

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



Revisión bibliográfica: Podología e inteligencia artificial aplicada al pie diabético.

Autor: Miranda Sánchez Bernal

Tutor: Ramón Vicedo Cano

Departamento de Ciencias del Comportamiento y la Salud

Curso académico: 2020-2024

Convocatoria de Junio

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
1.1. ABSTRACT.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. MARCO TEÓRICO.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	10
5. OBJETIVO.....	11
6. METODOLOGÍA.....	11
7. RESULTADOS.....	14
8. DISCUSIÓN.....	20
9. CONCLUSIÓN.....	25
10. BIBLIOGRAFÍA.....	26



1. RESUMEN

INTRODUCCIÓN: La diabetes y el pie diabético suponen una gran problemática para la salud pública, debido a todas las complicaciones que se derivan de esta enfermedad crónica, que a lo largo de los años sigue en aumento. Por ello es necesaria la investigación y el compromiso por parte de los podólogos y diferentes profesionales de la salud para disminuir las diferentes consecuencias derivadas de la diabetes. Debido a esto, se realiza esta revisión bibliográfica para poder aplicar la tecnología actual como es entre ellas la IA para poder contribuir a combatir dichas complicaciones.

OBJETIVOS: El objetivo principal es ver el grado de implementación de la IA en podología, más concretamente en el pie diabético, observando la existencia de esta, y el grado de desarrollo, además de hallar ejemplos de éxito de implementación de la IA en el tratamiento de pie diabético.

METODOLOGÍA: Se realiza una revisión bibliográfica sobre el grado de implementación de la inteligencia artificial en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento del pie diabético realizando la búsqueda en bases de datos como Pubmed, Scopus y Web of Science. Se han seleccionado 13 estudios que cumplen con el objetivo propuesto.

CONCLUSIÓN: Concluimos y podemos afirmar la implementación de la IA en el tratamiento del pie diabético y en la podología además de que es factible el empleo de la IA en los ámbitos acotados en los objetivos, podología y pie diabético.

PALABRAS CLAVE: Pie diabético e inteligencia artificial.

1.1. ABSTRACT

INTRODUCTION: Diabetes and the diabetic foot are a major public health problem, due to all the complications derived from this chronic disease, which continues to increase over the years. For this reason, research and commitment on the part of podiatrists and different health professionals is necessary in order to reduce the different consequences derived from diabetes. Due to this, this bibliographic review is carried out in order to apply current technology, such as AI, to help combat these complications.

OBJECTIVES: The main objective is to see the degree of implementation of AI in podiatry, more specifically in the diabetic foot, observing the existence of this, and the degree of development, as well as finding examples of successful implementation of AI in the treatment of diabetic foot.

METHODOLOGY: A literature review was carried out on the degree of implementation of artificial intelligence in the diagnosis, monitoring and treatment of diabetic foot by searching databases such as Pubmed, Scopus and Web of Science. Thirteen studies have been selected that meet the proposed objective.

CONCLUSION: We conclude and can affirm the implementation of AI in the treatment of the diabetic foot and in podiatry, as well as the feasibility of the use of AI in the areas defined in the objectives, podiatry and diabetic foot.

KEY WORDS: Diabetic foot and artificial intelligence.

2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de fin de grado es una revisión bibliográfica en el que se analiza el uso de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la salud, más concretamente en la podología y en el tratamiento del pie diabético, pues esta tecnología es un instrumento disruptor en distintos ámbitos profesionales, y transversal en nuestras sociedades actuales, así consideramos que es un tema de gran interés, actualidad y escasamente analizado en su conjunto.

Por ello se procederá a realizar análisis bibliográfico a partir de una búsqueda de lo más general, a lo más concreto, en la aplicación de la IA en la sanidad, haciendo una cuantificación de los resultados a partir de unos filtros y términos clave que referenciamos, un cribado y clasificación de los resultados observados, y un contraste y yuxtaposición de los resultados, para poder extraer nuestras conclusiones y a partir de éstas, cumplir con los objetivos fijados en el presente trabajo.

3. MARCO TEÓRICO

La finalidad del presente trabajo es implementar la inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la salud, concretamente en podología y tratamiento del pie diabético.

La IA es un concepto en constante evolución y de difícil determinación, John McCarthy, pionero en definirla la concibe como *“ciencia e ingeniería para construir máquinas inteligentes, especialmente, programas de computación inteligentes”* [1], refiriéndose a la creación de autómatas con programas de cómputo instalados.

La Real Academia de la lengua española (RAE), actualmente la define como *“disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico”* [2], viendo una clara evolución terminológica que asemeja la IA a un intelecto creado por el

hombre para sustituir o asemejarse al conocimiento humano, es decir más como un elemento metafísico digital que una traslación material que realiza tareas, pues el contexto social de John McCarthy, la concibe a fines de la II Revolución industrial para ofrecer un concepto innovador que renovara el aumento de la productividad.

Actualmente la doctrina científica la define como *“habilidad de los ordenadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana (...), la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano”* [3], también se definirse como *“forma de tecnología que incluye el diseño y la creación de entidades u organismos que tengan la capacidad de realizar procesos de análisis, comprensión y razonamiento semejantes a la inteligencia humana (...) o capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, aprender de dichos datos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas más concretas a través de la adaptación flexible”* [4], viendo cómo la tendencia a definir la IA va más allá de la simple asimilación con la mente humana, a dotarlo de una capacidad de aprendizaje, entrenamiento y evolución, aumentando las posibilidades de trabajo autónomo. Siguiendo esta definición, la Comisión Europea indica que *“es la habilidad de una máquina de presentar las mismas capacidades que los seres humanos, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la capacidad de planear. (...) que permite que los sistemas tecnológicos perciban su entorno, se relacionen con él, resuelvan problemas y actúen con un fin específico. La máquina recibe datos, los procesa y responde a ellos.”* [5], es decir diferencia la IA a nivel software como lo que podría venir a ser asistentes virtuales, software de análisis de imágenes, motores de búsqueda, sistemas de reconocimiento de voz y rostro, etc.; de la IA integrada, asemejada a autómatas u otros elementos de soporte.

En conclusión, la IA es una tecnología que viene a complementar el trabajo técnico del ser humano mediante programación informática asemejada al procesamiento de datos, la evolución o aprendizaje de éstos y generación de resultados, que funcionen como elementos de auxilio a tareas de personas.

Seguidamente vamos a ver cómo este instrumento se implementa en el ámbito de la salud, con ejemplos claros y prácticos que nos ayudarán a alcanzar nuestros objetivos de uso en el tratamiento del pie diabético.

Una de las implementaciones es el uso de la Deep Learning, una imitación de la red neuronal, que emula el comportamiento del cerebro humano, para producir resultados autónomamente a partir del entrenamiento o aprendizaje a partir de la introducción y procesamiento de grandes cantidades de datos. Las redes básicas tienen 1 sola capa de programación, y las utilizadas en los casos elegidos tienen 3, para a partir de unos algoritmos procesarán datos introducimos, como imágenes o porciones de sonido, y automáticamente nos generará resultados, y que con el continuo trabajo y uso de la red, *per se* se ajusta y adapta para obtener resultados cada vez más precisos, así se usa en el análisis de imágenes histopatológicas [6], donde a partir de imágenes de tejido humano genera un diagnóstico para tratar de diversas patologías como el cáncer, atajando tareas laboriosas y subjetivas, susceptibles de interpretación, para obtener un análisis preliminar o dictamen de contraste; también se usa esta IA para clasificar de imágenes para la detección, identificación y localización de objetos o regiones de interés dentro; y la segmentación de imágenes para delimitar los contornos de objetos presentes en la imagen analizada; un ejemplo es DermAssist [7] desarrollado por

Google-Salud, aunque actualmente está en proceso de desarrollo muy avanzado pero sin implementarse, y se destinará a fines informativos sin proporcionar diagnósticos médicos.

Otro ejemplo de uso de deep learning es una aplicación que detecta mediante análisis de imágenes, futuras posibles patologías de la vista, un examen automatizado de retinopatía [8]. Otra implementación es la creación de una base de datos sanitaria más efectiva y ágil, con una codificación automática de informes médicos y enfermería redactados por facultativos [9], esto podría extenderse al ámbito podológico y al tratamiento del pie diabético. Otro ejemplo es el uso de IA para mejorar la adherencia a tratamientos de pacientes, así surge FARMALARM [10], una aplicación de seguimiento clínico individualizado, para el control a la adherencia a los tratamientos médicos en pacientes registrados para tratar el ictus en el Hospital del Vall D'hebron, que también puede usarse para el seguimiento en otras patologías de la podología y pie diabético.



Ilustración 1 Extraída de: <https://trustmyscience.com/smartphone-application-dermatologie-google-lens/>

Ejemplos de IA en podología, hallamos AI4HealthyAging [11], un proyecto financiado con fondos NextGen, desarrollado por un consorcio de 14 entidades, que pretende usar la IA para detectar la sarcopenia analizando la marcha de personas mediante sensores, éste no ha concluido, y las informaciones son vagas, además de la participación de empresas privadas como Podoactiva; la última aplicación que nombraremos es Neil, [12] una IA para generar un diagnóstico rápido y la ayuda para determinar tratamientos para la rehabilitación de patologías

músculo-esqueléticas, colocando un dispositivo en el calzado, conectado a una app, que recabe datos y que en tres días proporcione un informe completo.

La diabetes mellitus (DM), según la Organización Mundial de la salud (OMS) [13] es una enfermedad crónica por incapacidad del páncreas de producir la insulina necesaria o cuando el cuerpo no sea capaz de



Ilustración 2 extraída de: <https://neil-tech.com>

usarla eficazmente; la insulina es la hormona encargada de regular la glucosa, en consecuencia se produce una hiperglucemia, es decir, los niveles de glucosa son altos (+600 mg./dl.), un aumento de la osmolaridad plasmática de +350 mOsm/l y ausencia de cuerpos cetónicos en sangre, es cuando se considera que una persona es diabética con +126 mg./dl. y hemoglobina glicosilada también +6,5%, ante esta situación de hiperglucemia se puede producir en casos no controlados y con el paso del tiempo daños graves a muchos sistemas del cuerpo, especialmente a nervios y vasos sanguíneos, y en miembros inferiores surgiendo pie diabético (PD) que se trata de *“la presencia de ulceración, infección, y/o gangrena del pie asociada a la neuropatía diabética y a diferentes grados de enfermedad vascular periférica, y resultantes de la interacción compleja de diferentes factores inducidos por una hiperglucemia mantenida”* [14].

Respecto a la incidencia y prevalencia de diabetes en Europa [15] en 2021 están diagnosticados 61 millones de personas (9,1% población europea) además del 36% de la población adulta que vive con diabetes, pero no diagnosticados.

La prevalencia de diabetes en España es del 14,8% y un 30,3% de las personas tienen diabetes sin estar diagnosticadas. La incidencia del número de personas con diabetes aumentó de 108 millones en 1980 a 537 millones en la actualidad en el mundo.

Diabetes around the world in 2021



Ilustración 3 extraída de: <https://diabetesatlas.org/>

La prevalencia ha ido aumentando en países de ingresos bajos y medianos que en los países de ingresos altos. Se ha estimado que una persona con DM tendrá un riesgo de presentar un PD durante su vida del 34%, según la Federación Internacional de Diabetes 144 millones de personas en el mundo y más de 1 millón en España podrían desarrollar un PD en su vida, siendo un gran problema de salud pública debido a las consecuencias que puede producir amputaciones e incluso la muerte ya que el 85% de las amputaciones de miembros inferiores es debido a úlceras de pie diabético [16].

4. JUSTIFICACIÓN

La diabetes y el pie diabético suponen una gran problemática para la salud pública, debido a su incidencia y prevalencia y todas las complicaciones que se derivan de esta enfermedad crónica,

que a lo largo de los años sigue en aumento debido al envejecimiento y estilos de vida de la población actual que suponen estos factores de riesgo.

Debido a lo comentado anteriormente, es necesaria la investigación y el compromiso por parte de los podólogos y diferentes profesionales de la salud para disminuir las diferentes consecuencias derivadas de la diabetes, como las amputaciones en pie diabético que en aproximadamente el 50% de los casos son evitables, por ello se realiza esta revisión bibliográfica para poder aplicar la tecnología actual como es entre ellas la IA para poder contribuir a combatir dichas complicaciones.

5. OBJETIVO

El objetivo principal del presente trabajo, es ver el grado de implementación de la IA en podología, más concretamente en el pie diabético, observando la existencia de esta, y el grado de desarrollo.

Como objetivo secundario nos fijamos en el de hallar ejemplos de éxito de implementación de la IA en el tratamiento de pie diabético.

6. METODOLOGÍA

6.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el grado de implementación de la inteligencia artificial en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento del pie diabético.

6.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Respecto los criterios de inclusión y exclusión, se han utilizado los mismos filtros en las bases de datos escogidas y se han aceptado los artículos con acceso libre al texto completo, no se han

aplicado filtros de idioma ya que todos ellos eran en inglés, también los artículos con data de publicación de los últimos 5 años ya que se trata de un tema de relativa actualidad descartando artículos anteriores a 2019, también se han excluido las publicaciones que no hubieran realizado sus estudios en humanos.

6.3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Respecto a la estrategia de búsqueda se realiza una búsqueda de bibliografía desde el 1 de marzo de 2024 en las siguientes bases de datos: Pubmed, Scopus y Web of Science (WOS).

Las palabras clave utilizadas en dichas bases de datos han sido: “diabetic foot” y “artificial intelligence” uniendo términos mediante el operador booleano “AND”, ya que si se utilizaban más palabras clave no aparecían términos de búsqueda.

En la siguiente tabla se muestran de forma esquemática la búsqueda realizada en las diferentes bases de datos y los filtros aplicados en cada una de ellas.

BASES DE DATOS	BÚSQUEDA	FILTROS
PUBMED	Diabetic foot and artificial intelligence	Free full text, publication date (5 years), humans
SCOPUS	Diabetic foot and artificial intelligence	All open access, 2019 to 2024, humans
WEB OF SCIENCE	Diabetic foot and artificial intelligence	All open access

Tabla 1. Fuente: elaboración propia.

En el siguiente diagrama se puede observar de forma esquemática los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica en las diferentes bases de datos consultadas:

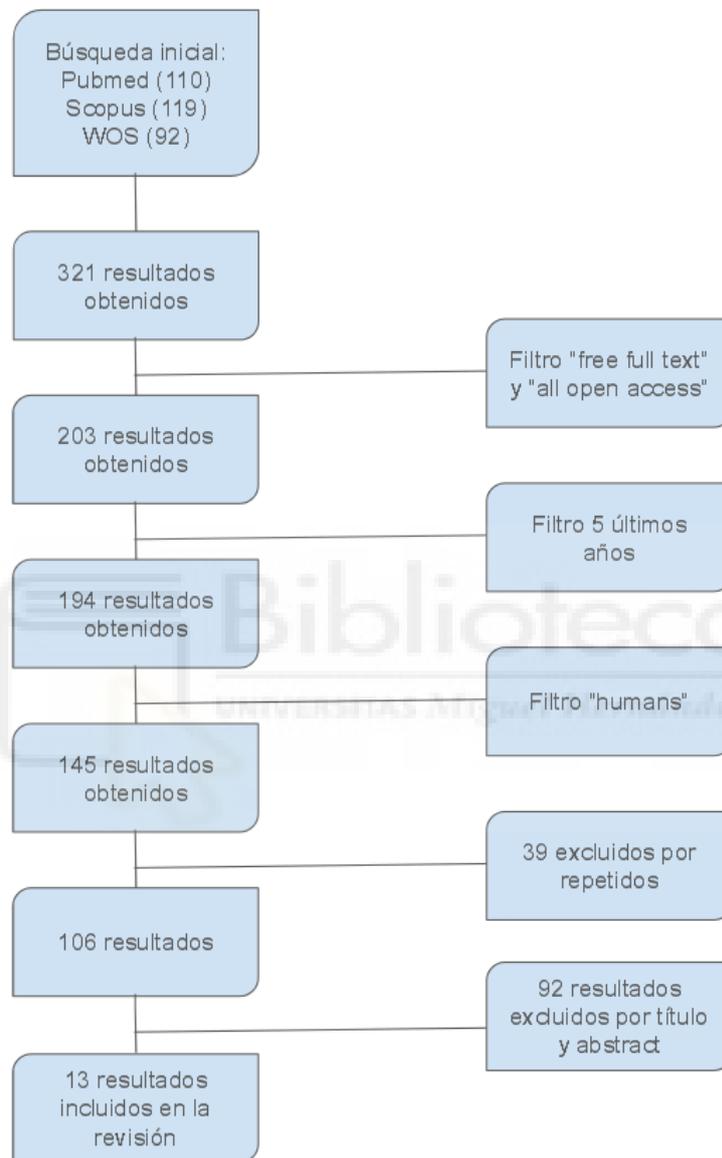


Figura 1. Diagrama de flujo. Fuente: elaboración propia.

7. RESULTADOS

Tras la revisión bibliográfica realizada se han obtenido los siguientes resultados:

Año de publicación	Título	Autores	Resumen
2024	VGG19 Demonstrates the Highest Accuracy Rate in a Nine-Class Wound Classification Task Among Various Deep Learning Networks: A Pilot Study [17]	Won, J; You, H; Cha, J; Lee, T; Kim, D	Estudio en el que establecieron, entrenaron y probaron seis redes de aprendizaje profundo hallando que una de ellas tiene el potencial para ser la base de sistema diagnóstico de heridas basado en IA más completo y detallado.
2024	FUSeg: The Foot Ulcer Segmentation Challenge [18]	Wang, C; Mahbod, A; Ellinger, I; Galdran, A; Gopalakrishnan, S; Niezgod, J; Yu, Z.	En este estudio se creó un gran conjunto de datos de imágenes de heridas ante la necesidad de métodos automáticos que realicen segmentación y medición de heridas.
2023	A feasibility study on the efficacy of a patient-owned wound surveillance system for diabetic foot ulcer care (ePOWS study) [19]	Lo, Z; Harish, K; Tan, E; Chan, S; Liew, H; Hoi, W; Liang, S; Cho, Y; Koo, H; Wu, K; Car, J.	El objetivo del estudio es ver la viabilidad sobre la eficacia de un sistema de vigilancia de heridas por parte del paciente para el tratamiento de úlceras del pie diabético.
2023	Machine learning models for diabetic neuropathy diagnosis using microcirculatory parameters in type 2 diabetes patients [20]	Zhang, X; Sun, Y; Ma, Z; Lu, L; Li, M; Ma, X.	En este estudio construyeron un modelo de aprendizaje automático para el diagnóstico de neuropatía diabética basado en parámetros microcirculatorios e identificar parámetros predictivos para la neuropatía.
2022	Foot deformation analysis with different load-bearing conditions to enhance diabetic footwear designs [21]	Zhang, L; Yick, K; Li, P; Yip, J; Ng, S.	Este estudio realiza un análisis en profundidad de las deformidades sufridas durante la marcha para mejorar el ajuste del calzado diabético mediante un escaneo simultáneo tanto de la planta como del dorso del pie.
2022	Design and Implementation of a Smart Insole System to Measure Plantar Pressure and Temperature [22]	Khandakar, A; Mahmud, S; Chowdhury, M; Bin, M; Kiranyaz, S; Bin, Z; Hamid, S; Ashrif, A; Arselene, M; Alhatou, M; AbdulMoniem, M.	En este estudio se investiga la viabilidad de crear una plantilla de bajo costo con sensores para medir la presión plantar y la temperatura pudiendo utilizarse en la detección temprana y manejo de complicaciones del pie diabético.

2022	Diabetes emergency cases identification based on a statistical predictive model [23]	Azbeq, K; Boudhane, M; Ouchetto, O; Jai, S.	Este estudio presenta un sistema basado en IoT que garantiza la recopilación de datos de pacientes con el fin de predecir casos graves de diabetes.
2021	A machine learning model for early detection of diabetic foot using thermogram images [24]	Khandakar, A; Chowdhury, M; Bin, M; Hamid, S; Anwarul, M; Kiranyaz, S; Rahman, T; Alfkey, R; Ashrif, A; Malik, R.	Este estudio investiga basándose en el aprendizaje automático, la detección temprana del pie diabético mediante imágenes de termogramas.
2021	Initial Clinical Experience with a Simple, Home System for Early Detection and Monitoring of Diabetic Foot Ulcers: The Foot Selfie [25]	Swerdlow, M; Shin, L; D'Huyvetter, K; Mack, W; Armstrong, D.	El estudio desarrolla un sistema simple y económico en teléfonos inteligentes que permite a los pacientes fotografiar la planta de los pies y transmitir las imágenes para su diagnóstico, permitiendo la detección y monitoreo de úlceras de pie diabético.
2021	An explainable machine learning model for predicting in-hospital amputation rate of patients with diabetic foot ulcer [26]	Xie, P; Li, Y; Deng, B; Du, C; Rui, S; Deng, W; Wang, M; Boey, J; Armnstrong, D; Ma, Y; Deng, W.	En este estudio desarrollaron un modelo de predicción preciso para estimar el riesgo de amputación en pacientes con úlceras de pie diabético.
2020	Recognition of ischaemia and infection in diabetic foot ulcers: Dataset and techniques [27]	Goyal, M; Reeves, N; Rajbhandari, S; Ahmad, N; Wang, C; Hoon, M.	En este estudio entrenan diferentes clasificadores basados en algoritmos de aprendizaje automático para el reconocimiento y evaluación de la isquemia e infección del pie diabético.
2020	Deep Learning Classification for Diabetic Foot Thermograms [28]	Cruz, I; Hernández, D; Peregrina, H; Rangel, J; Ramirez, J.	En este estudio comparan las técnicas de aprendizaje automático con las de aprendizaje profundo para la clasificación de termogramas de pie diabético.
2020	AI technology for remote clinical assessment and monitoring [29]	Zoppo, G; Marrone, F; Pittarello, M; Farina, M; Uberti, A; Demarchi, D; Secco, J; Corinto, F, Ricci, E.	Este estudio informa sobre la validación clínica de un dispositivo impulsado por IA que utiliza sensores y algoritmos para recopilar de forma remota datos clínicos precisos, mediciones 3D, composición de tejidos y clasificación de heridas.

Tabla 2. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, el estudio sobre el desarrollo de un sistema de clasificación preciso de heridas [17], en el que con un total de 8173 imágenes de entrenamiento y 904 de prueba se clasificaron en 9 categorías: herida de operación, laceración, abrasión, defecto de piel, herida infectada, necrosis, úlcera pie diabético, úlcera crónica y dehiscencia de la herida. Se entrenaron y probaron seis redes de aprendizaje profundo descubriendo que una de ellas logró una mayor precisión con un 82,4% teniendo “VGG19” un gran potencial para ser la base de un sistema de diagnóstico de heridas basado en IA más completo y detallado.

Continuando con el estudio “FUSeG” de segmentación de úlcera del pie diabético [18], para crear una base de datos se recopiló datos durante 2 años obteniendo en total 1210 imágenes de 889 pacientes. Se utilizaron 3 algoritmos y el rendimiento en general es prometedor ya que fueron capaces de segmentar la región de la herida con una precisión del 91,55%. Aunque observan desafíos para distinguir tejido epitelial del de granulación y segmentar pequeñas regiones aisladas de la herida.

El estudio de viabilidad de un sistema de vigilancia de heridas por parte del paciente [19], se examinaron pacientes con úlceras y con una aplicación de análisis de imágenes habilitada por IA que calcula área de superficie de la herida mediante fotografías de las heridas en el cambio de apósitos y se realizó un seguimiento de los 39 pacientes hasta que se deterioró la herida, cicatrizó o se estabilizó a los 6 meses. El algoritmo demuestra un gran rendimiento y en general los pacientes encontraron fácil de usar la aplicación, pero se mostraron reacios a pagar por el uso de la misma.

El estudio sobre modelos de aprendizaje automático para diagnóstico de neuropatía [20], participaron 261 sujetos incluyendo 102 diabéticos con neuropatía, 73 sin neuropatía y 86 controles sanos. Se construyeron modelos diagnósticos basados en parámetros microcirculatorios utilizando 5 algoritmos y 3 conjuntos de datos. Se logró una precisión de 84,6% y una sensibilidad del 90,2%, siendo una herramienta confiable en la detección de neuropatía.

Estudio sobre análisis de deformaciones del pie para mejorar diseños del calzado para diabéticos [21], en el que mediante un escáner 3D se escanearon los pies de 48 pacientes con DM analizando las deformidades en 3 condiciones diferentes de carga teniendo en cuenta 10 marcadores colocados en cada pie. Obteniendo los resultados de que el antepié y el mediopié muestran mayor porcentaje de cambio que el retropié concluyendo que a la hora de diseñar el calzado se debe tener estos factores en cuenta y que por ejemplo los materiales con mayor elasticidad se recomiendan en áreas con mayor cambio de dimensión.

Por otro lado, destacamos el estudio de diseño e implementación de un sistema de plantilla inteligente [22], en él se realiza una selección de los sensores más adecuados para medir la presión y temperatura plantar, en este caso 16 y 8 sensores respectivamente, su fabricación teniendo en cuenta los puntos cruciales según estudios actuales y resultados de presión y temperatura plantar del sistema a través de mapas dinámicos obtenidos con la participación de 12 sujetos, todo ello confirma la capacidad de detección temprana de complicaciones en el pie diabético.

También el estudio sobre la identificación de casos de emergencia de diabetes [23] basado en un modelo predictivo estadístico con el empleo de técnicas avanzadas de análisis de imágenes utilizando una base de datos creada de dos conjuntos de datos fusionados que consta de 2768 casos con 8 características: glucosa, presión arterial, insulina, edad, embarazos, grosor de la piel, IMC y función pedigrí de diabetes. Todos los pacientes han sido mujeres mayores de 21 años. El algoritmo propuesto indicó que las características más importantes fueron la glucosa, IMC y función de pedigrí de diabetes y se obtuvo una precisión del 99,8% en el conjunto de datos fusionado.

Otro de ellos realiza diferentes observaciones creando un modelo de aprendizaje automático, en este caso el que más destacó es el clasificador Adaboost basado en imágenes 2D de termogramas tomadas mediante cámaras infrarrojas con un teléfono inteligente, permitiendo el desarrollo de un sistema diagnóstico que puede llevarse a cabo con una aplicación que puede validarse en un ensayo clínico para la detección temprana del pie diabético [24].

Otro de los estudios es "Foot Selfie" [25] que consta de un aparato con 3 partes, una plataforma, una base y un soporte para el teléfono diseñado a través de un software CAD e impreso en 3D y por otro lado una aplicación que permite realizar fotos y subirlas a una base de datos. Se realizó un seguimiento a 15 pacientes durante 5 meses y esto permitió desarrollarla y validarla permitiendo contribuir a una mayor prevención y cuidado de las úlceras.

El siguiente estudio es un modelo de aprendizaje automático para predecir la tasa de amputación en pacientes con úlceras de pie diabético [26], en el que se incluyeron 618 pacientes dividiéndolos en grupos sin amputación, amputación menor y amputación mayor. Se

recogieron las características demográficas, antecedentes médicos y de medicación, datos clínicos y de laboratorio, clasificación Wagner, herida, isquemia, clasificación de infección del pie y los resultados clínicos de amputación y muerte. Con todo ello consiguieron establecer con éxito el modelo de clasificación para predecir el riesgo de amputación además de una nueva plataforma para el análisis individualizado de factores de riesgo de los pacientes.

Continuando con el estudio que se centra en el reconocimiento, detección y segmentación de úlceras y clasificación de tejidos, definiendo la presencia de isquemia e infección en úlceras de pie diabético mediante algoritmos de aprendizaje automático basado en imágenes [27]. Se utilizaron varias técnicas, una de ellas fue el aumento que proporciona a los algoritmos de la máquina a identificar regiones de interés y centrarse en encontrar las áreas interesantes y por otro lado descriptores de color y textura. Se demostró que el rendimiento medio de los modelos en términos de precisión fue del 83,3% en isquemia y del 65,8% en infecciones. Destacaron como importante las similitudes entre clases, diferencias demasiado sutiles, necesidad de pruebas médicas para el suministro vascular y de infección además de otros factores como condiciones de iluminación, marcas y tono de piel para introducir en la predicción pudiendo mejorarla en el futuro, a pesar de todo ello tiene potencial para que esta tecnología transforme la atención clínica del pie diabético.

El siguiente estudio sobre el uso de la termografía [28], en el que se tiene como objetivo clasificar los termogramas y predecir la presencia de ulceración en los pies. Se utilizaron 110 termogramas de sujetos con DM y se aplicaron algoritmos realizando un proceso de selección de regiones de interés para la segmentación y extracción de características relevantes. En el caso de varios de ellos los resultados no fueron satisfactorios, pero propusieron otro nuevo

diseño que tenía una estructura más simple, pero con mejor diseño que obtuvieron resultados satisfactorios.

Finalmente, el estudio sobre la validación clínica de un dispositivo médico innovador, portátil y no invasivo impulsado por IA [29] que utiliza sensores y algoritmos para recopilar de forma remota datos clínicos objetivos y precisos, mediciones en 3D de heridas, composición de tejidos y clasificación de heridas. Un total de 150 pacientes que participaron en total se dividieron en tres grupos: pacientes con úlceras venosas y arteriales en miembros inferiores, con pie diabético y con úlceras por presión. Evaluando el área, profundidad, volumen y clasificación de heridas. Se alcanzó una precisión del 97%, indicando que la evaluación remota es tan efectiva como la realizada por el profesional sanitario.

8. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos vamos a destacar los principales hallazgos, en primer lugar, el estudio en el que se establecieron, entrenaron y probaron seis redes de aprendizaje profundo para clasificar heridas de 9 clases, hallando que “VGG19” [17] tiene potencial para ser la base de sistema diagnóstico de heridas basado en IA más completo y detallado. Otro de ellos, el estudio “FUSeg” [18] crearon un gran conjunto de datos de imágenes de heridas ante la necesidad de métodos automáticos que realicen segmentación y medición de heridas, otro de los que utilizan el aprendizaje automático para evaluar imágenes de heridas y en este caso de úlceras es el que lo usa para el reconocimiento y evaluación de la isquemia e infección del pie diabético [27], observaron desafíos a la hora de distinguir tejidos o segmentar regiones aisladas de las heridas, coincidiendo con otros estudios en esta limitación, proponiendo mejoras futuras

como factores de iluminación, marcas y tono de piel, a pesar de ello tienen potencial para transformar la atención del pie diabético.

Además otros dos de los estudios seleccionados también utilizaban el aprendizaje automático para el análisis de imágenes en este caso de termogramas, en uno de ellos [28] los primeros hallazgos no fueron satisfactorios pero se propuso otro diseño mejor y con una estructura más simple en el que sí se obtuvieron los resultados esperados y en el caso del otro [24] con un teléfono inteligente llegaron a la conclusión de que puede llevarse a cabo la aplicación y podría validarse en un ensayo clínico de forma sencilla para seguir contribuyendo a la detección temprana del pie diabético y por ello a evitar complicaciones de mayor consideración.

En los siguientes estudios se llevó a cabo la viabilidad de aplicaciones en las que se evalúan heridas de forma remota, en el caso del estudio que observaron la viabilidad sobre la eficacia de un sistema de vigilancia de heridas por parte del paciente para el tratamiento de úlceras del pie diabético [19] demuestra un gran rendimiento y los pacientes encontraron fácil su uso pero a pesar de ellos se mostraron reacios a pagar por su uso. También encontramos interesante la investigación *The Foot Selfie* [25] en el que se desarrolla y valida un sistema simple y económico en teléfonos inteligentes que permite a los pacientes fotografiar la planta de los pies y transmitir las imágenes para su diagnóstico, permitiendo la detección y monitoreo de úlceras de pie diabético. El último de este apartado, el estudio que informa sobre la validación clínica de un dispositivo impulsado por IA que utiliza sensores y algoritmos para recopilar de forma remota datos clínicos precisos, mediciones 3D, composición de tejidos y clasificación de heridas [29] alcanzando también una gran precisión siendo tan efectiva como la realizada por un profesional.

Por otro lado, el estudio en el que construyeron un modelo de aprendizaje automático para el diagnóstico de neuropatía diabética basado en parámetros microcirculatorios e identificar parámetros predictivos [20], obteniendo como resultado que podría ser una herramienta confiable para la detección de dicha complicación de la diabetes.

Otros de los estudios destacables y con escasez de este tipo de estudios, aunque considero que muy necesarios, es en el que se realiza un análisis en profundidad de las deformidades sufridas durante la marcha para mejorar el ajuste del calzado diabético mediante un escaneo 3D del pie [21].

Continuando con otro de ellos en el que se investiga y confirma la capacidad y viabilidad de crear una plantilla de bajo costo con sensores para medir la presión plantar y la temperatura siendo muy útiles en la detección temprana y por ello una prevención en el manejo de complicaciones del pie diabético [22]. A su vez otros de los estudios que presenta un sistema basado en un modelo estadístico predictivo que garantiza la recopilación de datos de pacientes con el fin de predecir casos graves de diabetes [23] y el modelo de predicción preciso para estimar el riesgo de amputación en pacientes con úlceras de pie diabético [26] este modelo de aprendizaje automático es aplicable para predecir la tasa de amputación en pacientes con úlceras de pie diabético, lo cual nos permite deducir la alta utilidad de la IA en la toma de decisiones clínicas siendo muy importante también en el campo de la prevención.

Se ha de indicar como unas de las principales limitaciones de nuestra revisión bibliográfica, que no se han encontrado casi estudios concretos de podología sobre este tema a pesar de que se trate del pie diabético, ya que si se utilizan muchas palabras clave del tipo “podiatry” no se

obtenían resultados en las búsquedas en las diferentes bases de datos, teniendo que utilizar dos palabras clave y siendo más costosa la filtración de los estudios de utilidad.

Otro de los aspectos a destacar que pueden limitar la efectiva implementación de bases de datos basadas en la IA son diferentes factores externos y en su mayor medida, de origen regulatorio en materia de protección de datos de los pacientes, lo que condiciona los resultados de los estudios ante la necesidad de más datos.

Además, considero que, para una implementación extensa en el ámbito de la podología, es necesaria la integración de podólogos en las necesidades sanitarias cubiertas por el sistema público de salud. Puesto que este tipo de tecnologías tienen un coste muy elevado, el cual presenta barreras de carácter económico-financiero que impedirían la aplicación a gran escala, algo que se extrapolaría al coste de los profesionales, que rehusarían en su mayoría de su uso, e incluso se traducirían a un alto precio para un número muy limitado de pacientes. Por lo que, si se integrara la podología como una de las áreas cubiertas por la Seguridad Social y ésta implementara todas estas aplicaciones, se extendería su uso a la generalidad de la población, como resultado, una cantidad mucho menos considerable de amputación, morbilidad y mortalidad asociada a esta enfermedad.

Lo que es innegable es que aún hay áreas de mejora y desarrollos en curso del tratamiento del pie diabético. La IA se erige como un elemento clave para la mejora de la atención y el tratamiento de esta enfermedad crónica, por lo que se ha de tener en cuenta que la tecnología está en constante evolución y su impacto es transversal en todos los enfoques sociales y profesionales. He encontrado como fundamental la necesidad adaptar el modo de trabajo de la

podología, e integrar todos estos cambios, pero manteniendo a su vez el equilibrio, entre nuestras artes como profesionales y el elemento de apoyo o auxilio que nos brinda la IA. Destacar el deber de ser conscientes de cómo empleamos la tecnología y asegurarnos de que únicamente sea en beneficio del paciente, manteniendo siempre presente la importancia de las relaciones humanas.

Como futuras líneas de investigación, considero importante realizar estudios más concretos en el uso de escáneres 3D y aprendizaje automático sobre las deformaciones que sufren los pies en las diferentes patologías podológicas. A la hora de poder realizar un diseño de calzado que se adapte mejor a las características de los pacientes que sufren dichas patologías, ya que encuentro muy limitado este campo de investigación y el calzado disponible suele ser con medidas estándares que no se adaptan a sus necesidades. Además, destacar la necesidad de entrenar bases de datos con mayor número de imágenes y datos para poder obtener resultados fiables.

También siendo autocríticos y para ser más precisos y poder afirmar con mayor rotundidad de la existencia de la IA en el ámbito de la podología, una ciencia de la salud con un gran número de implicaciones, patologías, y ramas, ha de analizarse más pormenorizadamente y observar por tanto un mayor número de resultados, pues en nuestro caso nos hemos centrado muy concretamente en ver la aplicación de IA en el pie diabético.

9. CONCLUSIÓN

Finalmente concluimos con haber alcanzado el objetivo primero y segundo, pues afirmamos la implementación de IA en el tratamiento de pie diabético y por ende en la podología, con la selección de 13 estudios y artículos científicos, extraídos siguiendo la metodología citada en epígrafes anteriores.

Así, es factible el empleo de la IA en los ámbitos acotados en los objetivos, podología y pie diabético, apoyándonos en estudios e investigaciones citados, algunos con avanzado grado de implementación, con aplicación de diversos sistemas inteligentes y herramientas innovadoras con base en la IA, que resultan de gran utilidad para profesionales en sus tareas de atención, detección temprana de complicaciones y prevención en pacientes con diabetes y en materia de tratamiento de úlceras.

También se han hallado modelos de éxito y aplicables en el tratamiento del pie diabético tal y como hemos destacado en los resultados y analizado en profundidad en la discusión, de forma que en la práctica clínica puede revolucionar la forma en que se abordan hasta día de hoy, las enfermedades del pie diabético, mejorando la calidad de vida de los pacientes y reduciendo el riesgo de amputaciones y complicaciones graves.

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1-. Barrera L. FUNDAMENTOS HISTÓRICOS Y FILOSÓFICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL UCV-HACER (vol. 1, núm. 1). Revista de Investigación y Cultura. 2012: 3.
- 3-. Rouhiainen L. *Inteligencia artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Barcelona: Editorial Planeta; 2018. 7.
- 5-. European Commision. JRC TECHNICAL REPORTS AI Watch Defining Artificial Intelligence Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence. Luxemburgo: Publications Office of the European Union; 2020.
- 8-. CIDAI. Llibre blanc sobre la Intel·ligència Artificial aplicada a la salut. Barcelona: Centre of innovation and Data tech and Artificial Intelligence; 2022. 72.
- 17-. Won J, You H, Cha J, Lee T, Kim D. VGG19 Demonstrates the Highest Accuracy Rate in a Nine-Class Wound Classification Task Among Various Deep Learning Networks: A Pilot Study. *Wounds*. 2024.
- 18-. Wang C, Mahbod A, Ellinger I, Galdran A, Gopalakrishnan S, Niezgodá J, et al. FUSeg: The Foot Ulcer Segmentation Challenge. *MDPI*. 2024.
- 19-. Lo Z, Harish K, Tan E, Chan S, Liew H, Hoi W, et al. A feasibility study on the efficacy of a patient-owned wound surveillance system for diabetic foot ulcer care (ePOWS study). *SageJournals*. 2023
- 20-. Zhang X, Sun Y, Ma Z, Lu L, Li M, Ma X. Machine learning models for diabetic neuropathy diagnosis using microcirculatory parameters in type 2 diabetes patients. *Edizioni Minerva Medica*. 2023.
- 21-. Zhang L, Yick K, Li P, Yip J, Ng S. Foot deformation analysis with different load-bearing conditions to enhance diabetic footwear designs. *Plos One*. 2022.

- 22-. Khandakar A, Mahmud S, Chowdhury M, Bin M, Kiranyaz S, Bin Z, et al. Design and Implementation of a Smart Insole System to Measure Plantar Pressure and Temperature. MDPI. 2022.
- 23-. Azbeg K, Boudhane M, Ouchetto O, Jai S. Diabetes emergency cases identification based on a statistical predictive model. Springer Open. 2022.
- 24-. Khandakar A, Chowdhury M, Bin M, Hamid S, Anwarul M, Kiranyaz S, et al. A machine learning model for early detection of diabetic foot using thermogram images. ScienceDirect. 2021.
- 25-. Swerdlow M, Shin L, D'Huyvetter K, Mack W, Armstrong D. Initial Clinical Experience with a Simple, Home System for Early Detection and Monitoring of Diabetic Foot Ulcers: The Foot Selfie. NIH. 2021.
- 26-. Xie P, Li Y, Deng B, Du C, Rui S, Deng W, et al. An explainable machine learning model for predicting in-hospital amputation rate of patients with diabetic foot ulcer. Wiley. 2021.
- 27-. Goyal M, Reeves N, Rajbhandari S, Ahmad N, Wang C, Hoon M. Recognition of ischaemia and infection in diabetic foot ulcers: Dataset and techniques. ScienceDirect. 2020.
- 28-. Cruz I, Hernández D, Peregrina H, Rangel J, Ramirez J. Deep Learning Classification for Diabetic Foot Thermograms. MDPI. 2020.
- 29-. Zoppo G, Marrone F, Pittarello M, Farina M, Uberti A, Demarchi D, et al. AI technology for remote clinical assessment and monitoring. MAG Online Library. 2020.

10.2 Recursos web:

- 2-. Real Academia Española (RAE) [Internet]. Definición IA. 2024 [citada 31 enero 2024]. Disponible en: <https://dle.rae.es/inteligencia?m=form#2DxmhCT>

- 4-. Vidal M, Madruga A, Valdés D [Internet]. Inteligencia artificial en la docencia médica. 2019 [citada 6 febrero 2024]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21412019000300014&script=sci_arttext
- 6-. Instituto de ingeniería del conocimiento [Internet]. Análisis de imágenes histopatológicas con IA: una ayuda al diagnóstico de enfermedades. 2024 [citada 10 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.iic.uam.es/lasalud/analisis-de-imagenes-histopatologicas-con-ia-una-ayuda-al-diagnostico-de-enfermedades/>
- 7-. Google Health [Internet]. DermAssist. 2024 [citada 10 febrero 2024]. Disponible en: <https://health.google/consumers/dermassist/>
- 9-. Ayush MS, David ME, Vishakha MS [Internet]. Development and Assessment of an Artificial Intelligence–Based Tool for Skin Condition Diagnosis by Primary Care Physicians and Nurse Practitioners in Teledermatology Practices. 2021 [citada 12 febrero 2024]. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2779250>
- 10-. FARMALARM [Internet]. FARMALARM Proyecto de investigación. 2016 [citada 12 febrero 2024]. Disponible en: [FARMALARM \(vallhebron.com\)](http://FARMALARM(vallhebron.com))
- 11-. Podoactiva podología y biomecánica [Internet]. Inteligencia artificial: Podoactiva ayudará a detectar las enfermedades del envejecimiento. 2022 [citada 16 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.podoactiva.com/blog/podoactiva-inteligencia-artificial-enfermedades-envejecimiento>
- 12-. Neil Tech [Internet]. Inteligencia Artificial para acelerar el diagnóstico y rehabilitación de patologías músculo esqueléticas. 2024 [citada 18 febrero 2024] <https://neil-tech.com/>
- 13-. Organización mundial de la Salud [Internet]. Diabetes. 2023 [citada 20 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- 14-. González H, Berenguer M, Mosquera A, Quintana M, Sarabia R, Verdú J [Internet]. Clasificaciones de lesiones en pie diabético II. El problema permanece. 2018 [citada 22 febrero

2024]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2018000400197

15-.IDF Diabetes Atlas [Internet]. Diabetes around the world in 2021. 2024 [citada 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://diabetesatlas.org/>

16-. Sociedad Española de Diabetes [Internet]. España es el segundo país con mayor prevalencia de diabetes en Europa. 2024 [citada 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.sediabetes.org/comunicacion/sala-de-prensa/espana-es-el-segundo-pais-con-mayor-prevalencia-de-diabetes-de-europa/>

