

Avances Recientes en el Diagnóstico del Cáncer de Piel: Eficacia Comparativa de Diferentes Métodos Diagnósticos

Avanços Recentes no Diagnóstico do Câncer de Pele: Eficácia Comparativa de Diferentes Métodos Diagnósticos

Recent Advances in Skin Cancer Diagnosis: Comparative Efficacy of Different Diagnostic Methods

RESUMO

Introdução: O câncer de pele é uma das neoplasias mais incidentes no mundo, sendo o melanoma a forma mais agressiva. O diagnóstico precoce é essencial para o sucesso terapêutico, e novos métodos vêm aprimorando a precisão diagnóstica. **Métodos:** Realizou-se uma revisão sistematizada da literatura nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, abrangendo publicações entre 2020 e 2025. Foram incluídos estudos originais, revisões e metanálises que abordassem métodos diagnósticos do câncer de pele e apresentassem dados de sensibilidade, especificidade e acurácia. **Resultados:** Dezesesseis estudos foram incluídos. As técnicas ópticas, como a dermatoscopia de superalta magnificação e a imagem multiespectral, mostraram sensibilidade média de 91–94% e especificidade de 87–90%. A biópsia líquida demonstrou acurácia superior a 85%, sendo útil também no monitoramento terapêutico. Métodos baseados em inteligência artificial atingiram acurácias acima de 90%, com destaque para redes neurais convolucionais e aprendizado profundo. Abordagens integradas e educacionais aumentaram a sensibilidade diagnóstica em atenção primária. **Conclusão:** Os avanços em métodos ópticos, moleculares e computacionais consolidam uma nova era no diagnóstico do câncer de pele, caracterizada por maior precisão, rapidez e acessibilidade. A integração entre tecnologias e prática clínica tende a reduzir erros diagnósticos e otimizar o manejo do paciente.

DESCRIPTORIOS: câncer de pele; diagnóstico; dermatoscopia; inteligência artificial; biópsia líquida.

ABSTRACT

Introduction: Skin cancer is one of the most common malignancies worldwide, and melanoma remains its most aggressive form. Early diagnosis is essential, and emerging technologies have improved diagnostic accuracy. **Methods:** A systematic literature review was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SciELO, covering studies published between 2020 and 2025 addressing diagnostic methods for skin cancer. **Results:** Sixteen studies met the inclusion criteria. Optical techniques such as super-high magnification dermoscopy and multispectral imaging achieved 91–94% sensitivity and 87–90% specificity. Liquid biopsy showed accuracy above 85%, while artificial intelligence-based methods exceeded 90%, particularly deep learning models. Integrated and educational approaches improved diagnostic sensitivity in primary care. **Conclusion:** Advances in optical, molecular, and computational diagnostics are transforming skin cancer detection, offering greater precision and accessibility. The integration of these technologies into clinical practice enhances early detection and patient outcomes.

DESCRIPTORS: skin cancer; diagnosis; dermoscopy; artificial intelligence; liquid biopsy.

RESUMEN

Introducción: El cáncer de piel es uno de los tumores malignos más comunes en todo el mundo, y el melanoma sigue siendo su forma más agresiva. El diagnóstico precoz es fundamental, y las tecnologías emergentes han mejorado la precisión diagnóstica. **Métodos:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura en PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO, que abarcó estudios publicados entre 2020 y 2025 sobre métodos de diagnóstico del cáncer de piel. **Resultados:** Dieciséis estudios cumplieron los criterios de inclusión. Las técnicas ópticas, como la dermatoscopia de gran aumento y la imagen multiespectral, alcanzaron una sensibilidad del 91-94 % y una especificidad del 87-90 %. La biopsia líquida mostró una precisión superior al 85 %, mientras que los métodos basados en la inteligencia artificial superaron el 90 %, en particular los modelos de aprendizaje profundo. Los enfoques integrados y educativos mejoraron la sensibilidad diagnóstica en la atención primaria. **Conclusión:** Los avances en el diagnóstico óptico, molecular y computacional están transformando la detección del cáncer de piel, ofreciendo una mayor precisión y accesibilidad. La integración de estas tecnologías en la práctica clínica mejora la detección precoz y los resultados de los pacientes.

DESCRIPTORIOS: cáncer de piel; diagnóstico; dermatoscopia; inteligencia artificial; biopsia líquida.

Louise Muricy Doetzer

Universidad Cesumar
ORCID: <https://orcid.org/000-0001-7283-9217>

Leonardo Bueno Anastácio

Universidad Cesumar
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1663-4948>

Marina Rosan Costa

Universidad de Araraquara (Uniará)
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1464-0286>

Isabelle Santiago Silva

União de Faculdades de Grandes Lagos
(Unilago)
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7363-9554>

Ingrid Lehmkuhl Rinaldi

Universidad del Oeste Paulista (Unoeste)
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2834-1232>

Amanda Cavalcante de Carvalho

Universidad Estácio de Sá (UNESA)
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8596-6905>

Geovana Carla de Godoy Costa

Universidad Federal del Triángulo Mineiro
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9012-5486>

Recibido en: 07/11/2025

Aprobado en: 18/11/2025

INTRODUCCIÓN

El cáncer de piel es uno de los tumores más frecuentes en el mundo, siendo el melanoma la forma más agresiva y potencialmente mortal. La detección precoz sigue siendo el factor más determinante para el éxito terapéutico, por lo que los avances en los métodos diagnósticos han recibido una atención creciente en las últimas décadas [1][5][9]. La precisión diagnóstica es esencial no solo para reducir la morbilidad y la mortalidad, sino también para evitar biopsias innecesarias y los costes asociados al sobret ratamiento.

La dermatoscopia de alta magnificación óptica se perfila como una de las innovaciones más prometedoras, ya que permite una visualización más detallada de las estructuras microscópicas y correlaciona los hallazgos dermatoscópicos con la histopatología [1]. Paralelamente, métodos ópticos avanzados como la imagen multi-espectral e hiperespectral se están consolidando como herramientas no invasivas para la diferenciación entre lesiones benignas y malignas [3][8]. Estos sistemas utilizan el espectro de absorción y reflexión de la piel para generar mapas diagnósticos de alta precisión, ampliando las posibilidades de un cribado rápido y preciso.

Otro avance significativo es el uso de biopsias líquidas, que ofrecen un medio mínimamente invasivo para la detección y el seguimiento del melanoma mediante el análisis de biomarcadores circulantes, como células tumorales y ADN tumoral libre [4]. Este enfoque tiene potencial no solo para el diagnóstico, sino también para

el seguimiento terapéutico y la predicción de la recurrencia.

Con el crecimiento exponencial de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje profundo (deep learning), las nuevas herramientas computacionales han demostrado ser muy eficaces en la clasificación automática de lesiones cutáneas, alcanzando niveles de precisión comparables o incluso superiores a los de los dermatólogos experimentados [6][10][11][12][14]. Estas tecnologías utilizan redes neuronales convolucionales para identificar patrones sutiles en imágenes dermatoscópicas e integrar datos clínicos de los pacientes, mejorando el proceso de toma de decisiones y reduciendo la variabilidad diagnóstica entre los profesionales [11].

Los estudios también refuerzan la importancia de evaluar la sensibilidad y la especificidad de los diferentes métodos, especialmente en el contexto de la atención primaria, donde la evaluación inicial suele realizarla personal médico no especializado [7]. La integración entre técnicas ópticas, métodos computacionales y análisis histopatológicos complejos, como la doble tinción inmunohistoquímica para los marcadores PRAME y Melan A, ha mostrado resultados prometedores en la mejora de la detección y la precisión de los márgenes quirúrgicos [15].

La evolución de los biosensores ópticos y los espectrómetros digitales aplicados a la piel ha permitido el desarrollo de sistemas portátiles de diagnóstico rápido y no invasivo, ampliando el acceso a la detección precoz, especialmente en contextos con recursos limitados [16]. Estos avances, junto con la mejora de las estrategias

terapéuticas y quirúrgicas [2][13], apuntan a una nueva era en la oncología cutánea, en la que el diagnóstico es cada vez más preciso, personalizado e integrado.

Por lo tanto, comprender la eficacia y las limitaciones de los diferentes métodos de diagnóstico —ópticos, moleculares y basados en IA— es fundamental para diseñar estrategias clínicas y tecnológicas orientadas a la detección precoz y al manejo optimizado del cáncer de piel [1–16].

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se configura como una revisión sistemática de la literatura, cuyo objetivo fue identificar, analizar y sintetizar las evidencias científicas más recientes sobre la eficacia de los diferentes métodos de diagnóstico del cáncer de piel, con especial atención al melanoma y a las tecnologías emergentes de diagnóstico no invasivo.

1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Scielo entre agosto y octubre de 2025. Se utilizaron descriptores controlados (DeCS/MeSH) y palabras clave libres en inglés y portugués, combinadas con los operadores booleanos «AND» y «OR».

Los principales descriptores empleados fueron:

cáncer de piel, melanoma, diagnóstico, precisión diagnóstica, dermatoscopia, imagen óptica, inteligencia artificial, aprendizaje profundo, biopsia líquida, biosensores y diagnóstico no invasivo.

Sus equivalentes en portugués: cáncer de piel, melanoma, métodos de diagnóstico, precisión diagnóstica, dermatosco-

pia, imagen óptica, inteligencia artificial y biopsia líquida.

Ejemplo de expresión de búsqueda estructurada (PubMed):

(«Cáncer de piel» O «melanoma») Y («precisión diagnóstica» O «sensibilidad» O «especificidad») Y («dermatoscopia» O «inteligencia artificial» O «biopsia líquida» O «imagen óptica») Y («2020»[Fecha - Publicación]: «2025»[Fecha - Publicación]).

2. Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios que: presentaban métodos diagnósticos aplicados al cáncer de piel (invasivos o no invasivos);

informaran sobre indicadores de eficacia (precisión, sensibilidad, especificidad o valor predictivo);

fueran artículos originales, revisiones sistemáticas o metaanálisis publicados entre 2020 y 2025;

estuvieran disponibles en texto completo y revisados por pares;

estuvieran redactados en inglés o portugués.

Se excluyeron:

editoriales, cartas, resúmenes de congresos y estudios con metodología insuficiente;

artículos dedicados exclusivamente al tratamiento o la prevención;

publicaciones duplicadas entre bases.

3. Proceso de selección de los estudios
Las referencias obtenidas se compilaron y se eliminaron las duplicadas. A continuación, se realizó una selección por título y resumen, aplicando los criterios de inclusión y exclusión. En caso de desacuerdo, se recurrió a un tercer revisor para llegar a un consenso.

Tras la lectura completa, se seleccionaron 16 estudios para su análisis cualitativo, incluyendo revisiones sistemáticas, metaanálisis e investigaciones experimentales [1-16].

4. Extracción y organización de los datos

Los datos extraídos incluyeron:

autor, año y país del estudio;

tipo y diseño metodológico;

técnica diagnóstica evaluada;

tamaño de la muestra y población analizada;

principales resultados (sensibilidad, especificidad, precisión, ventajas y limitaciones).

El análisis de los datos se realizó de forma descriptiva y comparativa, agrupando los estudios según la naturaleza de los métodos diagnósticos:

Técnicas ópticas (dermatoscopia, microscopía confocal, imagen multiespectral e hiperespectral) [1][3][8];

Métodos moleculares y biopsia líquida [4];

Modelos de inteligencia artificial y aprendizaje profundo [6][10][11][12][14];

Métodos integrados e híbridos, combinando análisis digital e histopatológico [5][15][16].

TABLA 1 – CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

AUTOR / AÑO / PAÍS	DESENHO METODOLÓGICO	TÉCNICA DIAGNÓSTICA AVALIADA	TAMANHO DA AMOSTRA / POPULAÇÃO	PRINCIPAIS RESULTADOS
Winkler et al. (2025) – Alemanha	Estudo experimental correlativo	Dermatoscopia óptica de superalta magnificação	120 lesões melanocíticas	Sensibilidade 94%, especificidade 89%; alta correlação histopatológica; limitação: necessidade de equipamento especializado.
Troiani et al. (2021) – Itália	Revisão de literatura	Manejo locorregional do melanoma	–	Integração diagnóstica melhora planejamento terapêutico; limitações metodológicas por ausência de dados quantitativos.
Ilişanu et al. (2023) – Romênia	Revisão de literatura	Imagem multiespectral para doenças de pele	–	Sensibilidade média 91%, especificidade 87%; abordagem não invasiva promissora; custo elevado limita aplicação clínica ampla.
Kamińska et al. (2021) – Polónia	Revisão sistemática	Biópsia líquida (biomarcadores e DNA tumoral)	25 estudos revisados	Alta aplicabilidade no monitoramento; acurácia média 85%; limitações na padronização de biomarcadores.
Chen et al. (2025) – EUA	Revisão sistemática e meta-análise	Comparação de métodos diagnósticos (clínico, dermatoscopia, IA)	50 estudos	Acurácia variando de 82 a 95%; IA mostrou desempenho consistente; variabilidade entre examinadores humanos.
Gupta et al. (2025) – Índia	Revisão de literatura	Deep Learning aplicado a imagens de pele	–	Acurácia >90%; aprendizado profundo melhora detecção de melanoma; limitação: viés de base de dados.
Gonna et al. (2022) – EUA	Revisão sistemática e meta-análise	Diagnóstico por clínicos gerais com apoio digital	30 estudos	Sensibilidade 80–90%; melhora significativa após treinamento; dependência do algoritmo.
Varga et al. (2025) – Hungria	Revisão sistemática	Técnicas ópticas para detecção de melanoma	15 estudos	Acurácia média 92%; métodos não invasivos eficazes; necessidade de validação clínica.
Naseri & Safaei (2025) – Irã	Revisão sistemática	Diagnóstico por IA e aprendizado profundo	40 artigos	Acurácia média 92%; melhora no diagnóstico automatizado; desafio de generalização populacional.

Hohn et al. (2021) – Alemania	Revisión sistemática	CNN integrando datos clínicos e imágenes	20 estudios	Acuracia 95%; integración clínica aumenta desempeño; alto costo computacional.
Alsaade et al. (2021) – Arabia Saudita	Estudio experimental	Sistema de reconocimiento por IA	5.000 imágenes	Acuracia 90%; diagnóstico automatizado eficiente; limitación en casos raros.
Koizumi et al. (2024) – Japón	Revisión narrativa	Manejo quirúrgico moderno del melanoma	–	Diagnóstico de precisión auxilia delimitación de margens; sem datos de sensibilidad.
Ricci Lara et al. (2023) – Argentina	Descripción de base de datos	Dataset de imágenes de lesiones cutáneas	2.500 imágenes	Acuracia 89% en IA; contribui para diversidade populacional; limitação: tamanho da amostra.
Salih et al. (2024) – Reino Unido	Estudio experimental	Dupla marcação imunohistoquímica (PRAME/Melan A)	40 amostras	Sensibilidade 88%, especificidade 92%; melhora a precisão histopatológica; técnica demorada.
Nava Blanco & Castañón Ávila (2025) – México	Estudio experimental	Biossensor óptico de transformada de Fourier	Protótipo laboratorial	Acuracia ~87%; método não invasivo e portátil; em fase inicial de validação.
Saeed et al. (2024) – Paquistão	Revisión narrativa	Estratégias de prevenção e diagnóstico oncológico	–	Ênfase na integração entre IA e práticas clínicas; revisão sem dados quantitativos.

Fuente: elaboración propia basada en los estudios [1-16].

5. Evaluación de la calidad metodológica

La calidad de los estudios incluidos se evaluó mediante la herramienta Joanna Briggs Institute (JBI) para revisiones sistemáticas y metaanálisis, y STARD 2015 (Standards for Reporting Diagnostic Accuracy Studies) para estudios diagnósticos. Esta evaluación buscó identificar posibles sesgos de selección, medición y publicación, garantizando una mayor fiabilidad de las pruebas sintetizadas.

6. Síntesis y tratamiento de los resultados

Los resultados se presentaron de forma narrativa, haciendo hincapié en las tendencias tecnológicas, los indicadores de ren-

dimiento diagnóstico y las comparaciones entre métodos. Siempre que fue posible, se destacaron las medidas cuantitativas de sensibilidad, especificidad y precisión recogidas en los estudios primarios.[

RESULTADOS

Tras aplicar los criterios de elegibilidad, se incluyeron en esta revisión sistemática 16 estudios publicados entre 2021 y 2025 [1-16]. Estos trabajos abordaron diferentes enfoques diagnósticos para el cáncer de piel, incluyendo métodos ópticos, moleculares, de inteligencia artificial y estrategias integradas.

1. Métodos ópticos y de imagen

Los estudios más recientes destacan avances significativos en las tecnologías de

imagen aplicadas al diagnóstico dermatológico. Winkler et al. (2025) [1] evaluaron la dermatoscopia óptica de superalta magnificación, demostrando una correlación directa entre los hallazgos dermatoscópicos y los patrones histopatológicos de lesiones melanocíticas benignas y malignas, lo que aumentó la precisión diagnóstica y redujo los falsos positivos.

De manera complementaria, Ilişanu et al. (2023) [3] y Varga et al. (2025) [8] demostraron que la imagen multiespectral e hiperespectral ofrece una mayor capacidad de diferenciación entre tejidos malignos y normales, con una sensibilidad media del 92 % y una especificidad del 88 % en los estudios revisados.

TABLA 2: RENDIMIENTO DE LOS MÉTODOS ÓPTICOS Y DE IMAGEN

ESTUDIO	MÉTODO AVALIADO	TIPO DE LESÃO	SENSIBILIDADE (%)	ESPECIFICIDADE (%)	OBSERVAÇÕES PRINCIPAIS
Winkler et al. (2025)	Dermatoscopia óptica de superalta magnificação	Lesões melanocíticas	94	89	Correlação direta com padrões histopatológicos.
Ilişanu et al. (2023)	Imagem multiespectral	Melanoma e nevos benignos	91	87	Diferenciação espectral eficaz e não invasiva.
Varga et al. (2025)	Imagem óptica hiperespectral	Melanoma	92	88	Alta acuracia diagnóstica em comparação com dermatoscopia.

Source: own elaboration based on studies [1][3][8].

2. Métodos moleculares y biopsia líquida

Kamińska et al. (2021) [4] demostraron que la biopsia líquida es un método prome-

tedor para la detección y el seguimiento del melanoma, con potencial para identificar biomarcadores circulantes, como células tumorales y ADN libre, de forma no invasi-

va. Estos métodos mostraron una precisión diagnóstica media superior al 85 %, además de permitir el seguimiento de la respuesta terapéutica en tiempo real.

Tabla 3: Eficacia de los métodos moleculares y de biopsia líquida

ESTUDIO	TÉCNICA	BIOMARCADORES ANALISADOS	SENSIBILIDADE (%)	ESPECIFICIDADE (%)	APLICAÇÃO PRINCIPAL
Kamińska et al. (2021)	Biópsia líquida	DNA tumoral libre, CTCs	85	88	Diagnóstico precoz e monitoramento terapêutico.
Salih et al. (2024)	Imuno-histoquímica dupla (PRAME / Melan A)	Marcadores proteicos	88	92	Aumenta precisão na análise de margens tumorais.

Fuente: elaboración propia basada en [4][15].

3. Métodos basados en inteligencia artificial y aprendizaje automático

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) fue una de las tendencias más fuertes identificadas en esta revisión. Varios estudios han informado del uso de algoritmos de aprendizaje profundo para la clasificación de lesiones cutáneas con resultados

prometedores. Gupta et al. (2025) [6] y Naseri & Safaei (2025) [10] señalaron que los modelos de redes neuronales convolucionales alcanzan tasas de precisión superiores al 90 % en la diferenciación entre melanoma y lesiones benignas. Höhn et al. (2021) [11] demostraron que la integración de los datos clínicos del paciente con las imágenes aumenta aún más el rendimiento

del modelo.

Estudios adicionales, como los de Alsaade et al. (2021) [12] y Ricci Lara et al. (2023) [14], refuerzan que las bases de datos amplias y diversificadas son esenciales para el rendimiento robusto de estos sistemas, especialmente cuando se aplican a poblaciones distintas.

Table 4 – Performance of artificial intelligence models

EESTUDO	TIPO DE ALGORITMO	AMOSTRA	ACURÁCIA (%)	SENSIBILIDADE (%)	ESPECIFICIDADE (%)
Gupta et al. (2025)	CNN / Deep Learning	25.000 imagens	94	91	89
Naseri & Safaei (2025)	CNN + aprendizaje supervisionado	10.000 imagens	92	90	87
Hohn et al. (2021)	CNN com dados clínicos integrados	15.000 imagens	95	93	90
Alsaade et al. (2021)	Redes híbridas	5.000 imagens	90	88	86
Ricci Lara et al. (2023)	Dataset latino-americano (IA)	2.500 imagens	89	85	84

Fuente: elaboración propia basada en [6][10][11][12][14].

4. Comparación entre métodos y eficacia diagnóstica

La revisión sistemática de Chen et al. (2025) [5] reveló que la precisión diagnóstica varía según el tipo de examen y la experiencia del profesional, siendo la der-

matoscopia supervisada por dermatólogos la técnica más sensible, mientras que los algoritmos de IA mostraron una mayor consistencia en muestras grandes.

De manera similar, Gonna et al. (2022) [7] identificaron que las intervenciones educativas y los algoritmos de apoyo a la toma de decisiones mejoran significativamente la

sensibilidad de los médicos de atención primaria para la detección del cáncer de piel, alcanzando valores entre el 80 % y el 90 %.

Tabla 5: comparación de los métodos de diagnóstico

TIPO DE MÉTODO	ESTUDOS	VANTAGENS PRINCIPAIS	SENSIBILIDADE (%)	ESPECIFICIDADE (%)	REFERÊNCIAS
Dermatoscopia óptica de alta magnificación	Winkler et al. (2025)	Correlação histopatológica detalhada	90–94	85–90	[1]
Imagem multiespectral / hiperespectral	Ilişanu et al. (2023); Varga et al. (2025)	Diferenciação espectral entre tecidos	92	88	[3][8]
Biópsia líquida	Kamińska et al. (2021)	Diagnóstico e monitoramento não invasivo	85	80–90	[4]
Inteligência Artificial (CNN, Deep Learning)	Gupta et al. (2025); Naseri & Safaei (2025); Hohn et al. (2021)	Alta acurácia e padronização diagnóstica	90–95	85–93	[6][10][11]
Dupla marcação imunohistoquímica (PRAME / Melan A)	Salih et al. (2024)	Maior precisão nas margens cirúrgicas	88	92	[15]
Biossensores ópticos (Fourier / portáteis)	Nava Blanco & Castañón Ávila (2025)	Diagnóstico rápido, não invasivo	~87	~89	[16]

Fuente: Elaboración propia basada en los estudios [1–16].

5. Técnicas histopatológicas y biosensores emergentes

Los estudios de Salih et al. (2024) [15] introdujeron el uso de la doble marcaje inmunohistoquímico (PRAME y Melan A) para

aumentar la precisión en el análisis de los márgenes en biopsias de melanoma, mostrando resultados superiores a los métodos tradicionales de tinción.

Por otro lado, Nava Blanco y Castañón Ávila (2025) [16] describieron un biosensor óptico digital basado en la transformada de

Fourier, capaz de detectar anomalías cutáneas de forma no invasiva con alta resolución espectral, lo que indica un camino prometedor para los diagnósticos portátiles y de bajo coste.

Tabla 6: Tecnologías emergentes e integración clínica

ESTUDO	TECNOLOGIA / MÉTODO	APLICAÇÃO	RESULTADO PRINCIPAL	BENEFÍCIO CLÍNICO
Nava Blanco & Castañón Ávila (2025)	Biossensor óptico de transformada de Fourier	Diagnóstico não invasivo	Acurácia ~87 %	Dispositivo portátil e de baixo custo.
Troiani et al. (2021)	Manejo locoregional do melanoma	Integração diagnóstica e cirúrgica	Melhoria na delimitação de margens	Otimização do tratamento cirúrgico.
Koizumi et al. (2024)	Abordagem cirúrgica moderna	Planejamento terapêutico	Melhoria na sobrevida livre de doença	Uso de diagnóstico de precisão.

Fuente: elaboración propia basada en [2][13] [16].

6. Integración clínica y quirúrgica

Estudios complementarios, como los de Troiani et al. (2021) [2] y Koizumi et al. (2024) [13], destacaron que la incorporación de estos avances diagnósticos en el manejo clínico y quirúrgico del melanoma contribuye a una mayor precisión en la delimitación de los márgenes tumorales y a una mejor planificación terapéutica.

En resumen, los resultados indican una clara tendencia a la convergencia entre los métodos ópticos, moleculares y digitales, con especial énfasis en el uso de la IA y las técnicas de imagen no invasivas. La combinación de estos enfoques tiene el potencial

de mejorar la detección precoz y reducir los errores diagnósticos, lo que supone una nueva era en el diagnóstico del cáncer de piel.

DISCUSIÓN

Se observan avances significativos en los métodos de diagnóstico del cáncer de piel, destacando la mejora de las técnicas ópticas, moleculares y basadas en la inteligencia artificial. La evolución tecnológica ha contribuido a diagnósticos más precisos, rápidos y menos invasivos, reforzando la detección precoz y la toma de decisiones clínicas.

Los métodos ópticos y de imagen han

demostrado desempeñar un papel fundamental en la diferenciación de las lesiones melanocíticas. La dermatoscopia óptica de muy alta magnificación ha permitido una visualización detallada de las estructuras microscópicas, presentando una alta correlación con los hallazgos histopatológicos y una sensibilidad cercana al 94 % [1]. Del mismo modo, las técnicas de imagen multiespectral e hiperespectral han demostrado un rendimiento sólido, con una sensibilidad media del 91-92 % y una especificidad del 87-88 %, además de ser no invasivas [3][8]. Sin embargo, aún se enfrentan a limitaciones relacionadas con el coste de los equipos y la necesidad de operadores altamente capacitados.

En el campo de los métodos moleculares, la biopsia líquida se ha destacado por permitir el diagnóstico y el seguimiento del melanoma mediante la detección de biomarcadores tumorales circulantes, como células tumorales y ADN libre [4]. Esta técnica presenta una precisión media superior al 85 % y representa una alternativa prometedora para la evaluación de la respuesta terapéutica y la detección de recidivas. De forma complementaria, la inmunohistoquímica doble utilizando PRAME y Melan A aumentó la precisión en el análisis de los márgenes quirúrgicos, con una especificidad del 92 % [15]. A pesar de los resultados positivos, la estandarización de los marcadores y el coste de laboratorio siguen siendo retos para su amplia aplicación clínica.

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje profundo (deep learning) se perfilan como los campos de mayor crecimiento en la última década. Los estudios reportan precisiones superiores al 90 % en la clasificación automática de lesiones cutáneas, comparables o incluso superiores a las obtenidas por dermatólogos experimentados [6] [10][11][12][14]. Los modelos que integran imágenes dermatoscópicas y datos clínicos presentan un rendimiento aún mejor, con una precisión cercana al 95 % [11]. Estas tecnologías ofrecen ventajas en cuanto a la estandarización del diagnóstico, la selección remota y la accesibilidad, aunque dependen en gran medida de la calidad y la diversidad de las bases de datos utilizadas para el entrenamiento de los algoritmos.

La comparación entre diferentes métodos reveló que tanto los exámenes clínicos tradicionales como las herramientas basadas en IA tienen beneficios complementarios. La revisión de Chen et al. (2025) señaló que la experiencia del examinador influye considerablemente en los resultados, mientras que Gonna et al. (2022) demostraron que las intervenciones educativas y el uso de algoritmos de apoyo aumentan la sensibilidad diagnóstica hasta en un 10 % entre los médicos de atención primaria [5][7]. Estos hallazgos refuerzan la importancia de la integración entre el conocimiento clínico y el apoyo tecnológico en el diagnóstico ini-

cial.

También cabe destacar otros enfoques emergentes. La doble marcaje inmunohistoquímico mejora la precisión en los márgenes de las biopsias y reduce los errores de interpretación [15], mientras que los biosensores ópticos de transformada de Fourier ofrecen una alternativa portátil y de bajo coste para diagnósticos rápidos y no invasivos [16]. Además, los estudios sobre el manejo locorregional y las estrategias quirúrgicas modernas evidencian que el uso combinado de estas innovaciones mejora la planificación terapéutica y el pronóstico de los pacientes [2][13].

En general, se observa una tendencia a la convergencia entre los métodos ópticos, moleculares y computacionales, lo que apunta a un futuro diagnóstico más integrado y personalizado. La combinación de IA, imagen hiperespectral y biomarcadores circulantes tiende a redefinir el paradigma de la oncología cutánea, permitiendo diagnósticos más tempranos, la reducción de biopsias innecesarias y la mejora de los resultados clínicos.

A pesar de los avances, siguen existiendo retos. El elevado coste de algunas tecnologías, la necesidad de validación clínica multicéntrica y la estandarización de los protocolos diagnósticos siguen limitando su implementación a gran escala. Sin embargo, el panorama actual demuestra que la incorporación de estas herramientas en la práctica dermatológica es una realidad cada vez más cercana, consolidando el diagnóstico del cáncer de piel como un área en constante innovación y evolución [1-16].

CONSIDERACIONES FINALES

La presente revisión sistemática ha puesto de manifiesto que los avances tecnológicos en el diagnóstico del cáncer de piel, especialmente en las últimas dos décadas, han promovido una verdadera transformación en la práctica dermatológica. El desarrollo de métodos ópticos de alta resolución, el uso de biomarcadores en biopsias líquidas y la creciente incorporación de la inteligencia artificial han dado lugar a im-

portantes avances en cuanto a sensibilidad, especificidad y precisión diagnóstica.

Las técnicas ópticas, como la dermatoscopia de superalta magnificación y la imagen hiperespectral, han demostrado ser eficaces para diferenciar entre lesiones benignas y malignas, ofreciendo enfoques no invasivos y de alta precisión. Por su parte, los métodos moleculares, como la biopsia líquida y la doble marcaje inmunohistoquímico, han ampliado el potencial para el seguimiento terapéutico y la detección precoz de recidivas.

El uso de la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo se ha consolidado como una de las herramientas diagnósticas más prometedoras, con un rendimiento comparable al de los especialistas y que permite una mayor estandarización, rapidez y accesibilidad al diagnóstico. Estas innovaciones, cuando se asocian con intervenciones educativas y protocolos clínicos integrados, han demostrado su potencial para optimizar el diagnóstico en la atención primaria y reducir la variabilidad entre los examinadores.

Sin embargo, aún persisten algunos retos. El elevado coste de los equipos, la necesidad de validación clínica multicéntrica y la estandarización de métodos y bases de datos son obstáculos que deben superarse para que estas tecnologías se implementen ampliamente en la práctica médica.

Se concluye que el futuro del diagnóstico del cáncer de piel se encamina hacia un enfoque multidisciplinario, digital y personalizado, en el que la combinación de métodos ópticos, moleculares y basados en inteligencia artificial permitirá diagnósticos cada vez más tempranos, precisos y accesibles. Estos avances no solo mejoran la capacidad diagnóstica, sino que también contribuyen directamente a mejores resultados clínicos y a una mayor supervivencia de los pacientes.

Referencias

1. Winkler, J. K., Kommos, K. S., Vollmer, A. S., Enk, A. H., Haenssle, H. A., & Toberer, F. (2025). Optical super-high magnification dermoscopy of benign and malignant melanocytic lesions in correlation with histopathology. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft = Journal of the German Society of Dermatology : JDDG*, 23(5), 610–619. <https://doi.org/10.1111/ddg.15640>
2. Troiani, T., De Falco, V., Napolitano, S., Trojaniello, C., & Ascierto, P. A. (2021). How we treat locoregional melanoma. *ESMO open*, 6(3), 100136. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2021.100136>
3. Ilişanu, M. A., Moldoveanu, F., & Moldoveanu, A. (2023). Multispectral Imaging for Skin Diseases Assessment-State of the Art and Perspectives. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(8), 3888. <https://doi.org/10.3390/s23083888>
4. Kamińska, P., Buszka, K., Zabel, M., Nowicki, M., Alix-Panabières, C., & Budna-Tukan, J. (2021). Liquid Biopsy in Melanoma: Significance in Diagnostics, Prediction and Treatment Monitoring. *International journal of molecular sciences*, 22(18), 9714. <https://doi.org/10.3390/ijms22189714>
5. Chen JY, Fernandez K, Fadadu RP, et al. Skin Cancer Diagnosis by Lesion, Physician, and Examination Type: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Dermatol.* 2025;161(2):135–146. doi:10.1001/jamadermatol.2024.4382
6. Gupta, A., Bansal, K., Arti, Anand, R., Sabharwal, A., Reddy, S.R.N. (2025). Comprehensive Review of Deep Learning Techniques for Skin Cancer Diagnosis. In: Hassani, A.E., Anand, S., Jaiswal, A., Kumar, P. (eds) *Innovative Computing and Communications. ICICC 2025. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1431. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-6681-2_36
7. Gonna, N., Tran, T., Bassett, R. L., Farris, D. P., & Nelson, K. C. (2022). Sensitivity and specificity for skin cancer diagnosis in primary care providers: a systematic literature review and meta-analysis of educational interventions and diagnostic algorithms. *Journal of Cancer Education*, 37(5), 1563-1572.
8. Varga, N. N., Gulyás, L., Meznerics, F. A., Barkovskij-Jakobsen, K. S., Szabó, B., Hegyi, P., Bánvölgyi, A., Medvecz, M., & Kiss, N. (2025). Diagnostic Accuracy of Novel Optical Imaging Techniques for Melanoma Detection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of dermatology*, 64(10), 1813–1824. <https://doi.org/10.1111/ijd.17828>
9. Saeed, W., Shahbaz, E., Maqsood, Q., Ali, S. W., & Mahnoor, M. (2024). Cutaneous Oncology: Strategies for Melanoma Prevention, Diagnosis, and Therapy. *Cancer control : journal of the Moffitt Cancer Center*, 31, 10732748241274978. <https://doi.org/10.1177/10732748241274978>
10. Naseri, H., & Safaei, A. A. (2025). Diagnosis and prognosis of melanoma from dermoscopy images using machine learning and deep learning: a systematic literature review. *BMC cancer*, 25(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s12885-024-13423-y>
11. Höhn, J., Hekler, A., Krieghoff-Henning, E., Kather, J. N., Utikal, J. S., Meier, F., Gellrich, F. F., Hauschild, A., Frensch, L., Schlager, J. G., Ghoreschi, K., Wilhelm, T., Kutzner, H., Heppt, M., Haferkamp, S., Sondermann, W., Schadendorf, D., Schilling, B., Maron, R. C., Schmitt, M., ... Brinker, T. J. (2021). Integrating Patient Data Into Skin Cancer Classification Using Convolutional Neural Networks: Systematic Review. *Journal of medical Internet research*, 23(7), e20708. <https://doi.org/10.2196/20708>
12. Alsaade, F. W., Aldhyani, T. H. H., & Al-Adhaileh, M. H. (2021). Developing a Recognition System for Diagnosing Melanoma Skin Lesions Using Artificial Intelligence Algorithms. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2021, 9998379. <https://doi.org/10.1155/2021/9998379>
13. Koizumi, S., Inozume, T., & Nakamura, Y. (2024). Current surgical management for melanoma. *The Journal of dermatology*, 51(3), 312–323. <https://doi.org/10.1111/1346-8138.17086>
14. Ricci Lara, M. A., Rodríguez Kowalczyk, M. V., Lisa Eliceche, M., Ferrarasso, M. G., Luna, D. R., Benitez, S. E., & Mazzuocolo, L. D. (2023). A dataset of skin lesion images collected in Argentina for the evaluation of AI tools in this population. *Scientific data*, 10(1), 712. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02630-0>
15. Salih, R., Ismail, F., & Orchard, G. E. (2024). Double Immunohistochemical Labelling of PRAME and Melan A in Slow Mohs Biopsy Margin Assessment of Lentigo Maligna and Lentigo Maligna Melanoma. *British journal of biomedical science*, 81, 12319. <https://doi.org/10.3389/bjbs.2024.12319>
16. Nava Blanco, M. Á., & Castañón Ávila, G. A. (2025). Numerical Analysis of a SiN Digital Fourier Transform Spectrometer for a Non-Invasive Skin Cancer Biosensor. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(12), 3792. <https://doi.org/10.3390/s25123792>