

Current Situation of Artificial Vision Algorithms Applied to the Diagnosis of Diabetic Foot Symptoms

M. Santos-Arrieta*, C. Morales-Morales*, A. González-Lorence**, M. Castro-Bello*, A. Jiménez-Alejo*

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu, No. 5, Fracc. Villa Moderna, C.P. 39090, Chilpancingo, Guerrero.

**Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Juan del Río, Av. Tecnológico No. 2, Quintas de Guadalupe, 76800 San Juan del Río, Querétaro
Correo: marnbensarrieta@gmail.com

Abstract: The increasing prevalence of diabetes worldwide, particularly in México. Its uncontrolled consequences lead to hyperglycemia and various complications such as retinopathy, nephropathy, neuropathy, and the onset of Diabetic Foot Ulcer (DFU), among others. The early detection of DFU through image recognition methods, such as EfficientDet, stands out for its importance, as well as infrared thermography as a promising tool. This proposal reviews and analyzes the current state of artificial vision algorithms for detecting and diagnosing DFU.

Keywords: Diabetic foot; Mellitus diabetes; Artificial vision algorithms; Thermograms; Technologies.

1. INTRODUCCIÓN

La Diabetes Mellitus (DM), se clasifica en tipo I y tipo II. La primera hace referencia a una producción baja o nula de insulina debido a factores genéticos o infecciones virales (International Diabetes Federation, 2019); la segunda a la reducción de insulina en el páncreas junto con la incapacidad del cuerpo para captar insulina, y está asociada a los hábitos de vida (International Diabetes Federation, 2019).

En 2019, a nivel mundial se registraron 425 millones de personas que viven con DM, estimando que para 2045 se incrementa a 700 millones (International Diabetes Federation, 2019). México, reporta 12.4 millones de personas con diabetes, 9.78% de su población total (Gobierno de México, 2022).

Las consecuencias de la DM no controlada, causa hiperglucemia y diferentes complicaciones, como: retinopatía, nefropatía, enfermedades cardíacas, neuropatía, amputaciones en el pie por ulceración, entre otros. La diabetes tipo II es más común en personas mayores de 60 años, con una tasa anual de fallecimiento de 361 por cada cien mil habitantes, y tipo I, tasa de mortalidad de 30 por cada 100 mil habitantes (International Diabetes Federation, 2019).

Diversos trabajos clasifican y reportan el grado de afectación de la Ulcera de Pie Diabético (UPD), siendo la más usada la escala de medida Meggit-Wagner (Monteiro-Soares et al., 2020), referido la escala 3 absceso profundo, osteomielitis y la 4 a gangrena en los dedos del pie y antepié; y en el extremo de valoración están los pacientes con grado 5 que requiere de amputación (International Diabetes Federation, 2019).

De acuerdo a los reportes estadísticos una persona con diabetes tiene un riesgo de 34% de desarrollar UPD a lo largo de su

vida, equivalente a una de cada tres personas (Armstrong et al., 2017). Su reincidencia sucede entre los tres a cinco años. Se prevé que se agrave este padecimiento, por consiguiente, es importante cuidar los factores de riesgo, como la neuropatía, sobrepeso y obesidad (Armstrong et al., 2017).

Hasta la semana epidemiológica 41 del año 2023, en México se han registrado 9, 977 casos nuevos de DM, acumulando 423, 477 de los cuales 12, 171 pertenecen al Estado de Guerrero. (SSA, 2023).

En la actualidad la introducción de técnicas de procesamiento de imágenes digitales se ha convertido en un primer eslabón para la optimización de los resultados en la evaluación del Pie Diabético (PD). La aplicación de algoritmos con un grupo de imágenes resulta ser aceptable en la detección de heridas, así como su tamaño y ubicación (Castañeda et al., 2017).

Esta investigación, se enfoca a la revisión y análisis de la situación de los algoritmos de visión artificial aplicados a la detección y diagnóstico de los síntomas del PD. Se identifican algoritmos capaces de utilizar métodos de aprendizaje profundo (AP) para detectar UPD, Además se reconoce la clasificación de los sistemas automáticos de evaluación de las UPD, se examinan técnicas, métodos y tecnologías de última generación usadas en el diagnóstico y detección de las UPD, considerando aspectos como la segmentación, así como el preprocesamiento de imágenes y termogramas.

2. PROBLEMÁTICA

En los últimos años, la DM presenta un crecimiento exponencial, con énfasis en la UPD, provocando que los servicios de salud sean rebasados, generando altos costos y mayor demanda de infraestructura hospitalaria. Esto ha

motivado que diversos grupos de trabajo propongan herramientas tecnológicas y métodos para la detección temprana de UPD, entre los que destaca el uso de algoritmos de reconocimiento de patrones a través de imágenes, figura 1, (Yap et al., 2021).

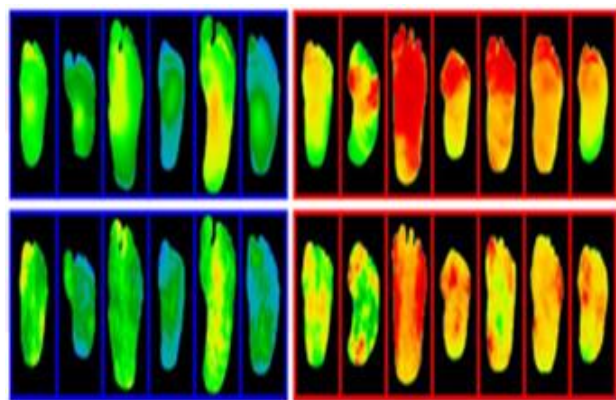


Figura 1. Fotogramas de afecciones por UPD (Yap et al., 2021).

El reconocimiento de patrones, la extracción de características y segmentación de las imágenes son los principales desafíos para diagnósticos asistidos por computadoras y para los métodos de inteligencia artificial; asimismo los más utilizados son los basados en histogramas, en entropía, los justificados en atributos de objetos y los algoritmos genéticos apoyados en el umbral que es el que ha dado mejores resultados, como el algoritmo de la serpiente que aísla la región plantar. Existen métodos clasificadores de imágenes como los de redes neuronales artificiales (RNA), de Aprendizaje Automático a través las máquinas de vectores de soporte (MVS), y de AP mediante las actuales redes neuronales convolucionales (RNC) de última generación. Los algoritmos que siguen la línea de AP y que son entrenados son los algoritmos de tendencia. (Tulloch et al., 2020).

Los trabajos reportados que utilizan los algoritmos son las redes de detección de objetos de AP (Cruz-Vega et al., 2020), otros consideran cámaras infrarrojas para capturar las regiones de temperatura del PD (Úlcera, $T > 2.2^{\circ}\text{C}$ y necróticas, $T < -2.2^{\circ}\text{C}$) y posteriormente el procesamiento con técnicas de visión artificial (Boyko et al., 1999; Sun et al., 2006; Stess et al., 2023). Por lo tanto, la termografía infrarroja es considerada como un método no invasivo que permite visualizar uniformemente la temperatura del pie. Asimismo, las imágenes de colores y los algoritmos que son capaces de detectar la UPD son EfficientDet, YOLOv3 y YOLOv5 (Yap et al., 2021), su conjunto de datos se encuentra disponible para futuras investigaciones (Figura 2).

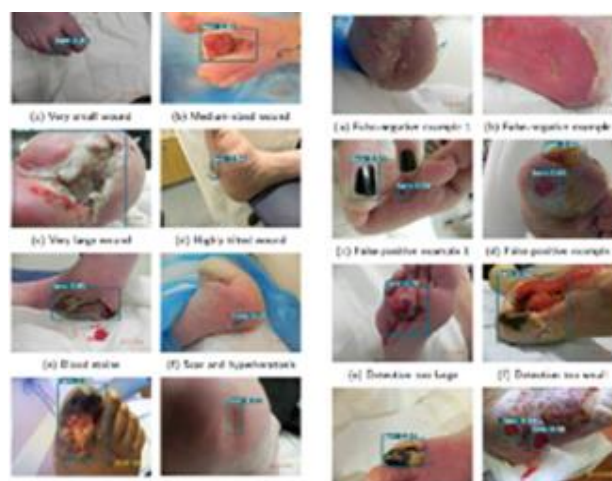


Figura 2. Diferentes Imágenes de Úlceras disponibles (Yap et al., 2021).

En termogramas, las RNC con el algoritmo DFTNet permiten obtener resultados satisfactorios utilizando medidas de sensibilidad, especificidad, precisión y valores de AUC (Cruz-Vega et al., 2020) y en otros casos de clasificación, las RNC como GoogLeNet y AlexNet presentan resultados de precisión que no fueron satisfactorios (Cruz-Vega et al., 2020).

Un marcador del PD afectado o por afectarse, es su aumento de temperatura hasta una semana antes de que se produzca la úlcera (Cruz-Vega et al., 2020). Entre las tecnologías desarrolladas como patentes se encuentran: Tecnología hiperespectral para evaluar y tratar el PD y la enfermedad tisular, utilizan imágenes térmicas o ultrasonido dúplex, MRA, CT o Doppler láser. (Freeman et al., 2019).

Aparato para el diagnóstico de PD. Funciona a través de un motor, es un aparato compacto utilizado por todos, compara valores medidos con valores de referencia, mide la intensidad de la vibración. (Cremerius, et al., 2019).

La temperatura en la región plantar del pie humano es importante, cuantifica la temperatura y los parámetros son trasladados a una plantilla y posteriormente realiza una impresión del pie en 3d, compara la temperatura con el pie no afectado, después mediante sensores de temperatura eléctricos identifica sus niveles afección; además clasifica las posibles fallas fisiológicas (Rodríguez-Alonso et al., 2019).

Por lo anterior, para que la vigilancia epidemiológica se realice de manera adecuada y efectiva se requiere de aparatos tecnológicos que lo realicen en tiempo real, para lograr tal objetivo se pretende aplicar la detección y diagnóstico de PD mediante visión artificial.

3. JUSTIFICACIÓN

La DM es considerada una de las principales enfermedades del mundo, causando afecciones como la neuropatía que provoca el padecimiento del PD, esto originado por falta de atención temprana del paciente. (Internationals Diabetes Federation, 2019).

Por lo que motiva a desarrollar nuevas técnicas, métodos y tecnologías que sean preventivos y de utilidad en el diagnóstico de la UPD, esto representa un desafío a los tecnólogos de discriminar las UPD de otras infecciones de la piel y a su vez, que el paciente mantenga un monitoreo constante y continuo del pie desde su hogar, llevando consigo datos históricos de la salud.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Este trabajo representa una revisión del panorama actual de las tecnologías e investigaciones encargadas de detectar y diagnosticar la UPD, a través de presentar la siguiente clasificación:

- Pueden detectar el pie diabético, pero presentan algunos inconvenientes en sus procesos.
- Están los que realizan la separación, mediante MSV (Maquinas de Soporte Vectorial).
- Los que eligen con RNA y los de última generación, las RNC: YOLOv3, YOLOv5, GoogLeNet y AlexNet
- Mejores evaluados: DFUNet, DFTNet y EfficientDet.

En trabajos futuros se propone desarrollar tecnologías responsivas de bajo costo, robusto y flexible que detecte, diagnostique y evalúe las condiciones del PD antes que las úlceras sean visibles, a través de la captura y análisis de termogramas en tiempo real, tal como se muestra en la figura 3.

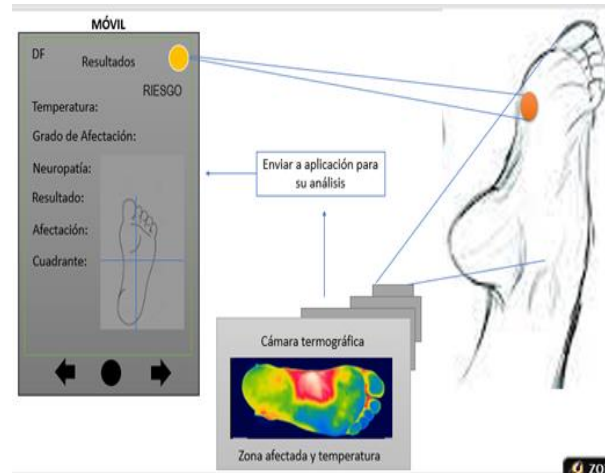


Figura 3. Fotogramas de afecciones por Úlceras del Pie Diabético (Yap et al., 2021).

5. ALCANCES

Este trabajo pretende mostrar la situación actual de las tendencias tecnológicas del diagnóstico y detección de las UPD, y la postura de investigaciones en cuanto a su utilidad como recurso tecnológico en las instituciones de salud.

6. CONCLUSIÓN

La situación actual de los algoritmos de visión artificial, aplicados al diagnóstico y detección de la UPD, revela la urgencia de abordar este creciente problema de salud. La prevalencia global de la epidemia de la DM y sus consecuencias, especialmente la UPD, plantea desafíos significativos para el sector salud, debido a un crecimiento masivo de la enfermedad. Por tal motivo es importante desarrollar tecnologías innovadoras y accesibles que permitan una detección temprana de la UPD, enfocándose en algoritmos de AP y técnicas de procesamiento de imágenes digitales y las imágenes termográficas. La atención a factores de riesgo, como la neuropatía y el sobrepeso, se presenta como crucial para abordar este problema de manera integral.

Existen algoritmos aplicados solo al ambiente clínico, la propuesta de tecnologías responsivas y de bajo costo apunta a una solución práctica y efectiva para la detección y monitoreo continuo del pie diabético. La necesidad de una acción inmediata en el ámbito de la visión artificial y la tecnología para mejorar la detección y gestión de la UPD. La investigación futura y la implementación de soluciones innovadoras son esenciales para hacer frente a este desafío de salud pública y mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por la DM.

REFERENCIAS

- Armstrong, D. G., Boulton, A. J. M., & Bus, S. A. (2017). Diabetic Foot Ulcers and Their Recurrence. New England Journal of Medicine, 376(24), 2367–2375. [en línea] disponible en <<https://doi.org/10.1056/nejmra1615439>>[consulta: 26 de octubre de 2023].
- Boyko, E. J., H. Ahroni, J., Stensel, V., Forsberg, R. C., Davignon, D. R., & Smith. Douglas G. (1999). A Prospective Study of Risk Factors for Diabetic Foot Ulcer The Seattle Diabetic Foot Study [en línea] disponible en <<http://diabetesjournals.org/care/article-pdf/22/7/1036/449916/10388963.pdf>>[consulta: 25 de octubre de 2023].
- Castañeda, M. Celina, L. (2017). Desarrollo de un algoritmo de visión artificial: un enfoque a la identificación y evaluación temprana de heridas de pie diabético. [en línea] disponible en <<http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/2087>>[consulta: 25 de octubre de 2023].

- Cremerius, A. (2019). Aparato Para El Diagnostico De Pie Diabetico. OMPI, Patentscope [en línea] disponible en <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=MX279071645&cid=P21-LOIWT-01865-1> [consulta: 2 de noviembre de 2023].
- Cruz-Vega, I., Hernandez-Contreras, D., Peregrina-Barreto, H., Rangel-Magdaleno, J. de J., & Ramirez-Cortes, J. M. (2020). Deep learning classification for diabetic foot thermograms. *Sensors* (Switzerland), 20(6) [en línea] disponible en <https://doi.org/10.3390/s20061762> [consulta: 2 de noviembre de 2023].
- Freeman, J. E., Panasyuk, S., Hopmeier, M., Brand, D., Schomacker, K. (2019). Hyperspectral technology for assessing and treating diabetic foot and tissue disease. Google Patents. [en línea] disponible en <https://patents.google.com/patent/US20190059787A1/en?q=US20190059787A> [consulta: 2 de noviembre de 2023].
- Gobierno de México. Disponible, Secretaría de Salud. [en línea] disponible en [https://www.gob.mx/salud/prensa/547-en-mexico-12-4-millones-de-personas-viven-con-diabetes?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20Encuesta%20Nacional,HNH\)%20de%20la%20Secretar%C3%ADa%20de](https://www.gob.mx/salud/prensa/547-en-mexico-12-4-millones-de-personas-viven-con-diabetes?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20Encuesta%20Nacional,HNH)%20de%20la%20Secretar%C3%ADa%20de) [consulta: 20 de octubre de 2023].
- Internationals diabetes Federation. (2019). 463 PEOPLE LIVING WITH DIABETES million.
- Monteiro-Soares, M., Boyko, E. J., Jeffcoate, W., Mills, J. L., Russell, D., Morbach, S., & Game, F. (2020). Diabetic foot ulcer classifications: A critical review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(S1) [en línea] disponible en <https://doi.org/10.1002/dmrr.3272> [consulta: 2 de noviembre de 2023].
- Rodriguez-Alonso, D. H. (2019). Aparato, Método y Sistema para el Registro del Bioparámetro Temperatura en la Región Plantar del Pie Humano. OMPI, Patentscope [en línea] disponible en <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2019147145> [consulta: 2 de noviembre de 2023].
- Secretaría de Salud, Dirección General de Epidemiología (2023). Boletín epidemiológico, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Sistema Único de Información [en línea] disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/867870/sem42.pdf> [consulta: 25 de octubre de 2023].
- Stess, R. M., Sisney, P. C., Moss, K. M., Graf, P. M., Louie, K. S., Gooding, G. A. W., & Grunfeld, C. (n.d.). Use of Liquid Crystal Thermography in the Evaluation of the Diabetic Foot (Vol. 9, Issue 3) [en línea] disponible en <http://diabetesjournals.org/care/article-pdf/9/3/267/536985/9-3-267.pdf> [consulta: 25 de octubre de 2023].
- Sun, P. C., Lin, H. Da, Jao, S. H. E., Ku, Y. C., Chan, R. C., & Cheng, C. K. (2006). Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 73(1), 41–46. [en línea] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2005.12.012> [consulta: 25 de octubre de 2023].
- Tulloch, J., Zamani, R., & Akrami, M. (2020). Machine learning in the prevention, diagnosis and management of diabetic foot ulcers: A systematic review. In *IEEE Access* (Vol. 8, pp. 198977–199000). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. [en línea] disponible en <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035327> [consulta: 24 de octubre de 2023].
- Yap, M. H., Hachiuma, R., Alavi, A., Brüngel, R., Cassidy, B., Goyal, M., Zhu, H., Rückert, J., Olshansky, M., Huang, X., Saito, H., Hassanpour, S., Friedrich, C. M., Ascher, D. B., Song, A., Kajita, H., Gillespie, D., Reeves, N. D., Pappachan, J. M., ... Frank, E. (2021). Deep learning in diabetic foot ulcers detection: A comprehensive evaluation. *Computers in Biology and Medicine*, 135. [en línea] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104596> [consulta: 19 de octubre de 2023].