

# Clasificación avanzada de la artrosis de rodilla utilizando tecnologías de Inteligencia Artificial

Facundo Segura,<sup>\*,\*\*,#</sup> Florencio P. Segura,<sup>\*,\*\*,#</sup> María Paz Lucero Zudaire,<sup>\*,\*\*,#</sup> Florencio V. Segura,<sup>\*,\*\*,#</sup> Rocío Mendía,<sup>\*,\*\*,#</sup> Lucía Ribotta Falco,<sup>\*,\*\*,#</sup> Paula S. Zalazar,<sup>\*,\*\*,#</sup> Daniel E. Sequeira<sup>\*,\*\*,#</sup>

<sup>\*</sup>Centro Privado Ortopedia y Traumatología Segura

<sup>2ª</sup> Cátedra de Ortopedia y Traumatología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

<sup>\*\*</sup>Instituto Conci Carpinella, Córdoba, Argentina

<sup>#</sup>Instituto Médico Victoria, Córdoba, Argentina

<sup>#</sup>Instituto Modelo de Cardiología, Córdoba, Argentina

## RESUMEN

**Introducción:** La artrosis de rodilla es una enfermedad osteoarticular prevalente y debilitante, especialmente en adultos mayores. Su detección temprana y la clasificación precisa son cruciales para mejorar los resultados clínicos. **Objetivos:** Investigar el uso de la inteligencia artificial y la visión por computadora para la detección y clasificación automatizada de la artrosis de rodilla según la escala de Kellgren-Lawrence. Desarrollar un sistema automatizado y evaluar su precisión para clasificar la gravedad de la enfermedad. **Materiales y Métodos:** Se utilizó un conjunto de datos públicos con imágenes radiográficas de rodillas clasificadas según la escala de Kellgren-Lawrence. Las imágenes fueron procesadas con el programa LandingLens, empleando la arquitectura ConvNext, una red neuronal convolucional. El modelo fue entrenado con 995 imágenes y evaluado con 240 imágenes de prueba. **Resultados:** El modelo alcanzó una precisión global del 92,55% en la clasificación de la artrosis de rodilla, con una sensibilidad del 93,33%. La precisión por clase fue del 97,87% para el grado 0; 79,74% para el grado 1; 88,68% para el grado 2; 94,04% para el grado 3 y 99,42% para el grado 4. **Conclusiones:** El estudio confirma la eficacia de la inteligencia artificial y la visión por computadora en la detección automatizada de la artrosis de rodilla. La integración de estas tecnologías en la práctica clínica podría mejorar la eficiencia, la consistencia en la evaluación de los pacientes y los resultados clínicos, y así favorecer una atención médica más personalizada.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial; artrosis; clasificación; visión por computadora.

**Nivel de Evidencia:** II

## Advanced Classification of Knee Osteoarthritis Using Artificial Intelligence Technologies

## ABSTRACT

**Introduction:** Knee osteoarthritis is a prevalent and debilitating musculoskeletal condition, particularly in the elderly. Early detection and accurate classification are crucial for improving patient outcomes. **Objective:** To investigate the application of artificial intelligence (AI) and computer vision for the automated detection and classification of knee osteoarthritis based on the Kellgren-Lawrence (KL) scale. Additionally, to develop and evaluate an automated system capable of accurately classifying the severity of the disease. **Materials and Methods:** A public dataset of radiographic knee images pre-classified according to the KL scale was used. The images were processed with LandingLens software, using the ConvNext architecture, a convolutional neural network. The model was trained with 995 images and was used to evaluate 240 trial images. **Results:** The model achieved an overall accuracy of 92.55% in classifying knee osteoarthritis according to the KL scale, with a sensitivity of 93.33%. Per-class accuracy was as follows: 97.87% for grade 0, 79.74% for grade 1, 88.68% for grade 2, 94.04% for grade 3, and 99.42% for grade 4. **Conclusions:** This study confirms the efficacy of AI and computer vision technologies in the automated detection of knee osteoarthritis. Integrating these technologies into clinical practice can enhance the efficiency and consistency of patient evaluations, ultimately leading to improved clinical outcomes and more personalized care.

**Keywords:** Artificial intelligence; osteoarthritis; knee classification; computer vision.

**Level of Evidence:** II

Recibido el 16-6-2024. Aceptado luego de la evaluación el 21-7-2024 • Dr. FACUNDO SEGURA • facusegura@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0000-7101-9145>

**Cómo citar este artículo:** Segura F, Segura FP, Lucero Zudaire MP, Segura FV, Mendía R, Ribotta Falco L, Zalazar PS, Sequeira DE. Clasificación avanzada de la artrosis de rodilla utilizando tecnologías de Inteligencia Artificial. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2024;89(5):462-469. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2024.89.5.1993>

## INTRODUCCIÓN

La artrosis (en inglés, *osteoarthritis*) es el trastorno articular más común en los adultos >60 años de los Estados Unidos. La prevalencia de artrosis sintomática de rodilla es aproximadamente del 10% en los hombres y del 13% en las mujeres.<sup>1</sup> Sin dudas, es una de las articulaciones más afectadas, y se estima que alrededor del 30% de las personas >45 años tiene evidencia radiográfica de este cuadro en su rodilla, y aproximadamente la mitad de ellas tiene síntomas clínicos.<sup>2</sup>

El dolor articular, la rigidez y la función limitada son algunos de los síntomas más comunes, lo que disminuye la calidad de vida, y se asocian, además, con comorbilidades, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, hipertensión, caídas, fracturas y depresión.<sup>3</sup> Esta enfermedad debe ser abordada con un enfoque multidisciplinario que incluya el manejo del dolor, la ejercitación y la fisioterapia y, en casos graves, la intervención quirúrgica para mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes.<sup>4</sup>

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) y, más específicamente, el aprendizaje profundo y las redes neuronales convolucionales han emergido como herramientas poderosas para mejorar la precisión del diagnóstico y la clasificación de la artrosis de rodilla. Estos modelos de IA pueden procesar grandes volúmenes de datos de imágenes y aprender características complejas, lo que permitiría una clasificación más precisa y objetiva de las radiografías de rodilla.<sup>5,6</sup>

En los últimos años, se han desarrollado varios enfoques utilizando redes neuronales convolucionales para la clasificación y detección de la artrosis de rodilla. Estos modelos han sido entrenados para identificar y clasificar las imágenes de rayos X de la rodilla según el sistema de clasificación de Kellgren-Lawrence, hoy el más utilizado para determinar la gravedad de la artrosis de rodilla. Los estudios han empleado diversas arquitecturas de redes neuronales convolucionales, como VGG16, VGG19, ResNet50, YOLOv3 y EfficientNet-B5, y obtuvieron resultados significativos en la clasificación de la gravedad de la artrosis, con altas tasas de precisión.<sup>7,8</sup>

El programa LandingLens, desarrollado por Landing AI, es una plataforma avanzada de visión por computadora diseñada para facilitar la creación, implementación y gestión de modelos de IA, incluso para usuarios sin experiencia en IA o aprendizaje automático. Esta herramienta es particularmente útil en el ámbito industrial para tareas, como la inspección de calidad y la detección de defectos.

La plataforma ofrece una interfaz que guía a los usuarios a través del proceso de carga de imágenes, etiquetado, entrenamiento y despliegue de modelos. Esto les permite desarrollar modelos de visión por computadora sin necesidad de conocimientos técnicos profundos. Además, soporta el aprendizaje continuo, lo que permite que los modelos se actualicen automáticamente con nuevos datos. Esto asegura que los modelos se adapten a las condiciones cambiantes y mejoren con el tiempo. Los sistemas de clasificación radiográfica para la artrosis de rodilla varían en términos de confiabilidad y sensibilidad para detectar la gravedad de la artrosis. Los sistemas más evaluados incluyen las escalas de Kellgren-Lawrence, del *International Knee Documentation Committee* (IKDC), y de Ahlbäck y Fairbank, entre otros (Tabla 1).<sup>9</sup>

El sistema de Kellgren-Lawrence se utiliza ampliamente y se ha demostrado que es reproducible, especialmente cuando se evalúan características radiográficas, como osteofitos y pinzamiento del espacio articular. El sistema del IKDC, por otro lado, tiene una alta confiabilidad tanto inter como intraobservador, y es considerado uno de los más confiables para la evaluación de la artrosis de rodilla.

El sistema de Fairbank, por su parte, es el que tiene la menor confiabilidad entre las clasificaciones evaluadas.<sup>10,11</sup>

El sistema de clasificación de Ahlbäck, aunque ofrece muy buenos resultados en términos de acuerdo interobservador, tiene una confiabilidad baja, y todavía es menos confiable sin el apoyo de exámenes clínicos o artroscópicos.<sup>12</sup>

La IA y la visión por computadora ofrecen la posibilidad de monitorear la progresión de la enfermedad de manera más efectiva, permitiendo intervenciones más oportunas y personalizadas. Identificar y definir la artrosis de rodilla en etapas tempranas es fundamental para reducir su impacto. La detección temprana junto con una adecuada educación del paciente en cuanto al ejercicio y al control de peso, puede disminuir significativamente los síntomas de la enfermedad.<sup>13</sup>

La integración de la IA en el diagnóstico y tratamiento de la artrosis de rodilla representa un avance importante en nuestra especialidad.

Este artículo tiene como objetivo mostrar cómo, a través de técnicas de aprendizaje profundo y visión artificial, podemos desarrollar un modelo para la detección y clasificación de la artrosis de rodilla de acuerdo con la clasificación de Kellgren-Lawrence.

**Tabla 1.** Sistemas de clasificación de la artrosis de rodilla y sus características

Clasificación	Grado y características				
Kellgren-Lawrence	0: No JSN or reactive changes	1: Doubtful JSN, possible osteophytic lipping	2: Definite osteophytes, possible JSN	3: Moderate osteophytes, definite JSN, some sclerosis, possible bone-end deformity	4: Large osteophytes, marked JSN, severe sclerosis, definite bone ends deformity
IKDC	A: No JSN	B: >4 mm joint space; small osteophytes, slight sclerosis, or femoral condyle flattening	C: 2-4 mm joint space	D: <2 mm joint space	
Fairbank	0: Normal	1: Squaring of tibial margin	2: Flattening of femoral condyle, squaring and sclerosis of tibial margin	3: JSN, hypertrophic changes, or both	4: All of the characteristics at left, to a more severe degree
Brandt et al	0: <25% JSN without secondary features (subchondral sclerosis, geodes, and osteophytes)	1: <25% JSN with secondary features or 25%-50% JSN without secondary features	2: 25%-50% JSN with secondary features or 50%-75% JSN without secondary features	3: 50%-75% JSN with secondary features or >75% JSN without secondary features	4: >75% JSN with secondary features
Ahlbäck	0: Normal	1: JSN† (with or without subchondral sclerosis)	2: Obliteration of joint space	3: Bone defect/loss <5 mm	4: Bone defect and/or loss 5-10 mm
Jäger-Wirth	0: No arthrosis	1: Initial arthrosis, small osteophytes, minimal JSN	2: Moderate arthrosis, about 50% JSN	3: Medium-grade arthrosis	4: Heavy arthrosis

\*JSN = joint space narrowing, and IKDC = International Knee Documentation Committee.

†Joint space narrowing is <3 mm of the joint space or <50% of the other compartment.

Extraída de: Kohn MD, Sassoon AA, Fernando ND. Classifications in Brief: Kellgren-Lawrence Classification of Osteoarthritis. Clin Orthop Relat Res 2016;474(8):1886-93. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4732-4>

## OBJETIVO

Desarrollar un sistema automatizado para detectar y clasificar la artrosis de rodilla según la escala de Kellgren-Lawrence, y el cuestionario del IKDC, haciendo uso de un programa de IA basado en visión por computadora.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un conjunto de datos públicos con imágenes médicas de pacientes que tenían distintos grados de artrosis de rodilla (<https://www.kaggle.com/datasets/shashwatwork/knee-osteoarthritis-dataset-with-severity>) con el fin de desarrollar un modelo predictivo de la enfermedad. Estas imágenes estaban previamente clasificadas según la escala de Kellgren-Lawrence.

Las imágenes fueron cargadas en la plataforma LandingAI, como imágenes supervisadas.

Para desarrollar el modelo basado en la clasificación de Kellgren-Lawrence, se utilizaron 1195 imágenes de rodillas con artrosis, divididas en cinco grupos según esa clasificación: 328 imágenes de grado 0, 153 de grado 1, 212 de grado 2, 329 de grado 3 y 173 de grado 4. El conjunto de entrenamiento constaba de 995 imágenes, y se utilizaron 240 imágenes para el testeo.

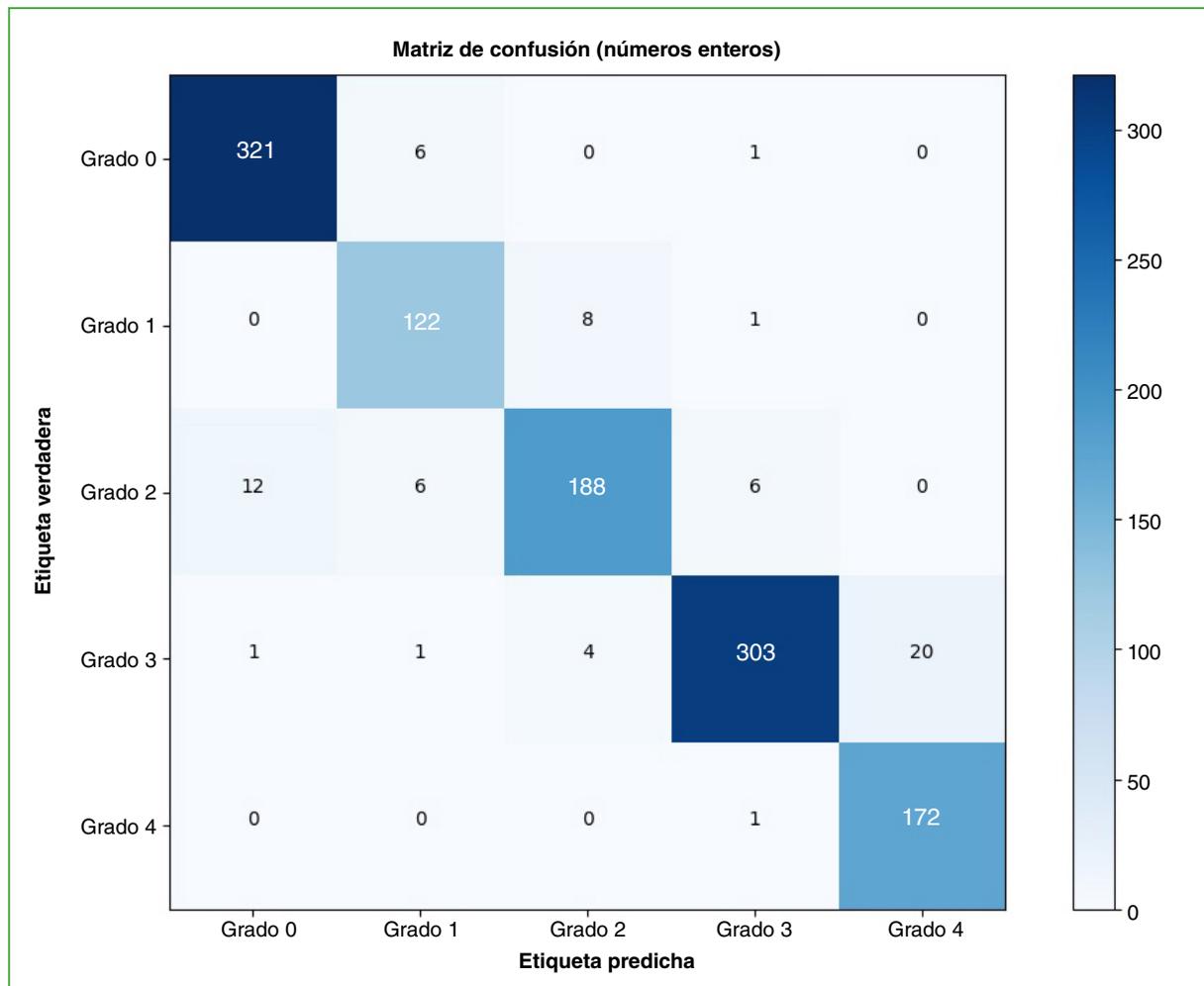
Se implementó un modelo de aprendizaje automático para realizar la predicción, basado en la arquitectura de red neuronal convolucional ConvNext, con 16 millones de parámetros. El modelo se entrenó durante 15 epochs. Para su evaluación, se utilizaron la matriz de confusión, la precisión, la sensibilidad de cada modelo y la puntuación F1.

## RESULTADOS

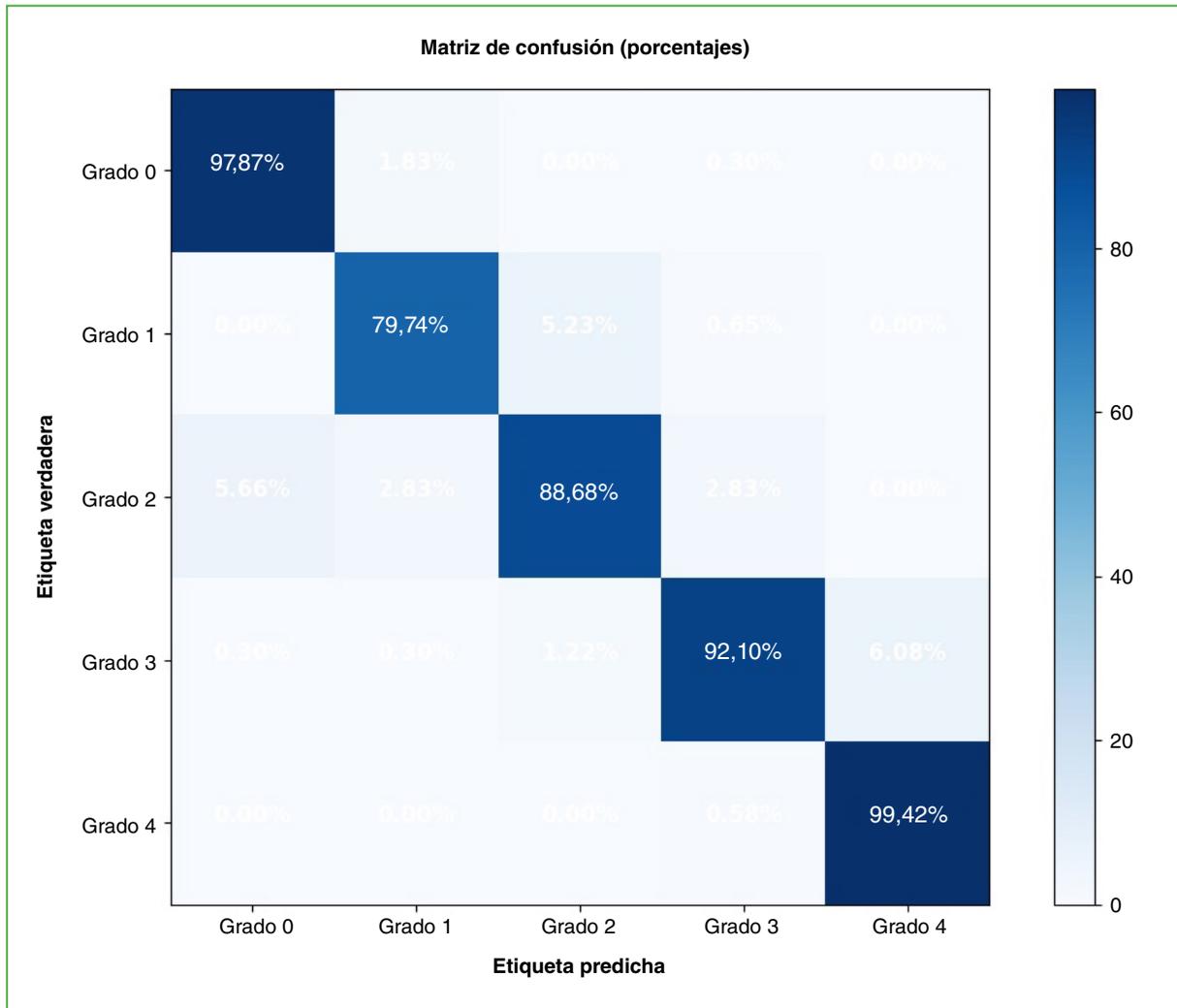
Se evaluó el desempeño de un modelo de clasificación para la artrosis de rodilla utilizando la escala de Kellgren-Lawrence, que abarca cinco niveles de gravedad: 0, 1, 2, 3 y 4. Se utilizó un conjunto de datos que incluyó 1195 imágenes para entrenar y evaluar el modelo.

El modelo tuvo una precisión global del 92,55%, lo que indica su capacidad para clasificar correctamente la presencia y la gravedad de la artrosis de rodilla en la mayoría de los casos. Este resultado sugiere una alta fiabilidad del modelo para distinguir entre los diferentes grados de artrosis según la escala de Kellgren-Lawrence (Figura 1).

Al observar la precisión por clase, el modelo logró una precisión del 97,87% para el grado 0, clasificó correctamente 321 de las 328 imágenes de esta categoría. Para el grado 1, la precisión fue del 79,74%, con 122 imágenes correctamente clasificadas de un total de 153. Una precisión más alta se observó en el grado 2 (88,68%), clasificó correctamente 188 de 212 imágenes. En el grado 3, logró una precisión del 94,04%, con 303 imágenes correctamente clasificadas de 329. Finalmente, para el grado 4, la precisión fue del 99,42%, con 172 de 173 imágenes correctamente clasificadas (Figura 2).



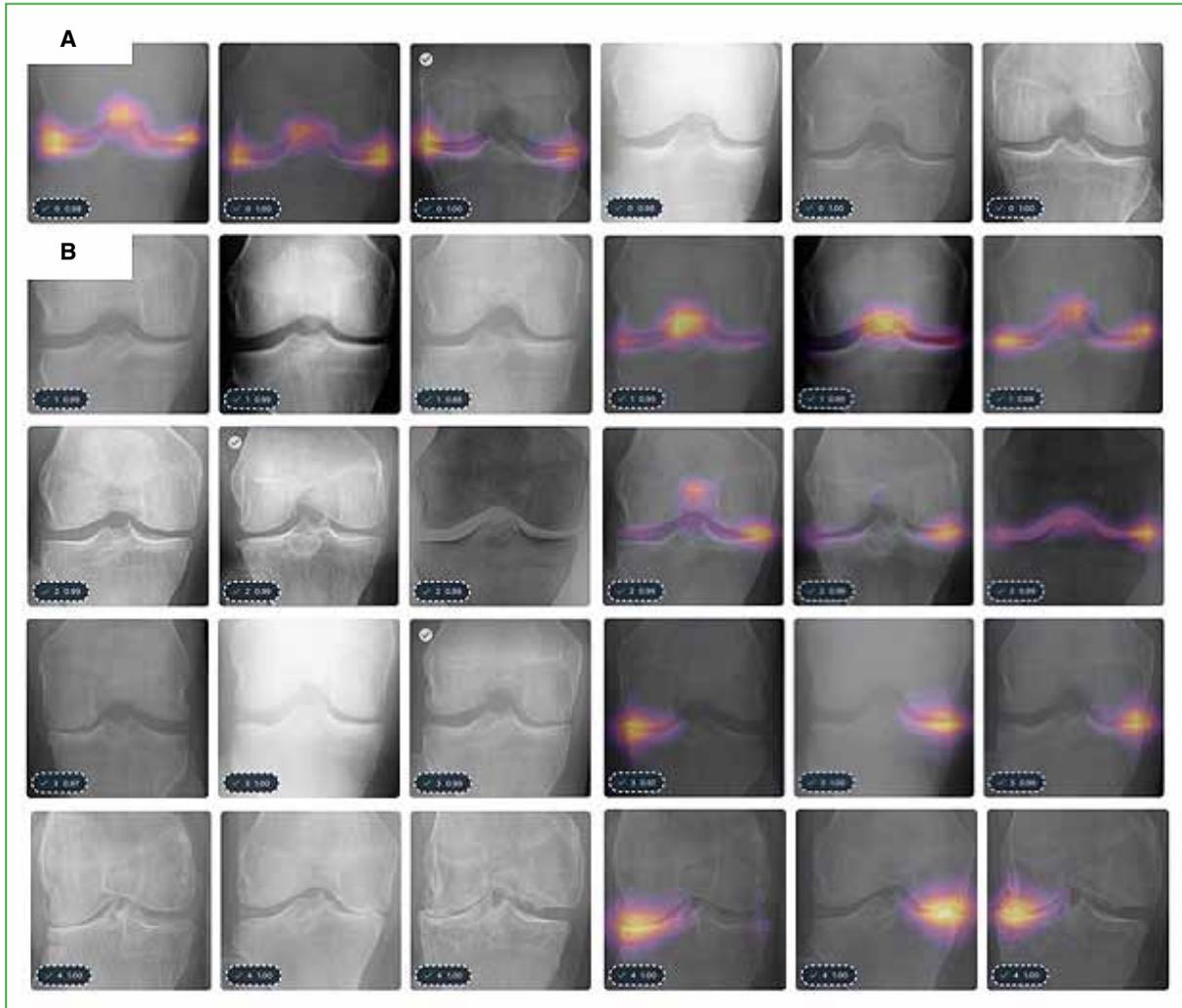
**Figura 1.** Matriz de confusión multi-clase con números enteros. La matriz de confusión muestra altas tasas de aciertos, con 321/328, 122/153, 188/212, 303/329 y 172/173 imágenes correctamente clasificadas para las clases 0, 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Las confusiones se dieron principalmente entre clases adyacentes.



**Figura 2.** Matriz de confusión con valores porcentuales para la clasificación multiclase. La matriz de confusión en porcentajes muestra altas tasas de aciertos: 97,87% para la clase 0; 79,74% para la clase 1; 88,68% para la clase 2; 92,10% para la clase 3 y 99,42% para la clase 4. Las confusiones se dieron principalmente entre clases adyacentes.

La sensibilidad global del modelo fue del 94,23%, lo que muestra su capacidad para identificar correctamente la mayoría de las imágenes positivas para artrosis de rodilla. Su especificidad fue del 98,61%. Por último, la puntuación F1, que combina precisión y sensibilidad, también fue del 94,21%, esto confirma un buen equilibrio entre la precisión y la capacidad de recuperación del modelo.

En el caso de las imágenes de la [Figura 3A](#), clasifica, con gran precisión, como grado 0 a las tres radiografías. En la [Figura 3B](#), se puede observar cómo el mapa de calor ofrece una herramienta efectiva para interpretar y visualizar el proceso mediante el cual el modelo de aprendizaje profundo tomó la decisión de clasificarla como 0. Estos mapas de calor permiten identificar qué partes de una imagen son más relevantes para la predicción, lo que es fundamental tanto para la explicación del modelo como para la detección de posibles problemas en el entrenamiento o los datos. Lo mismo sucede en los distintos grados de la clasificación.



**Figura 3.** Mapa de calor que permite visualizar cómo el modelo detecta las zonas de artrosis y clasifica las imágenes de acuerdo con los grados que correspondan de la clasificación.

## DISCUSIÓN

La radiografía de frente es, desde hace años, el mejor método para su clasificación a los fines diagnósticos. En este sentido, la clasificación de Kellgren-Lawrence se utiliza ampliamente para determinar la progresión y la gravedad de la enfermedad. Sin embargo, la interpretación de estas imágenes puede variar entre los evaluadores, lo que puede llevar a inconsistencias en la clasificación y, por ende, en el tratamiento.<sup>14</sup>

En numerosos estudios, se han logrado resultados prometedores utilizando técnicas de aprendizaje profundo y redes neuronales para la detección y clasificación de la artrosis de rodilla. Este campo de la IA ofrece una alternativa automatizada y objetiva para la evaluación de la artrosis de rodilla, que tradicionalmente depende de la interpretación visual de imágenes radiográficas por parte de expertos médicos.

En el estudio de Sikkandar y cols., se utilizó una red neuronal convolucional para la clasificación automática de imágenes de artrosis de rodilla, que tuvo una precisión del 93,2% y una precisión de clasificación multiclase del 72,01%. Este alto nivel de precisión indica que las redes neuronales convolucionales pueden ser extremadamente eficaces para detectar y clasificar la artrosis de rodilla en imágenes radiográficas.<sup>6</sup>

Por otro lado, Deokar y cols. desarrollaron un sistema automático de detección de artrosis de rodilla basado en la extracción de características y redes neuronales, que tuvo una precisión del 98,5% en la etapa de entrenamiento y del 92% en la etapa de prueba. Estos resultados destacan la capacidad de las redes neuronales para aprender y generalizar a partir de características complejas extraídas de imágenes médicas.<sup>15</sup>

En nuestro estudio, se investigó la eficacia de un enfoque basado en un programa de visión por computadora para la detección y clasificación automatizada de la artrosis de rodilla.

Con un conjunto de 1901 imágenes, la precisión y la sensibilidad para determinar el grado de artrosis fueron notables. Estos resultados superan los obtenidos en estudios publicados por otros autores que emplearon técnicas de aprendizaje profundo y redes neuronales (Tabla 2). Sin dudas que todos estos resultados sugieren que el uso de técnicas de visión artificial podría representar una alternativa efectiva y práctica para la evaluación de la artrosis de rodilla, ofreciendo diagnósticos precisos y rápidos que podrían mejorar significativamente la atención médica para los pacientes afectados.

**Tabla 2.** Comparación de los resultados de precisión, sensibilidad y especificidad de acuerdo con el número de imágenes

Estudio	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	Número de imágenes analizadas
Brahim (2019)	82,98%	87,15%	80,65%	1024
Tiwari (2022)	93,69%	92,53%	92,87%	2068
Pongsakonpruttikul (2022)	81%	85%	85%	1650
Segura (2024)	92,55%	94,23%	98,61%	1195

La implementación de estas tecnologías facilita la automatización del análisis de imágenes radiográficas. Este tipo de programa puede ser entrenado para identificar y clasificar automáticamente las imágenes de rodilla según la gravedad de la artrosis, utilizando como base el sistema de clasificación de Kellgren-Lawrence. Esto no solo mejora la eficiencia del diagnóstico, sino que también contribuye a lograr una mayor precisión, reduciendo la variabilidad entre evaluadores y proporcionando apoyo en la toma de decisiones clínicas.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio resaltan la eficacia de la IA y la visión por computadora para la clasificación automatizada de la artrosis de rodilla, con una precisión del 92,55% y una sensibilidad del 94,23%. Estos hallazgos subrayan el potencial de estas tecnologías para asistir a los médicos en el diagnóstico preciso de la enfermedad, ofreciendo una herramienta valiosa que puede mejorar la eficiencia y consistencia en la evaluación de los pacientes.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de F. P. Segura: <https://orcid.org/0000-0002-2376-4834>

ORCID de M. P. Lucero Zudaire: <https://orcid.org/0009-0009-8632-480X>

ORCID de F. V. Segura: <https://orcid.org/0009-0004-0424-8334>

ORCID de R. Mendía: <https://orcid.org/0009-0003-3114-930X>

ORCID de L. Ribotta Falco: <https://orcid.org/0009-0004-9630-7935>

ORCID de P. S. Zalazar: <https://orcid.org/0009-0007-2399-0384>

ORCID de D. E. Sequeira: <https://orcid.org/0009-0006-8226-8343>

## BIBLIOGRAFÍA

1. Zhang Y, Jordan JM. Epidemiology of osteoarthritis. *Clin Geriatr Med* 2010;26(3):355-69. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2010.03.001>
2. Lawrence RC, Felson DT, Helmick CG, Arnold LM, Choi H, Deyo RA, et al. Estimates of the prevalence of arthritis and other rheumatic conditions in the United States: Part II. *Arthritis Rheum* 2008;58(1):26-35. <https://doi.org/10.1002/art.23176>
3. Zheng S, Tu L, Cicuttini F, Zhu Z, Han W, Antony B, et al. Depression in patients with knee osteoarthritis: risk factors and associations with joint symptoms. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):40. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03875-1>
4. Bannuru RR, Osani MC, Vaysbrot EE, Arden NK, Bennell K, Bierma-Zeinstra SMA, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2019;27(11):1578-89. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.06.011>
5. Pongsakonpruttikul N, Angthong C, Kittichai V, Chuwongin S, Puengpipattrakul P, Thongpat P, et al. Artificial intelligence assistance in radiographic detection and classification of knee osteoarthritis and its severity: a cross-sectional diagnostic study. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2022;26(5):1549-58. [https://doi.org/10.26355/eurrev\\_202203\\_28220](https://doi.org/10.26355/eurrev_202203_28220)
6. Sikkandar MY, Begum SS, Alkathiry AA, Alotaibi MSN, Manzar MD. Automatic detection and classification of human knee osteoarthritis using convolutional neural networks. *Computers, Materials & Continua* 2022;70(3):4279-91. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020571>
7. Schwartz AJ, Clarke HD, Spangehl MJ, Bingham JS, Etzioni DA, Neville MR. Can a convolutional neural network classify knee osteoarthritis on plain radiographs as accurately as fellowship-trained knee arthroplasty surgeons? *J Arthroplasty* 2020;35(9):2423-8. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.04.059>
8. Mahmoudian A, Lohmander LS, Mobasheri A, Englund M, Luyten FP. Early-stage symptomatic osteoarthritis of the knee — time for action. *Nat Rev Rheumatol* 2021;17(10):621-32. <https://doi.org/10.1038/s41584-021-00673-4>
9. Kohn MD, Sassoon AA, Fernando ND. Classifications in Brief: Kellgren-Lawrence Classification of Osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474(8):1886-93. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4732-4>
10. Wing N, Van Zyl N, Wing M, Corrigan R, Loch A, Wall C. Reliability of three radiographic classification systems for knee osteoarthritis among observers of different experience levels. *Skeletal Radiol* 2021;50(2):399-405. <https://doi.org/10.1007/s00256-020-03551-4>
11. Eckersley T, Faulkner J, Al-Dadah O. Inter- and intra-observer reliability of radiological grading systems for knee osteoarthritis. *Skeletal Radiol* 2021;50(10):2069-78. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03767-y>
12. Galli M, De Santis V, Tafuro L. Reliability of the Ahlbäck classification of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2003;11(8):580-4. [https://doi.org/10.1016/s1063-4584\(03\)00095-5](https://doi.org/10.1016/s1063-4584(03)00095-5)
13. Kessler S, Guenther KP, Puhl W. Scoring prevalence and severity in gonarthrosis: the suitability of the Kellgren & Lawrence scale. *Clin Rheumatol* 1998;17(3):205-9. <https://doi.org/10.1007/BF01451048>
14. Ahmed HA, Mohammed EA. Using Artificial Intelligence to classify osteoarthritis in the knee joint. *NTU Journal of Engineering and Technology* [Internet] 2022;1(3):31-40. Disponible en: <https://www.iasj.net/iasj/download/fc5a99f585e6bbda>
15. Deokar DD, Patil CG. Effective feature extraction based automatic knee osteoarthritis detection and classification using neural network. *International Journal of Engineering and Techniques* [Internet] 2015;1(3):134-9. Disponible en: <http://www.ijetjournal.org/Volume1/Issue3/IJET-V1I3P22.pdf>