



Artículo de revisión / Review article

Avances en el diagnóstico temprano del cáncer en perros: un enfoque integral para la salud canina

Advances in early cancer diagnosis in dogs: a comprehensive approach to canine health

Alejandro Morris Llerena-Paredes ^{1*} ; Claudia Milagros Méndez-Suárez ¹ ; Andrea Alejandra Rodríguez-Díaz ¹ ; Fabio De-Souza-Peixoto-De-Cesari ¹ ; María José Huamán-Pajuelo ¹

¹Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

Recibido: 30/10/2025

Aceptado: 19/12/2025

Publicado: 25/01/2026

*Autor de correspondencia: 100122143@cientifica.edu.pe

Resumen: La detección temprana del cáncer canino constituyó un desafío para la práctica veterinaria por la diversidad biológica de las neoplasias y las limitaciones de los métodos convencionales. Se analizaron los avances recientes en el diagnóstico temprano del cáncer en perros, considerando su utilidad y principales limitaciones clínicas. Se realizó una revisión bibliográfica integrativa, descriptiva y analítica de artículos publicados entre 2021 y 2025 en Scopus, PubMed y SciELO, complementada con Google Académico; tras aplicar los criterios de selección, se incluyeron 35 estudios originales agrupados en cinco ejes temáticos. Se observó mayor desarrollo en biomarcadores, imagenología, biopsias líquidas y métodos computacionales, mientras que la telemedicina presentó evidencia limitada; la imagenología aportó principalmente a la caracterización y estadiaje, los biomarcadores y biopsias líquidas mostraron mayor potencial para la detección mínimamente invasiva. La integración de métodos complementarios constituyó la estrategia más sólida para favorecer una detección oportuna y apoyar la toma de decisiones clínicas.

Palabras clave: biomarcadores; biopsia líquida; imagenología; inteligencia artificial; telemedicina

Abstract: Early detection of canine cancer constituted a challenge for veterinary practice due to the biological diversity of neoplasms and the limitations of conventional methods. Recent advances in the early diagnosis of cancer in dogs were analyzed, considering their usefulness and main clinical limitations. An integrative, descriptive, and analytical literature review was conducted using articles published between 2021 and 2025 in Scopus, PubMed, and SciELO, complemented by Google Scholar; after applying the selection criteria, 35 original studies grouped into five thematic areas were included. Greater development was observed in biomarkers, imaging, liquid biopsies, and computational methods, whereas telemedicine showed limited evidence; imaging contributed mainly to tumor characterization and staging, while biomarkers and liquid biopsies showed greater potential for minimally invasive detection. The integration of complementary methods constituted the most robust strategy to promote timely detection and support clinical decision-making.

Keywords: biomarkers; liquid biopsy; imaging; artificial intelligence; telemedicine

1. Introducción

El cáncer constituye uno de los principales problemas de salud en la población canina, especialmente en animales de edad avanzada, y comprende un grupo heterogéneo de enfermedades caracterizadas por diferencias en su origen, comportamiento biológico y capacidad metastásica. Su presentación varía de acuerdo con factores como la edad, el sexo, la raza y el tipo de neoplasia. Un análisis reciente del Registro Suizo de Cáncer Canino, basado en 54 986 tumores diagnosticados mediante histología y citología, evidencia que la incidencia aumenta con la edad y que las neoplasias de piel, tejidos blandos y glándula mamaria se encuentran entre las localizaciones más frecuentes (Dhein et al., 2024).

La detección del cáncer en etapas tempranas representa un desafío relevante para la medicina veterinaria, debido a que la enfermedad puede atravesar una fase preclínica antes de manifestarse mediante signos evidentes. Tradicionalmente, el cribado en perros se ha apoyado en exámenes físicos periódicos y pruebas rutinarias de laboratorio; sin embargo, estas estrategias presentan una capacidad limitada para identificar la enfermedad durante dicha fase. A diferencia de la medicina humana, todavía no existen programas formales y ampliamente estandarizados de cribado oncológico en perros, lo que refuerza la necesidad de desarrollar estrategias que favorezcan una detección más oportuna (Rafalko et al., 2023).

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías diagnósticas ha ampliado las posibilidades para la detección y caracterización de las neoplasias caninas. Las técnicas de imagen, particularmente la resonancia magnética y la tomografía computarizada, permiten evaluar la localización, extensión y características estructurales de diferentes lesiones. A ello se incorpora el análisis computacional de imágenes; por ejemplo, Barge et al. (2023) demostraron que el aprendizaje automático aplicado a características de textura obtenidas mediante resonancia magnética puede contribuir a la predicción del tipo histológico y grado de los gliomas caninos.

Paralelamente, los avances en oncología molecular han favorecido el estudio de biomarcadores asociados con la presencia y el comportamiento de las neoplasias. Entre las alternativas emergentes destaca la biopsia líquida, basada en el análisis de componentes tumorales presentes en fluidos corporales. En el estudio multicéntrico CANDiD, la secuenciación de nueva generación aplicada al ADN libre circulante permitió identificar señales asociadas con diferentes tipos de cáncer en perros y mostró el potencial de esta estrategia como herramienta complementaria para la detección no invasiva de múltiples neoplasias (Flory et al., 2022).

El desarrollo reciente de estas aproximaciones también incorpora la integración de información molecular con herramientas computacionales. Ko et al. (2025) identificaron diferencias en los patrones de fragmentación y alteraciones en el número de copias del ADN libre circulante entre perros con hemangiosarcoma y animales sanos. Mediante modelos de aprendizaje automático, los autores obtuvieron un área bajo la curva promedio de 0,93; no obstante, señalaron limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra y la necesidad de ampliar la evaluación en diferentes estadios de la enfermedad, evidenciando que estas tecnologías aún requieren una mayor validación clínica.

En este contexto, la evidencia disponible muestra una transición desde procedimientos diagnósticos convencionales hacia estrategias que integran imagenología avanzada, biomarcadores moleculares, biopsias líquidas y herramientas computacionales. Sin embargo, estas aproximaciones presentan diferentes niveles de desarrollo, validación y aplicabilidad clínica, por lo que resulta necesario analizar conjuntamente sus aportes y limitaciones. Por ello, el objetivo de esta revisión es analizar los avances recientes en el diagnóstico temprano del cáncer en perros, con énfasis en las técnicas de imagen, los biomarcadores moleculares, las biopsias líquidas y las herramientas computacionales, considerando su utilidad y principales limitaciones para la práctica veterinaria.

2. Metodología

La Figura 1 resume el proceso metodológico seguido en la revisión, organizado en cuatro etapas: diseño y estrategia de búsqueda, criterios de selección, extracción y organización de la evidencia, y síntesis de la información.



Figura 1. Proceso metodológico de la revisión

Diseño y estrategia de búsqueda

Se realizó una revisión bibliográfica integrativa de carácter descriptivo y analítico sobre los avances en el diagnóstico temprano del cáncer en perros. Este enfoque permite integrar evidencia procedente de investigaciones con características metodológicas diversas mediante procesos de búsqueda, selección y síntesis de la literatura (Snyder, 2019; Whittemore & Knafl, 2005). La búsqueda comprendió artículos científicos publicados entre enero de 2021 y diciembre de 2025 en Scopus, PubMed y SciELO, complementándose con Google Académico para ampliar la recuperación de literatura pertinente. Se consideraron publicaciones en español e inglés.

La estrategia combinó términos relacionados con la población, la enfermedad y las tecnologías diagnósticas, procurando una búsqueda estructurada mediante conceptos y términos equivalentes (Bramer et al., 2018). Como estructura general se empleó: (dog OR dogs OR canine OR canines) AND (cancer OR neoplasm OR neoplasms OR tumor OR tumors OR tumour OR tumours) AND ("early diagnosis" OR "early detection" OR screening OR imaging OR biomarker OR biomarkers OR "liquid biopsy" OR cfDNA OR ctDNA OR "machine learning" OR "artificial intelligence"). En español se utilizaron términos equivalentes y la sintaxis se adaptó a las características de cada fuente de información. Google Académico se empleó como fuente complementaria debido a las diferencias de recuperación y reproducibilidad existentes entre los distintos sistemas de búsqueda académica (Gusenbauer & Haddaway, 2020).

Criterios de selección

Se incluyeron artículos científicos originales realizados en perros o muestras biológicas caninas que evaluaran técnicas o herramientas relacionadas con la detección, diagnóstico o caracterización de neoplasias. Se consideraron investigaciones sobre imagenología,

biomarcadores celulares y moleculares, biopsias líquidas, alteraciones genómicas, métodos computacionales y herramientas de telemedicina vinculadas con el apoyo diagnóstico.

Se excluyeron registros duplicados, estudios realizados exclusivamente en otras especies, investigaciones centradas únicamente en tratamiento sin componente diagnóstico, literatura gris y documentos con información metodológica o resultados insuficientes. La selección se efectuó mediante revisión de títulos y resúmenes, seguida de la lectura a texto completo de los estudios potencialmente elegibles. Como resultado, 35 artículos científicos originales conformaron el corpus final de análisis. Los artículos de revisión, guías y publicaciones de carácter conceptual utilizadas para contextualizar los hallazgos se consideraron fuentes complementarias y no fueron contabilizadas dentro del corpus de 35 estudios originales.

Extracción y organización de la evidencia

De cada estudio seleccionado se extrajo información correspondiente al autor y año, tipo de neoplasia, características de la muestra, técnica o biomarcador evaluado, principales hallazgos, indicadores de desempeño diagnóstico cuando estuvieron disponibles y limitaciones reportadas.

La evidencia se organizó en cinco ejes temáticos: técnicas de imagen médica; biomarcadores celulares y moleculares asociados con el diagnóstico y potencial metastásico; biopsias líquidas; métodos predictivos y herramientas computacionales; y telemedicina y apoyo diagnóstico a distancia.

Síntesis de la información

Debido a la heterogeneidad de las neoplasias, muestras, tecnologías evaluadas y métricas reportadas, los hallazgos se integraron mediante una síntesis narrativa y comparativa, apropiada cuando las características de los estudios dificultan una integración cuantitativa homogénea de los resultados (Campbell et al., 2020). El análisis consideró el desempeño diagnóstico, el tipo de validación reportado y las principales limitaciones señaladas en cada estudio, con el propósito de distinguir las tecnologías con mayor respaldo para su aplicación clínica de aquellas que aún requieren validación adicional.

3. Resultados de la revisión

Caracterización general de la evidencia

El corpus estuvo conformado por 35 artículos científicos originales publicados entre 2021 y 2025. Seis estudios correspondieron a 2021, cuatro a 2022, once a 2023, ocho a 2024 y seis a 2025, observándose una mayor concentración de publicaciones durante los tres últimos años del periodo analizado. La distribución de los estudios según los cinco ejes temáticos definidos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de los estudios incluidos según eje temático.

Eje temático	n
Técnicas de imagen médica	8
Biomarcadores celulares y moleculares	10
Biopsias líquidas	8
Métodos predictivos y herramientas computacionales	8
Telemedicina y apoyo diagnóstico a distancia	1
Total	35

Como se observa en la Tabla 1, la evidencia se concentró principalmente en biomarcadores celulares y moleculares, mientras que la telemedicina presentó una representación considerablemente menor. Los estudios también mostraron diferentes niveles de proximidad al diagnóstico temprano: algunas investigaciones evaluaron estrategias de cribado o detección no invasiva, mientras que otras se orientaron a la caracterización de masas previamente

identificadas, la diferenciación de procesos neoplásicos, el estadiaje o el apoyo a la clasificación histológica. Esta distinción permitió interpretar los hallazgos de acuerdo con la finalidad clínica de cada estrategia.

Técnicas de imagen médica

Las técnicas de imagen mostraron utilidad principalmente para caracterizar lesiones, discriminar procesos neoplásicos y mejorar el estadiaje. En masas hepáticas, un modelo de textura basado en tomografía computarizada alcanzó una exactitud de 0,90, con sensibilidad de 0,67 y especificidad de 1,00 para predecir malignidad (Shaker et al., 2021). En enfermedad cerebral, el análisis de textura por resonancia magnética diferenció procesos neoplásicos e inflamatorios con 85 % de exactitud, 89 % de sensibilidad y 81 % de especificidad en 119 perros (Wanamaker et al., 2021). En osteosarcoma apendicular, la PET/CT con 18F-FDG detectó 13 lesiones óseas sospechosas de metástasis en diez perros que no habían sido identificadas mediante tomografía computarizada de cuerpo completo, además de neoplasias concomitantes (Brody et al., 2022).

La radiómica amplió esta capacidad de caracterización. En tumores esplénicos, parámetros de textura tomográfica permitieron construir un modelo con 95,7 % de exactitud en validación cruzada para diferenciar malignidad (Choi et al., 2023). En neoplasias orales, la linfangiografía por tomografía computarizada identificó el linfonodo centinela en 38 de 39 perros y localizó correctamente el linfocentro de drenaje en los casos con metástasis confirmada; sin embargo, las características de imagen no sustituyeron la evaluación citológica o histológica del linfonodo (Goldschmidt et al., 2023). En gliomas, el aprendizaje automático aplicado a texturas de resonancia magnética obtuvo una exactitud promedio de 77 % para el tipo histológico y de 75,6 % para el grado, con desempeños superiores en determinados clasificadores (Barge et al., 2023).

En tumores adrenales, el análisis de textura tomográfica mostró un desempeño elevado para diferenciar el adenocarcinoma cortical de otros tumores adrenales, con valores de AUC $\geq 0,80$ y un máximo de 0,969 para el coeficiente máximo de correlación. No obstante, el estudio incluyó solo 25 perros y el análisis radiómico armonizado se realizó en 18 tumores, por lo que los autores señalaron la necesidad de estudios prospectivos con poblaciones mayores y validación cruzada (Lee et al., 2023). Por otra parte, en la evaluación de metástasis ganglionar asociada con mastocitomas, la tomografía computarizada mostró alta especificidad (96,6 %), pero baja sensibilidad (35,7 %) y una precisión de 60,5 %, por lo que su uso aislado no resultó suficiente para establecer compromiso nodal (Miyagi et al., 2024). En conjunto, la imagen avanzada aportó información relevante para la localización, caracterización y estadiaje de las neoplasias.

Biomarcadores celulares y moleculares asociados con el diagnóstico y potencial metastásico

Los biomarcadores séricos mostraron resultados variables según la neoplasia y el propósito diagnóstico. En tumores mamarios, la combinación de CA15-3, CEA y ferritina alcanzó 80,4 % de sensibilidad, 78,0 % de especificidad y 80,0 % de exactitud para malignidad, superando en sensibilidad a los marcadores individuales (Fan et al., 2021). El Ki-67 sérico presentó un AUC de 0,97 para discriminar perros sanos de animales con tumores malignos, con 89,0 % de sensibilidad y 94,7 % de especificidad; no obstante, su desempeño disminuyó al comparar neoplasias con enfermedades no neoplásicas (Estaller et al., 2022). Asimismo, el ARNm circulante de CDC6 fue significativamente mayor en perros con tumores que en controles sanos, y su asociación con vesículas extracelulares favoreció su detectabilidad (Andriessen et al., 2022).

Otros estudios exploraron marcadores relacionados con el fenotipo tumoral, el metabolismo y la invasión. En neoplasias mamarias se observaron variaciones periféricas de CD45RA y CD99, aunque sin capacidad consistente para discriminar lesiones benignas de malignas (Galadima et al., 2023). El análisis metabolómico no dirigido identificó metabolitos y vías diferenciales en tejido mamario tumoral, proponiendo candidatos para futuras herramientas diagnósticas, pero sin constituir todavía una prueba de cribado no invasiva (Yu et al., 2023).

Las aproximaciones basadas en firmas moleculares globales también mostraron potencial. La espectroscopia Raman aplicada a suero de 61 perros permitió diferenciar animales con cáncer de

controles sanos con 78 % de exactitud mediante análisis multivariante (Lopes et al., 2024). Por su parte, las concentraciones séricas del receptor soluble de interleucina 2 fueron significativamente mayores en perros con tumores sólidos que en controles y alcanzaron sus valores más elevados en neoplasias malignas, aunque el reducido grupo control limitó la precisión de las estimaciones (NamKung et al., 2024). En linfoma canino, la TK1 sérica también mostró utilidad diagnóstica: el ensayo ELISA desarrollado por Sharif et al. (2023) alcanzó un AUC de 0,88, con 80 % de sensibilidad y 95 % de especificidad para diferenciar perros con linfoma de animales sanos. Además, el método mostró mejor desempeño que el ensayo convencional de actividad TK1 y capacidad para diferenciar linfomas de células T y B.

En investigaciones más recientes, un panel de cuatro autoanticuerpos séricos para tumores mamarios alcanzó 50,4 % de sensibilidad y 90 % de especificidad para malignidad, y algunos de sus componentes presentaron niveles elevados desde el estadio I (Wu et al., 2025). Asimismo, la evaluación conjunta de CEA, CA15-3, VEGF, Ki-67 y PD-L1 mostró que Ki-67 presentó el mejor desempeño para diagnóstico y predicción de metástasis, con un AUC de 0,902, mientras que CEA, CA15-3 y VEGF ofrecieron una capacidad discriminativa más moderada (Çolakoğlu et al., 2025). Los resultados evidenciaron, por tanto, un mayor desarrollo de estrategias basadas en combinaciones de marcadores frente a la búsqueda de un biomarcador único aplicable a diferentes neoplasias.

Biopsias líquidas

Las biopsias líquidas mostraron una evolución desde pruebas de concepto hacia estudios de validación clínica. La secuenciación de nueva generación del ADN libre circulante (cfDNA) demostró inicialmente que era posible recuperar en plasma alteraciones genómicas concordantes con el tejido tumoral en perros con distintos tipos de cáncer, aunque el estudio incluyó solo once pacientes oncológicos y cinco controles (Kruglyak et al., 2021). De forma complementaria, las concentraciones plasmáticas de cfDNA fueron mayores en 38 perros con neoplasias que en animales sanos y en perros con enfermedades no neoplásicas; en casos de linfoma, sus variaciones también acompañaron la respuesta al tratamiento (Kim et al., 2021).

La validación multicáncer aportó evidencia de mayor escala. En 1100 perros, una prueba basada en secuenciación de nueva generación alcanzó una sensibilidad global de 54,7 % y una especificidad de 98,5 %, mostrando una elevada capacidad para reducir falsos positivos, pero una sensibilidad todavía insuficiente para detectar todos los cánceres mediante un único análisis (Flory et al., 2022). En melanoma oral maligno, la concentración total de cfDNA no difirió significativamente entre perros afectados y controles, mientras que el índice de integridad del ADN mostró cambios relacionados con la enfermedad y su progresión, lo que indicó que determinadas propiedades del cfDNA pueden resultar más informativas que su concentración aislada (Tagawa & Aoki, 2023).

En linfoma, la mediana de cfDNA plasmático fue de 2360 ng/mL en perros afectados frente a 299 ng/mL en controles, y el material circulante permitió analizar clonalidad mediante PARR con elevada concordancia respecto al ADN obtenido de la lesión (Kambayashi et al., 2024). En linfoma de células T se identificaron diez miARN asociados con vesículas extracelulares y siete miARN circulantes libres diferencialmente expresados respecto de controles sanos; sin embargo, el reducido número de animales, ocho por grupo, situó estos hallazgos en una etapa exploratoria (Capuano et al., 2024).

El análisis de muestras líquidas también se extendió a la orina. La espectroscopia Raman aplicada a muestras de 100 perros con cáncer, 89 clínicamente sanos y 16 con enfermedad urinaria no neoplásica alcanzó 92,7 % de exactitud, 94,0 % de sensibilidad y 90,5 % de especificidad para diferenciar la presencia de cáncer (Robertson et al., 2024). Finalmente, el análisis de fragmentación y alteraciones en el número de copias del cfDNA combinado con aprendizaje automático alcanzó un AUC promedio de 0,93 para hemangiosarcoma; no obstante, se basó en 21 perros afectados y 36 controles, por lo que requiere validación externa antes de su aplicación generalizada (Ko et al., 2025). Entre las estrategias revisadas, las biopsias líquidas fueron las más directamente orientadas

al cribado no invasivo, aunque su rendimiento varió según el tipo de neoplasia y las características de la población estudiada.

Métodos predictivos y herramientas computacionales

Las herramientas computacionales se aplicaron a imágenes histológicas, señales térmicas, biomarcadores y variables clínicas. Un sistema automatizado de aprendizaje profundo para tumores cutáneos de células redondas alcanzó 91,66 % de exactitud en clasificación y 100 % en gradación de mastocitomas dentro de su conjunto de prueba (Salvi et al., 2021). En masas cutáneas y subcutáneas, un sistema de imagen térmica asistido por inteligencia artificial logró 85 % de sensibilidad y 67 % de especificidad sobre 431 masas con diagnóstico de referencia, rendimiento que favorece su empleo como herramienta de cribado para determinar qué lesiones requieren evaluación adicional (Dank et al., 2023).

En patología digital, un conjunto de 1056 imágenes de tumores mamarios permitió obtener exactitudes de 0,63 a 0,85; la combinación EfficientNet-SVM alcanzó los mejores resultados, entre 0,82 y 0,85 (Burrai et al., 2023). Para siete tipos de tumores cutáneos, un algoritmo entrenado con imágenes de portaobjetos completos alcanzó 95 % de exactitud a nivel de lámina en 140 imágenes, resultado próximo al consenso obtenido por patólogos experimentados (Fragoso-Garcia et al., 2023).

En linfoma, una red convolucional clasificó ganglios hiperplásicos y tres subtipos frecuentes con una exactitud máxima de 99,34 %, aunque las 1530 imágenes procedían de un número reducido de casos originales, aspecto que limita la generalización del resultado (Hubbard-Perez et al., 2024). En tumores mamarios, la integración de biosensores electroquímicos para CA15-3 y MUC-1 con aprendizaje automático permitió que Random Forest alcanzara 98 % de exactitud para predecir presencia tumoral, mientras que la predicción del grado mostró un desempeño menor (Enginler et al., 2024).

Los modelos que combinan variables clínicas y biomarcadores también mostraron resultados elevados. El índice Alertix-CRI, desarrollado con 287 muestras séricas e integrado por TK1, proteína C reactiva y edad, alcanzó un AUC de 0,98, con 90 % de sensibilidad y 97 % de especificidad para discriminar malignidad (Sharif et al., 2025). En mastocitomas, modelos de aprendizaje profundo entrenados con 368 tumores predijeron el estado mutacional de c-KIT-11 a partir de láminas teñidas con hematoxilina-eosina con hasta 87 % de clasificación correcta, 90 % de sensibilidad y 83 % de especificidad; además, las variaciones entre tinciones y escáneres afectaron el desempeño del modelo (Puget et al., 2025).

Telemedicina y apoyo diagnóstico a distancia

La telemedicina presentó la menor cantidad de evidencia original directamente vinculada con oncología canina. La telecitología mediante fotografías microscópicas obtenidas con una cámara de teléfono inteligente mostró concordancia excelente con la histopatología para linfoma y mastocitoma utilizando imágenes a 10×; al combinar imágenes a 10× y 40×, la concordancia aumentó para la mayoría de los cinco tipos de tumores de células redondas evaluados y la exactitud diagnóstica mejoró significativamente (Piyum et al., 2025). Aunque estos resultados respaldan su utilidad para facilitar el acceso remoto a patólogos, la evidencia disponible continúa siendo limitada y requiere estudios con mayor número y diversidad de casos.

Discusión de los hallazgos

Los hallazgos de la revisión evidencian una transición desde un diagnóstico oncológico sustentado principalmente en la identificación morfológica de las lesiones hacia un enfoque multimodal que integra imagenología, biomarcadores y herramientas computacionales. Sin embargo, esta evolución no implica que todas las tecnologías evaluadas posean la misma capacidad para detectar enfermedad en etapas tempranas. La imagenología avanzada contribuye principalmente a localizar, caracterizar y establecer la extensión de lesiones ya identificadas, mientras que los biomarcadores circulantes y las biopsias líquidas presentan una relación más

directa con la posibilidad de detectar alteraciones neoplásicas mediante procedimientos mínimamente invasivos. Esta complementariedad coincide con lo señalado por Kaszak et al. (2022), quienes destacan que la combinación de diferentes técnicas y marcadores puede resultar más útil que su utilización aislada, particularmente en neoplasias biológicamente heterogéneas.

En relación con los biomarcadores, la variabilidad observada entre tipos tumorales, muestras y capacidades discriminativas confirma que todavía no existe un marcador único con sensibilidad y especificidad suficientes para ser aplicado de forma generalizada al cribado del cáncer canino. Colombe et al. (2022) sostienen que ningún biomarcador estudiado en medicina veterinaria reúne actualmente todas las características ideales para la detección precoz, aunque las estrategias agrupadas bajo el concepto de biopsia líquida representan una de las alternativas más prometedoras. Esta interpretación también es consistente con Luu et al. (2021), quienes señalan que cfDNA, microARN, células tumorales circulantes y vesículas extracelulares amplían las posibilidades diagnósticas, pero requieren validación clínica antes de incorporarse de manera rutinaria. En consecuencia, los resultados de esta revisión favorecen el desarrollo de paneles multimarcador y evaluaciones moleculares combinadas antes que la búsqueda de un biomarcador universal.

La incorporación de radiómica, aprendizaje automático y patología digital constituye otro avance relevante, debido a su capacidad para extraer patrones cuantitativos difícilmente perceptibles mediante una evaluación exclusivamente visual. No obstante, los desempeños elevados encontrados en varios estudios deben interpretarse considerando que numerosos modelos fueron desarrollados con muestras limitadas, procedentes de uno o pocos centros y sometidas principalmente a validación interna. Bouhali et al. (2022) advierten que la aplicación veterinaria de radiómica e inteligencia artificial depende en gran medida de la calidad y adecuada curación de los datos, mientras que Zuraw & Aeffner (2022) destacan la necesidad de comprender las limitaciones técnicas de la digitalización, el análisis de imágenes y los algoritmos antes de incorporarlos al flujo diagnóstico. Por ello, la validación externa y la estandarización entre equipos, protocolos de adquisición y centros veterinarios constituyen pasos indispensables para determinar la verdadera capacidad de generalización de estos modelos.

La telemedicina y la patología digital pueden complementar este escenario al facilitar la transferencia de imágenes y el acceso remoto a especialistas, especialmente en contextos donde la disponibilidad de patólogos, radiólogos u oncólogos veterinarios es limitada. Sin embargo, la escasa representación de este eje dentro del corpus demuestra que su aplicación específicamente orientada al diagnóstico oncológico canino todavía dispone de una base de evidencia reducida. Amaral et al. (2024) señalan que la digitalización de la patología favorece la colaboración y el trabajo diagnóstico a distancia, aunque también introduce riesgos y limitaciones que requieren supervisión profesional. De manera similar, Becker et al. (2023) identificaron que la implementación de la telemedicina veterinaria depende no solo de la disponibilidad tecnológica, sino también de aspectos regulatorios, infraestructura, capacitación y aceptación profesional. En este sentido, su mayor potencial parece encontrarse actualmente en el apoyo especializado y no en la sustitución de la evaluación clínica presencial.

De forma transversal, las principales limitaciones de la evidencia analizada se relacionan con tamaños muestrales reducidos, diseños retrospectivos, heterogeneidad entre tipos de neoplasia y ausencia de validación externa en varias de las tecnologías emergentes. Estas diferencias dificultan comparar directamente el desempeño entre estudios y establecer umbrales diagnósticos aplicables a poblaciones caninas diversas. La estandarización resulta particularmente relevante en oncología veterinaria, donde la reproducibilidad de los criterios diagnósticos constituye la base para validar nuevos sistemas de clasificación y herramientas complementarias (Meuten et al., 2021). Por ello, las investigaciones futuras deberían priorizar diseños prospectivos y multicéntricos, poblaciones representativas de diferentes estadios tumorales, protocolos diagnósticos homogéneos y validaciones independientes que permitan determinar si los avances identificados se traducen efectivamente en una detección más temprana y clínicamente útil del cáncer canino.

4. Conclusiones

La evidencia analizada muestra que el diagnóstico temprano del cáncer canino avanza hacia un enfoque multimodal que integra técnicas de imagen, biomarcadores celulares y moleculares, biopsias líquidas y herramientas computacionales. Las técnicas de imagen presentan mayor utilidad para la localización, caracterización y estadiaje de las neoplasias, mientras que los biomarcadores circulantes y, especialmente, las biopsias líquidas ofrecen un mayor potencial para la detección mínimamente invasiva. Asimismo, los métodos predictivos y la inteligencia artificial mejoran la interpretación de imágenes y datos biológicos, aunque su aplicación clínica aún requiere validación externa, estandarización y estudios prospectivos con poblaciones más amplias. La telemedicina puede complementar este proceso al facilitar el acceso al apoyo especializado, pero la evidencia específica disponible continúa siendo limitada. En conjunto, los resultados indican que ninguna estrategia sustituye por sí sola al diagnóstico oncológico convencional, por lo que la integración de métodos complementarios representa la alternativa más sólida para favorecer una detección más oportuna y una mejor toma de decisiones en la práctica veterinaria.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

Llerena-Paredes, A. M.: conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, análisis formal, administración del proyecto, visualización y redacción – borrador original.

Méndez-Suárez, C. M.: metodología, investigación, curación de datos, análisis formal y redacción – revisión y edición.

Rodríguez-Díaz, A. A.: investigación, curación de datos, análisis formal, visualización y redacción – borrador original.

De-Souza-Peixoto-De-Cesari, F.: investigación, metodología, validación y redacción – revisión y edición.

Huamán-Pajuelo, M. J.: supervisión, validación, conceptualización y redacción – revisión y edición.

Referencias bibliográficas

- Amaral, C. I., Langohr, I. M., Giaretta, P. R., & Ecco, R. (2024). Digital pathology and artificial intelligence in veterinary medicine. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 17(3), 147–151. <https://doi.org/10.24070/bjvp.1983-0246.v17i3p147-151>
- Andriessen, A., Bongiovanni, L., Driedonks, T. A. P., van Liere, E., Seijger, A., Hegeman, C. V., van Nimwegen, S. A., Galac, S., Westendorp, B., Nolte-'t Hoen, E. N. M., & de Bruin, A. (2022). CDC6: A novel canine tumour biomarker detected in circulating extracellular vesicles. *Veterinary and Comparative Oncology*, 20(2), 381–392. <https://doi.org/10.1111/vco.12781>
- Barge, P., Oevermann, A., Maiolini, A., & Durand, A. (2023). Machine learning predicts histologic type and grade of canine gliomas based on MRI texture analysis. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 64(4), 724–732. <https://doi.org/10.1111/vru.13242>

- Becker, B., Tipold, A., Ehlers, J., & Kleinsorgen, C. (2023). Veterinarians' perspective on telemedicine in Germany. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1062046>
- Bouhali, O., Bensmail, H., Sheharyar, A., David, F., & Johnson, J. P. (2022). A Review of Radiomics and Artificial Intelligence and Their Application in Veterinary Diagnostic Imaging. *Veterinary Sciences*, 9(11), 620. <https://doi.org/10.3390/vetsci9110620>
- Bramer, W. M., De Jonge, G. B., Rethlefsen, M. L., Mast, F., & Kleijnen, J. (2018). A systematic approach to searching: an efficient and complete method to develop literature searches. *Journal of the Medical Library Association*, 106(4). <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.283>
- Brody, A., Crooks, J. C., French, J. M., Lang, L. G., Randall, E. K., & Griffin, L. R. (2022). Staging canine patients with appendicular osteosarcoma utilizing fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography compared to whole body computed tomography. *Veterinary and Comparative Oncology*, 20(3), 541–550. <https://doi.org/10.1111/vco.12805>
- Burrai, G. P., Gabrieli, A., Polinas, M., Murgia, C., Becchere, M. P., Demontis, P., & Antuofermo, E. (2023). Canine Mammary Tumor Histopathological Image Classification via Computer-Aided Pathology: An Available Dataset for Imaging Analysis. *Animals*, 13(9), 1563. <https://doi.org/10.3390/ani13091563>
- Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V., Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline. *BMJ*, l6890. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6890>
- Capuano, C., Moccia, V., Molinari, A., Torrigiani, F., Ferro, L., Ferraresso, S., Bonsembiante, F., Leo, C., & Zappulli, V. (2024). Free circulating versus extracellular vesicle-associated microRNA expression in canine T-cell lymphoma. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1461506>
- Choi, B., Park, S., Lee, G., Chang, D., Jeon, S., & Choi, J. (2023). Can CT texture analysis parameters be used as imaging biomarkers for prediction of malignancy in canine splenic tumors? *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 64(2), 224–232. <https://doi.org/10.1111/vru.13175>
- Çolakoğlu, H. E., Fidan, Ç., Alçıgır, M. E., Göbekçi, A. E., Devrim, E., Antepioğlu, T., Yazlık, M. O., Özmen, Ö., Reçber, T., Nemutlu, E., & Kaya, U. (2025). Evaluation of serum CA15-3, CEA, Ki-67, PDL-1 and VEGF as a potential diagnostic and prognostic biomarkers in canine mammary tumors. *Theriogenology*, 247, 117579. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.117579>
- Colombe, P., Béguin, J., Benckekroun, G., & Le Roux, D. (2022). Blood biomarkers for canine cancer, from human to veterinary oncology. *Veterinary and Comparative Oncology*, 20(4), 767–777. <https://doi.org/10.1111/vco.12848>
- Dank, G., Buber, T., Rice, A., Kraicer, N., Hanael, E., Shasha, T., Aviram, G., Yehudayoff, A., & Kent, M. S. (2023). Training and validation of a novel non-invasive imaging system for ruling out malignancy in canine subcutaneous and cutaneous masses using machine learning in 664 masses. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1164438>
- Dhein, E. S., Heikkilä, U., Oevermann, A., Blatter, S., Meier, D., Hartnack, S., & Guscetti, F. (2024). Incidence rates of the most common canine tumors based on data from the Swiss Canine Cancer Registry (2008 to 2020). *PLOS ONE*, 19(4), e0302231. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302231>
- Enginler, S. Ö., Küçükdeniz, T., Dal, G. E., Yıldırım, F., Cilasun, G. E., Alkan, F. Ü., Gürgen, H. Ö., Taştaltın, N., Sabuncu, A., Yılmaz, M., & Karakuş, S. (2024). Enhancing electrochemical

- detection through machine learning-driven prediction for canine mammary tumor biomarker with green silver nanoparticles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 416(23), 5071–5088. <https://doi.org/10.1007/s00216-024-05444-0>
- Estaller, A., Kessler, M., Wehrend, A., Hirschberger, J., & Neumann, S. (2022). Utility of Serum Ki-67 as a Marker for Malignancy in Dogs. *Animals*, 12(10), 1263. <https://doi.org/10.3390/ani12101263>
- Fan, Y., Ren, X., Liu, X., Shi, D., Xu, E., Wang, S., & Liu, Y. (2021). Combined detection of CA15-3, CEA, and SF in serum and tissue of canine mammary gland tumor patients. *Scientific Reports*, 11(1), 6651. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85029-4>
- Flory, A., Kruglyak, K. M., Tynan, J. A., McLennan, L. M., Rafalko, J. M., Fiaux, P. C., Hernandez, G. E., Marass, F., Nakashe, P., Ruiz-Perez, C. A., Fath, D. M., Jennings, T., Motalli-Pepio, R., Wotrang, K., McCleary-Wheeler, A. L., Lana, S., Phillips, B., Flesner, B. K., Leibman, N. F., ... Tsui, D. W. Y. (2022). Clinical validation of a next-generation sequencing-based multi-cancer early detection “liquid biopsy” blood test in over 1,000 dogs using an independent testing set: The CANcer Detection in Dogs (CANDiD) study. *PLOS ONE*, 17(4), e0266623. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266623>
- Fragoso-Garcia, M., Wilm, F., Bertram, C. A., Merz, S., Schmidt, A., Donovan, T., Fuchs-Baumgartinger, A., Bartel, A., Marzahl, C., Diehl, L., Puget, C., Maier, A., Aubreville, M., Breininger, K., & Klopfleisch, R. (2023). Automated diagnosis of 7 canine skin tumors using machine learning on H&E-stained whole slide images. *Veterinary Pathology*, 60(6), 865–875. <https://doi.org/10.1177/03009858231189205>
- Galadima, M., Kotova, I., Schmidt, R., Pastor, J., Schröder, C., Rodríguez-Gil, J. E., & del Alamo, M. M. R. (2023). Canine Mammary Neoplasia Induces Variations in the Peripheral Blood Levels of CD20, CD45RA, and CD99. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9222. <https://doi.org/10.3390/ijms24119222>
- Goldschmidt, S., Stewart, N., Ober, C., Bell, C., Wolf-Ringwall, A., Kent, M., & Lawrence, J. (2023). Contrast-enhanced and indirect computed tomography lymphangiography accurately identifies the cervical lymphocenter at risk for metastasis in pet dogs with spontaneously occurring oral neoplasia. *PLOS ONE*, 18(3), e0282500. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282500>
- Gusenbauer, M., & Haddaway, N. R. (2020). Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. *Research Synthesis Methods*, 11(2), 181–217. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1378>
- Hubbard-Perez, M., Luchian, A., Milford, C., & Ressel, L. (2024). Use of deep learning for the classification of hyperplastic lymph node and common subtypes of canine lymphomas: a preliminary study. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1309877>
- Kambayashi, S., Ono, N., Tone, T., Baba, K., & Okuda, M. (2024). Plasma cell-free DNA in canine lymphoma patients as a novel material for genotyping. *Veterinary and Comparative Oncology*, 22(2), 303–309. <https://doi.org/10.1111/vco.12961>
- Kaszak, I., Witkowska-Piłaszewicz, O., Domrazek, K., & Jurka, P. (2022). The Novel Diagnostic Techniques and Biomarkers of Canine Mammary Tumors. *Veterinary Sciences*, 9(10), 526. <https://doi.org/10.3390/vetsci9100526>
- Kim, J., Bae, H., Ahn, S., Shin, S., Cho, Ar., Cho, K.-W., Jung, D.-I., & Yu, D. (2021). Cell-Free DNA as a Diagnostic and Prognostic Biomarker in Dogs With Tumors. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.735682>
- Ko, S., Jang, J., Yi, S. S., & Kwon, C. (2025). Early detection of canine hemangiosarcoma via cfDNA

- fragmentation and copy number alterations in liquid biopsies using machine learning. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1489402>
- Kruglyak, K. M., Chibuk, J., McLennan, L., Nakashe, P., Hernandez, G. E., Motalli-Pepio, R., Fath, D. M., Tynan, J. A., Holtvoigt, L. E., Chorny, I., Grosu, D. S., Tsui, D. W. Y., & Flory, A. (2021). Blood-Based Liquid Biopsy for Comprehensive Cancer Genomic Profiling Using Next-Generation Sequencing: An Emerging Paradigm for Non-invasive Cancer Detection and Management in Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.704835>
- Lee, K., Goh, J., Jang, J., Hwang, J., Kwak, J., Kim, J., & Eom, K. (2023). Feasibility study of computed tomography texture analysis for evaluation of canine primary adrenal gland tumors. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1126165>
- Lopes, D. F., Silverio, A., Schmidt, A. K. A., Picca, G. B., & Silveira, L. (2024). Characterization of biomarkers in blood serum for cancer diagnosis in dogs using Raman spectroscopy. *Journal of Biophotonics*, 17(3). <https://doi.org/10.1002/jbio.202300338>
- Luu, A. K., Wood, G. A., & Vilorio-Petit, A. M. (2021). Recent Advances in the Discovery of Biomarkers for Canine Osteosarcoma. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.734965>
- Meuten, D. J., Moore, F. M., Donovan, T. A., Bertram, C. A., Klopffleisch, R., Foster, R. A., Smedley, R. C., Dark, M. J., Milovancev, M., Stromberg, P., Williams, B. H., Aubreville, M., Avallone, G., Bolfa, P., Cullen, J., Dennis, M. M., Goldschmidt, M., Luong, R., Miller, A. D., ... Whitley, D. (2021). International Guidelines for Veterinary Tumor Pathology: A Call to Action. *Veterinary Pathology*, 58(5), 766–794. <https://doi.org/10.1177/03009858211013712>
- Miyagi, H., Townsend, K. L., Ettinger, A. M., Russell, D. S., Colee, J. C., & Newsom, L. E. (2024). Correlation between computed tomography and histological evaluation of nodal metastasis in dogs with mast cell tumours. *Veterinary and Comparative Oncology*, 22(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/vco.12947>
- NamKung, H., Park, S., Im, J., Lim, G., Ryu, M., Seo, K., & Youn, H. (2024). Evaluation serum soluble interleukin 2 receptor with diagnosis and prognosis in canine solid tumour: 34 cases. *Veterinary Medicine and Science*, 10(5). <https://doi.org/10.1002/vms3.70033>
- Piyum, L., Manathunga, T., Wickramasinghe, Y., Bandaranayaka, N., Senarathne, K., Gajanayaka, V., & Ariyaratna, H. (2025). Assessment of diagnostic accuracy and inter-pathologist agreement in telecytology performed for canine round cell tumours using images captured by a smartphone camera. *Topics in Companion Animal Medicine*, 64, 100946. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2024.100946>
- Puget, C., Ganz, J., Ostermaier, J., Conrad, T., Parlak, E., Bertram, C. A., Kiupel, M., Breininger, K., Aubreville, M., & Klopffleisch, R. (2025). Artificial intelligence can be trained to predict c-KIT -11 mutational status of canine mast cell tumors from hematoxylin and eosin-stained histological slides. *Veterinary Pathology*, 62(2), 152–160. <https://doi.org/10.1177/03009858241286806>
- Rafalko, J. M., Kruglyak, K. M., McCleary-Wheeler, A. L., Goyal, V., Phelps-Dunn, A., Wong, L. K., Warren, C. D., Brandstetter, G., Rosentel, M. C., DiMarzio, L., McLennan, L. M., O’Kell, A. L., Cohen, T. A., Grosu, D. S., Chibuk, J., Tsui, D. W. Y., Chorny, I., & Flory, A. (2023). Age at cancer diagnosis by breed, weight, sex, and cancer type in a cohort of more than 3,000 dogs: Determining the optimal age to initiate cancer screening in canine patients. *PLOS ONE*, 18(2), e0280795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280795>
- Robertson, J. L., Dervisis, N., Rossmeisl, J., Nightengale, M., Fields, D., Dedrick, C., Ngo, L., Issa, A. S., Guruli, G., Orlando, G., & Senger, R. S. (2024). Cancer detection in dogs using rapid Raman molecular urinalysis. *Frontiers in Veterinary Science*, 11.

- <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1328058>
- Salvi, M., Molinari, F., Iussich, S., Muscatello, L. V., Pazzini, L., Benali, S., Banco, B., Abramo, F., De Maria, R., & Aresu, L. (2021). Histopathological Classification of Canine Cutaneous Round Cell Tumors Using Deep Learning: A Multi-Center Study. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.640944>
- Shaker, R., Wilke, C., Ober, C., & Lawrence, J. (2021). Machine learning model development for quantitative analysis of CT heterogeneity in canine hepatic masses may predict histologic malignancy. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 62(6), 711–719. <https://doi.org/10.1111/vru.13012>
- Sharif, H., Arabi Belaghi, R., Jagarlamudi, K. K., Saellström, S., Wang, L., Rönnerberg, H., & Eriksson, S. (2025). A novel cross-validated machine learning based Alertix-Cancer Risk Index for early detection of canine malignancies. *Frontiers in Veterinary Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1570106>
- Sharif, H., Saellström, S., Kolli, B., Jagarlamudi, K. K., Wang, L., Rönnerberg, H., & Eriksson, S. (2023). A monoclonal antibody-based sandwich ELISA for measuring canine Thymidine kinase 1 protein and its role as biomarker in canine lymphoma. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1243853>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tagawa, M., & Aoki, M. (2023). Clinical utility of liquid biopsy in canine oral malignant melanoma using cell-free DNA. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1182093>
- Wanamaker, M. W., Vernau, K. M., Taylor, S. L., Cissell, D. D., Abdelhafez, Y. G., & Zwingenberger, A. L. (2021). Classification of neoplastic and inflammatory brain disease using MRI texture analysis in 119 dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 62(4), 445–454. <https://doi.org/10.1111/vru.12962>
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
- Wu, C.-C., Chang, C.-Y., Chou, P.-Y., Chan, X.-Y., Huang, C.-C., Yang, Y., & Liu, H.-P. (2025). Multiplexed immunoassay for a serum autoantibody biomarker panel in diagnostic and prognostic prediction of canine mammary tumors. *Veterinary Quarterly*, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/01652176.2024.2435978>
- Yu, C., Zheng, H.-H., Zhang, Y.-Z., Du, C.-T., & Xie, G.-H. (2023). Identification of canine mammary tumor-associated metabolites using untargeted metabolomics. *Theriogenology*, 211, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.08.010>
- Zuraw, A., & Aefferer, F. (2022). Whole-slide imaging, tissue image analysis, and artificial intelligence in veterinary pathology: An updated introduction and review. *Veterinary Pathology*, 59(1), 6–25. <https://doi.org/10.1177/03009858211040484>