Thomas, I Suecia	<i>approaches for dementia detection through speech and gait analysis. A systematic literature review</i> [Enfoques de aprendizaje automático para la detección de demencia mediante análisis del habla y la marcha. Una revisión sistemática de la literatura]			aprendizaje automático para la predicción de demencia basados en métodos no invasivos.
				Se pone énfasis a que el habla puede actuar como biomarcador a la hora de identificar alteraciones sutiles que puedan estar asociadas de cierto modo a un deterioro cognitivo mediante el análisis de las características acústicas y léxicas. El modelo que utilizó IA alcanzó una precisión diagnóstica alta.
2024 Takeshige-Amano, H; Oyama, M; Ogawa, M; Fusegi, K; Kambe, T; Shiina, K; Ueno, SI; Okuzumi, A; Hatano, T; Motori, Y, et al.	<i>Digital detection of Alzheimer's disease using smiles and conversations with a chatbot</i> [Detección digital de la enfermedad de Alzheimer mediante sonrisas y	Estudio experimental cuantitativo	209 sujetos	OBJETIVO: establecer una herramienta de screening sencilla de usar basada en un chat y en IA para la detección de EA. Los modelos que utilizan la conversación espontánea con un chatbot basado en IA resultaron más efectivos a la hora de capturar los

Japón	conversaciones con un chatbot]			sonidos que mantenían una relación con la cognición. Este recurso podría ayudar a contribuir en un futuro como herramienta de screening como un preaviso de un declive cognitivo (tanto en lo relacionado con la conversación como lo relacionado con la sonrisa social).
2024 Li, CY; Wu, WZ; Cohen, T; Pakhomov, S Estados Unidos	<i>Useful blunders: can automated speech recognition errors improve downstream dementia classification?</i> [Errores útiles: ¿pueden los fallos en el reconocimiento automático del habla mejorar la clasificación posterior de la	Estudio experimental cuantitativo	156 audios	OBJETIVO: investigar cómo los errores en sistemas de identificación del habla automáticos pueden afectar a la precisión de la clasificación. Los modelos que utiliza el estudio evidencian de forma sistemática irregularidades en contextos lingüísticos y acústicos aparentemente normales ante el ojo humano que establecen una correlación positiva con el diagnóstico de demencia. Esto

	demencia?]			supone que indicadores lingüísticos y paralingüísticos pueden no ser una coincidencia, sino que pueden anticipar un posible futuro diagnóstico.
2024 Kale, M; Wankhede, N; Pawar, R; Ballal, S; Kumawat, R; Goswami, M; Khalid, M; Taksande, B; Upaganlawar, A; Umekar, M, et al India	<i>AI-driven innovation in Alzheimer's disease: integrating early diagnosis, personalized treatment and prognostic modelling</i> [Innovación impulsada por la inteligencia artificial en la enfermedad de Alzheimer: integración del diagnóstico temprano, tratamiento personalizado y modelos pronósticos]	Estudio teórico	No se detalla	OBJETIVO: explorar cómo la IA es capaz de innovar en el diagnóstico precoz de EA. La IA mejora los métodos comportamentales y cognitivos proporcionando herramientas que alcanzan con mayor precisión y exactitud los resultados de los tests neuropsicológicos y analiza los patrones de habla y lenguaje favoreciendo la detección precoz de signos de demencia.

2024	<i>Data-driven clinical biosignatures and treatment for neurodegenerative diseases, volume II</i> [Biomarcadores clínicos y tratamientos basados en datos para enfermedades neurodegenerativas, volumen II]	Estudio experimental cuantitativo	300 sujetos	OBJETIVO: identificar firmas biológicas que mejoren el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas. Las técnicas de análisis de habla espontánea basadas en IA identifican a pacientes en estados preclínicos de deterioro cognitivo leve ayudando a la identificación de pacientes en estado de riesgo alto de padecer una demencia de forma notable.
------	--	-----------------------------------	-------------	--

ANÁLISIS DE DATOS DE LOS RESULTADOS

Tras la presentación de la tabla se procede a hacer un análisis de los datos más relevantes expuestos en esta. Para ello se va a dividir en subapartados con la finalidad de que quede la información recogida de forma organizada y facilite la comprensión de su contenido. Asimismo, se comenzará por aspectos más superficiales para luego adentrarse más en la temática de la revisión.

Falta de estudios

Es pertinente destacar la falta de estudios en relación con este tema ya que de la inmensa cantidad de estudios que aparecieron durante la búsqueda según las palabras clave en la base de datos se tuvieron que descartar gran parte por el hecho de que solamente exploraban el diagnóstico de EA integrando la IA desde las pruebas de imagen.

En cuanto a los estudios expuestos en la tabla, resulta interesante destacar que solamente un par de ellos realizan un estudio del diagnóstico más globalizado sin segmentarlo solamente al área de la comunicación.

Países en que se ha realizado investigación

También es interesante destacar que ningún país como tal ha seguido una línea de investigación hacia este tema. Aunque parece preciso destacar que, aunque hayan sido pocos los países en invertir en el estudio del mismo, el segundo estudio mencionado, *Técnicas de rehabilitación neuropsicológica en demencias: hacia la ciber-rehabilitación neuropsicológica*, ha sido realizado por la Universidad de Salamanca.

Es curioso destacar como Estados Unidos, siendo el único país que ha realizado dos estudios en el tema, ha llevado una línea de investigación más centrada en los biomarcadores lingüísticos y acústicos para la detección de demencia en 2020 y, cuatro años más tarde, centró el interés en la clasificación ya dentro de la demencia.

Objetivo de los estudios

Principalmente el objetivo de los estudios se ha visto centrado en la distinción entre los hablantes con y sin afección o, dicho de otra forma, la predicción de deterioro cognitivo mediante marcadores acústicos o lingüísticos en pacientes sanos, aunque se haya observado

también un interés por la aplicación de la IA en la distinción entre diferentes tipos de alteraciones clasificando así a los participantes del estudio en diferentes tipos de demencia.

Marcadores lingüísticos y acústicos útiles

En cuanto a los parámetros acústicos, es muy relevante el estudio *An automatic Alzheimer's disease classifier based of spontaneous spoken English* porque se basa en el entrenamiento de un modelo de IA para el aprendizaje de identificación de patrones acústicos relevantes a partir del espectrograma. Utilizando el espectrograma se deduce que usa las diferentes propiedades acústicas como los formantes, la velocidad de habla, las pausas y el ritmo.

Por otro lado, en el estudio *Automated classification of primary progressive aphasia subtypes from narrative speech transcripts* se tuvo en cuenta el ratio y frecuencia de sustantivos y verbos, además de las interjecciones. También la complejidad sintáctica y la profundidad según Yngve (medida del lenguaje computacional para evaluar la complejidad sintáctica) dieron resultados que pudieron estar acordes hacia un declive cognitivo. En cuanto al uso de verbos se distinguió entre ellos según su complejidad a nivel semántico.

Métodos utilizados

Los principales métodos de IA utilizados en los estudios son basados en machine learning, deep learning y análisis acústico, entre otros. Es importante subrayar la tendencia al uso del machine learning o aprendizaje automático. Este viene descrito en el artículo *Artificial Intelligence, speech and language processing approaches to monitoring Alzheimer's disease: a systematic review* como la inducción de modelos predictivos aprendidos directamente a partir de datos. también se destaca en este artículo que el machine learning ha aportado resultados prometedores.

Generalmente ha surgido el interés del uso de la IA en el análisis de habla que, mediante las técnicas de machine learning han logrado categorizar entre probabilidad de EA, deterioro cognitivo leve o sano a los sujetos de estudio.

También se ha logrado aplicar la IA en la administración de pruebas o baterías neuropsicológicas (generalmente el Mini-Mental State Examination).

Variabilidad entre las muestras de participantes de los estudios

El hecho de que se estén contemplando muestras tan sumamente heterogéneas dificulta la posible generalización de los resultados obtenidos en los estudios, incluso dentro del mismo. Cabe destacar que dentro de las revisiones utilizadas se han utilizado variables demográficas muy diferentes en la selección de muestra llegando inclusive a seleccionar un grupo que contenía a personas con edades comprendidas entre los 20 y 90 años.

Eficacia

Los resultados entre los estudios han mostrado eficacias muy variables en la detección de deterioro cognitivo mediante la IA. El estudio *An automatic Alzheimer's disease classifier based on spontaneous spoken English* muestra una precisión elevada de un 93.30% en la discriminación de sujetos control (sanos) a pacientes con EA, mientras que, el estudio *Automated classification of primary progressive aphasia subtypes from narrative speech transcripts* mostró una eficacia similar de entre un 87.3% a un 91.9%.

6. DISCUSIÓN

Para analizar mejor los resultados vistos en la tabla se hace una división según el área a abordar con la finalidad de que queden analizados de una forma más clara. Es por ello que los subapartados de este punto serán los siguientes:

- Morfología, sintaxis y fonología (aspectos lingüísticos)
- Cualidades Acústicas (aspectos paralingüísticos)
- Baterías neuropsicológicas
- Perspectivas futuras
- Limitaciones de los estudios

Cabe destacar, de igual manera, que el propósito no es que la IA constituya un método de sustitución hacia la atención logopédica, sino más bien una herramienta de ayuda más para poder acelerar el proceso diagnóstico y poder empezar de forma más precoz en este caso la EA, pudiendo ser aplicado a otras enfermedades.

6.1 Morfología, sintaxis y fonología

El estudio del lenguaje nos supone un valor predictivo para la detección de signos tempranos de deterioro cognitivo, en especial, el análisis de discurso, en concreto, de los componentes morfosintáctico y fonológico. La IA puede suponer un avance en la precisión de detección de signos de alarma para la realización de estudios de diagnóstico de EA ya que permite detectar alteraciones sutiles en etapas tempranas previas a la propia manifestación clínica.

Diversos autores coinciden en que el uso de verbos juega un papel crucial para la detección de estos signos a nivel morfológico. Los estudios utilizados muestran que el paciente con riesgo a desarrollar EA, así como otras demencias, tienden a la disminución en el uso de los verbos y simplificación del discurso. A nivel sintáctico, se ha observado que los pacientes que cursan con deterioro cognitivo realizan oraciones más cortas y sencillas. Finalmente, a nivel fonológico se ha puesto principal énfasis en los tiempos de habla y las pausas (alterando de esta manera la fluidez verbal) observando así una correlación entre estos últimos con una disminución de la fluencia verbal.

6.2 Evaluación de cualidades acústicas

Por otro lado, se pone un énfasis principal en la evaluación de las cualidades acústicas del habla a la hora de la detección temprana ya que estas tienen un gran valor predictivo. Se puede observar, mediante el espectrograma, un aumento en las pausas con afectación consiguiente de la prosodia y fluencia verbal. Veremos, mediante el análisis del espectrograma, variaciones en la frecuencia fundamental (F0) que, junto con las pausas prolongadas y los errores en la pronunciación, son usadas en los modelos de IA para la clasificación de individuos aparentemente sanos en las categorías o subgrupos de deterioro. Una evidencia de esto último la vemos en el estudio realizado por Bertini et al. (2022) con una precisión superior al 90%.

En el estudio de Thomas et al. (2020) se menciona que la correlación de las características acústicas del habla con los resultados de las baterías neuropsicológicas hace posible un futuro diagnóstico de deterioro cognitivo.

6.3 Baterías neuropsicológicas

En su mayoría, los estudios mencionados utilizaron baterías neuropsicológicas como el Mini-Mental State Examination (MMSE) y el Boston Naming Test (Test de Denominación de Boston) para establecer correlaciones. La utilización de modelos que examinen el resultado de las pruebas establece un punto de vista objetivo que permite eliminar las limitaciones de la prueba provocadas por un posible sesgo subjetivo del examinador. Permite establecer un análisis estandarizado y automatizado que colabore en la reducción de variabilidad y mejora de fiabilidad.

6.4 Perspectivas futuras. Aplicación en el desarrollo de planes de intervención

De cara a un futuro, se puede evidenciar en el potencial que tiene la detección de biomarcadores lingüísticos y acústicos en el desarrollo de planes de intervención personalizados individuales, algo que actualmente solo es posible mediante la monitorización continua del habla. En base a los síntomas detectados por la IA, el logopeda puede desarrollar terapias personalizadas, basadas en el perfil lingüístico específico del paciente, que pueda evolucionar a lo largo del tiempo mediante la utilización de la IA durante las sesiones clínicas y, de esta manera, adaptar el programa de intervención a las necesidades específicas que presente en base a los datos recogidos en cada sesión. De esta manera se impide la generalización de la intervención en base a un diagnóstico y se centra

en las necesidades individuales del paciente de manera que la utilización de la IA para modificar y actualizar los planes de intervención logopédica fomentaría las terapias individualizadas.

De cara a un futuro se pretende poder ofrecer un estudio holístico que integre datos de índole lingüística, de neuroimagen y neuropsicología de manera que se haga una evaluación multidisciplinar de los datos mencionados y, así, poder un diagnóstico más eficaz y enfocado en diversas áreas para el abordaje integral en el posterior tratamiento del paciente.

Cabe destacar la necesidad de fomentar mayor cantidad de estudios longitudinales que integren la IA en el diagnóstico de EA desde un punto de vista de cualidades acústicas y lingüísticas que permitan verificar si las alteraciones detectadas y explicadas en esta revisión están relacionadas directamente con la patología.

6.5 Limitaciones

En cuanto a las limitaciones de la propia revisión cabe destacar que se han excluido los estudios centrados en la aplicación de la IA en estudios de neuroimagen lo cual supone una pérdida de la visión holística de cómo la IA actúa en conjunto con otros biomarcadores y no solamente en relación con los parámetros acústicos y neuropsicológicos. La exclusión de los estudios de neuroimagen limita la comprensión integral del estudio del paciente y sería interesante la valoración de esta en conjunto con otros biomarcadores para una valoración más eficaz e individualizada del paciente. También es pertinente subrayar que la mayoría de los estudios utilizados se encuentran todavía en fase experimental y no han sido aplicados en contextos clínicos reales lo cual solamente nos proporciona la información desde un punto de vista teórico.

Finalmente, en cuanto a las limitaciones de la IA cabe destacar que esta solamente puede aprender en base a los datos que previamente se le han otorgado por lo cual debería de entrenarse a la misma en la búsqueda de los síntomas. Esto, además, supone otra limitación que es que, si los datos que se le dan a la IA para entrenarla estuvieran sesgados por parte del entrenador/investigador o estuvieran incompletos, el resultado que daría la IA al detectar síntomas o alteraciones serían de peor calidad.

7. CONCLUSIÓN

Podemos observar que la detección precoz de EA mediante IA basada en los parámetros lingüísticos y acústicos constituye un campo de investigación emergente vista la novedad que suponen los artículos. Resulta interesante ver la integración del lenguaje y la comunicación como biomarcadores que pueden contribuir al diagnóstico de una forma no invasiva, aunque actualmente constituye una aplicación clínica limitada debido a la falta de consenso en las investigaciones y falta de ellas propiamente dichas. La escasez de investigaciones y variabilidad de resultados limita la generalización de los estudios, lo cual a estas alturas supone un inconveniente para la aplicación dentro del ámbito clínico real.

A lo largo de todo este trabajo se ha abordado el potencial que podemos encontrar en la IA como herramienta de apoyo para el diagnóstico precoz de la EA, en este caso, centrándome más en los aspectos lingüísticos (morfología, sintaxis y fonología) y paralingüísticos (cualidades acústicas de la voz). Retomando el primer punto, los principales síntomas lingüísticos que vemos en la EA son la afectación de la memoria semántica con dificultades de acceso al léxico. La IA, mediante los métodos de análisis de muestras de habla, identifica esta disminución de diversidad léxica y complejidad sintáctica. Por otro lado, los parámetros paralingüísticos más relevantes se ven afectados por esa anomia incrementando el tiempo y frecuencia de pausas en el discurso. A nivel acústico hemos podido observar variaciones en la banda del formante F2 lo cual refleja problemas en el control vocal y dificultades motoras.

El objetivo consistía en identificar las herramientas que nos proporciona la IA, en qué áreas nos puede ayudar y explorar qué perspectivas podemos tener de cara a un futuro. Después del trabajo realizado sobre los artículos se puede concluir que las herramientas más exploradas en la actualidad para la detección precoz de EA consisten en métodos de aprendizaje automático (machine learning) y análisis de muestras de habla espontánea. Lo que nos muestran los estudios es que la IA constituye una herramienta innovadora que puede tener un prometedor futuro permitiendo identificar patrones alterados no visibles ante el ojo clínico, aunque cabe destacar, una vez más, que para el diagnóstico idóneo cabría tener en cuenta, también, las pruebas de imagen no exploradas en este trabajo como la resonancia magnética ya que no constituyen el objeto de estudio del logopeda. Esto podría

constituir una limitación importante, pero a su vez una nueva línea de investigación que garantice una visión integral del paciente sin dejar de banda los aspectos explorados en este documento.

Conviene resaltar nuevamente que la IA no debería entenderse como sustituto del profesional sanitario en ninguno de sus contextos, sino más bien como una herramienta de apoyo para agilizar el proceso y poder intervenir más precozmente en el paciente ya que, como se ha visto en el primer apartado, la intervención temprana mejora el rendimiento y disminuye el declive cognitivo de forma significativa frente a quien no recibe esa intervención.

Además, es importante reiterar en la importancia del trabajo entre los diferentes profesionales, tanto en el proceso diagnóstico como en cuanto a la rehabilitación, como antes mencionada, además de tener en cuenta al paciente como un todo.

Para finalizar es preciso destacar la importancia a continuar con los estudios sobre este tema debido a la falta de ellos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Affoo, R. H., Foley, N., Rosenbek, J., Kevin Shoemaker, J., & Martin, R. E. (2013). Swallowing dysfunction and autonomic nervous system dysfunction in Alzheimer's disease: a scoping review of the evidence. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(12), 2203-2213.
2. Al-Hammadi, M., Fleyeh, H., Åberg, A. C., Halvorsen, K., & Thomas, I. (2024). Machine learning approaches for dementia detection through speech and gait analysis: a systematic literature review. *Journal of Alzheimer's Disease*, 100(1), 1-27.
3. Ardila, A. (2015). Historia y clasificación de las agnosias. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 15(1), 1-7.
4. Arroyo-Anlló, E. M., Díaz-Marta, J. P., & Chamorro Sánchez, J. (2012). Técnicas de rehabilitación neuropsicológica en demencias: hacia la ciber-rehabilitación neuropsicológica. *Pensamiento psicológico*, 10(1), 107-127.
5. Baena González, M., & Molina Recio, G. (2016). Abordaje de la disfagia en enfermos de alzhéimer. *Nutrición Hospitalaria*, 33(3), 739-748.
6. Bertini, F., Allevi, D., Lutero, G., Calza, L., & Montesi, D. (2022). An automatic Alzheimer's disease classifier based on spontaneous spoken English. *Computer Speech & Language*, 72, 101298.
7. Cabrera-León, Y., Báez, P. G., Fernández-López, P., & Suárez-Araujo, C. P. (2024). Neural computation-based methods for the early diagnosis and prognosis of Alzheimer's disease not using neuroimaging biomarkers: A systematic review. *Journal of Alzheimer's Disease*, 98(3), 793-823.
8. Caldentey, J. G., Caldentey, C. G., Mateu, C. M. L., & Trujillo, A. J. G. (2020). Tractament no farmacològic de la malaltia d'Alzheimer. *Anuari de l'envelliment: Illes Balears*, (2020), 320-337.
9. Cassinello, M. D. Z., Mestre, L. T., & Fernández-Ballesteros, R. (2008). Plasticidad cognitiva en personas con la enfermedad de Alzheimer que reciben programas de estimulación cognitiva. *Psicothema*, 20(3), 432-437.
10. Colaço, R. G. (2023). Machine learning approaches with cognitive data for early detection of dementia: a scoping review. *PQDT-Global*.

11. De la Fuente Garcia, S., Ritchie, C. W., & Luz, S. (2020). Artificial intelligence, speech, and language processing approaches to monitoring Alzheimer's disease: a systematic review. *Journal of Alzheimer's Disease*, 78(4), 1547-1574.
12. De la Rubia Ortí, J. E., Espinós, P. S., & Iranzo, C. C. (2014). Impacto fisiológico de la musicoterapia en la depresión, ansiedad, y bienestar del paciente con demencia tipo Alzheimer. Valoración de la utilización de cuestionarios para cuantificarlo. *EJIHPE: European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 4(2), 131-140.
13. Fraser, K. C., Meltzer, J. A., Graham, N. L., Leonard, C., Hirst, G., Black, S. E., & Rochon, E. (2014). Automated classification of primary progressive aphasia subtypes from narrative speech transcripts. *cortex*, 55, 43-60.
14. Fuentes, P., & Slachevsky Ch, A. (2005). Enfermedad de Alzheimer: Actualización en terapia farmacológica. *Revista médica de Chile*, 133(2), 224-230.
15. García, D. N. M., Flores, V. M. D., López, J. L. H., Jiménez, E. I. A., & Acurio, E. F. V. (2019). Avances de la inteligencia artificial en salud. *Dominio de las Ciencias*, 5(3), 603-613.
16. Garre-Olmo, J. (2018). Epidemiología de la enfermedad de Alzheimer y otras demencias. *Rev Neurol*, 66(11), 377-386.
17. González Victoriano, R., & Toledo Rodríguez, L. (2015). Apraxia del habla: evaluación y tratamiento.
18. Järvelin, A., & Juhola, M. (2011). Comparison of machine learning methods for classifying aphasic and non-aphasic speakers. *Computer methods and programs in biomedicine*, 104(3), 349-357.
19. Kale, M. B., Wankhede, N. L., Pawar, R. S., Ballal, S., Kumawat, R., Goswami, M., ... & Koppula, S. (2024). AI-driven innovations in Alzheimer's disease: Integrating early diagnosis, personalized treatment, and prognostic modelling. *Ageing Research Reviews*, 102497.
20. Li, C., Xu, W., Cohen, T., & Pakhomov, S. (2024). Useful blunders: Can automated speech recognition errors improve downstream dementia classification?. *Journal of biomedical informatics*, 150, 104598.
21. Li, R., Wang, X., Lawler, K., Garg, S., Bai, Q., & Alty, J. (2022). Applications of artificial intelligence to aid early detection of dementia: a scoping review on current capabilities and future directions. *Journal of biomedical informatics*, 127, 104030.

22. López, Á. G., & Calero, M. D. (2009). Predictores del deterioro cognitivo en ancianos. *Revista española de geriatría y gerontología*, 44(4), 220-224.
23. Moreno, A. (2011). El lenguaje en la enfermedad de Alzheimer: deterioro progresivo y proceso comunicativo. *Psicología científica*, 1(1).
24. Organización Mundial de la Salud (2019). *Clasificación internacional de enfermedades para estadísticas de morbilidad y mortalidad, 11ª revisión (CIE-11)*. <https://icd.who.int/>
25. Qiu, C., Kivipelto, M., & Von Strauss, E. (2009). Epidemiology of Alzheimer's disease: occurrence, determinants, and strategies toward intervention. *Dialogues in clinical neuroscience*, 11(2), 111-128.
26. Rodrigues, P. A. G. (2022). *A framework for AI-driven neurorehabilitation training: the profiling challenge* (Master's thesis, Universidade da Madeira (Portugal)).
27. Romano, M., Nissen, M. D., Del Huerto, N., & Parquet, C. (2007). Enfermedad de alzheimer. *Revista de posgrado de la vía cátedra de medicina*, 75(1), 9-12.
28. Rubio Prieto, I. (2020). El papel del logopeda en las distintas etapas de la enfermedad de Alzheimer.
29. Sato, R. C., & Sato, G. T. K. (2015). Probabilistic graphic models applied to identification of diseases. *Einstein (São Paulo)*, 13, 330-333.
30. Silva, R. A. C. (2016). *A multimodal approach to distinguish MCI-C from MCI-NC subjects* (Master's thesis, Universidade de Lisboa (Portugal)).
31. Takeshige-Amano, H., Oyama, G., Ogawa, M., Fusegi, K., Kambe, T., Shiina, K., ... & Hattori, N. (2024). Digital detection of Alzheimer's disease using smiles and conversations with a chatbot. *Scientific Reports*, 14(1), 26309.
32. Takeyas, B. L. (2007). Introducción a la inteligencia artificial. *Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo*. Web del autor: <http://www.itnuevolaredo.edu.mx/takeyas>.
33. Thomas, J. A., Burkhardt, H. A., Chaudhry, S., Ngo, A. D., Sharma, S., Zhang, L., ... & Hosseini Ghomi, R. (2020). Assessing the utility of language and voice biomarkers to predict cognitive impairment in the Framingham Heart Study Cognitive Aging Cohort Data. *Journal of Alzheimer's Disease*, 76(3), 905-922.
34. Toovey, C. R. (2024). *Linguistic biomarkers as a diagnostic and prognostic tool for identifying Alzheimer's disease* (Doctoral dissertation, The University of Iowa).

35. Wang, L. X., Wang, Y. Z., Han, C. G., Zhao, L., He, L., & Li, J. (2024). Revolutionizing early Alzheimer's disease and mild cognitive impairment diagnosis: a deep learning MRI meta-analysis. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 82(8), s00441788657.
36. Wang, N., Chen, L., Kong, W., Hsu, C. Y., & Tzeng, I. S. (2024). Data-driven clinical biosignatures and treatment for neurodegenerative diseases, volume II. *Frontiers in neuroscience*, 18, 1396702.