

DOI: <https://doi.org/10.46296/gt.v8i16.0310>

DETECCIÓN TEMPRANA DE CÁNCER EN PERROS Y GATOS MEDIANTE BIOMARCADORES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

EARLY DETECTION OF CANCER IN DOGS AND CATS USING BIOMARKERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Coloma-Chasi Andrea Michelle ¹; Chávez-Vaca Vinicio Alexander ²

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.
Correo: andrea.coloma@espam.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2411-8487>.

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.
Correo: vachavez@espam.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3623-4178>.

Resumen

La detección temprana del cáncer en animales de compañía representa un desafío actual por las limitaciones en los métodos de diagnóstico tradicionales que suelen identificar enfermedades en etapas avanzadas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la información disponible sobre los métodos para detectar cáncer de manera temprana en perros y gatos. Se analizó el uso de biomarcadores, tecnologías de imagen avanzadas y la incorporación de la inteligencia artificial (IA). Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura entre 2014 y 2024; los criterios de inclusión y exclusión se basaron en la validez metodológica y el uso de bases de datos como PubMed, Frontiers y Elsevier. Además, la búsqueda se complementó con herramientas de inteligencia artificial para incluir estudios de relevancia científica. Los hallazgos han demostrado que la biopsia líquida mediante la detección de ADN es una técnica no invasiva que permite identificar neoplasias en etapas iniciales. Asimismo, los biomarcadores transcriptómicos facilitan interpretar la progresión tumoral y obtener diagnósticos más precisos y personalizados. En este sentido, la implementación de la IA por imagen evidenció tener un alto potencial para reconocer patrones y clasificar los casos según el nivel de exactitud. La evidencia disponible señala que estas tecnologías reducen los errores humanos, agilizando los procesos de diagnóstico, combinados con procesos de validación científica; y que en conjunto son prometedoras para contribuir significativamente en el bienestar y calidad de vida de las mascotas.

Palabras claves: cáncer en mascotas; inteligencia artificial; biopsia líquida; biomarcadores; diagnóstico por imagen.

Abstract

The early detection of cancer in companion animals represents a current challenge due to the limitations of traditional diagnostic methods that usually identify diseases in advanced stages. The aim of this research was to evaluate the available information on methods for detecting cancer early in dogs and cats. The use of biomarkers, advanced imaging technologies, and the incorporation of artificial intelligence (AI) were analyzed. To this end, a systematic review of the literature was carried out between 2014 and 2024; the inclusion and exclusion criteria were based on methodological validity and the use of databases such as PubMed, Frontiers and Elsevier. In addition, the search was complemented with artificial intelligence tools to include studies of scientific relevance. The findings have shown that liquid biopsy using DNA detection is a non-invasive technique that allows the identification of neoplasms in early stages. In addition, transcriptomic biomarkers make it easier to interpret tumour progression and obtain more accurate and personalised diagnoses. In this sense, the implementation of image AI showed a high potential to recognize patterns and classify cases according to the level of accuracy. The available evidence indicates that these technologies reduce human errors, streamlining diagnostic processes, combined with scientific validation processes; and that together they are promising to contribute significantly to the well-being and quality of life of pets.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 14 de septiembre de 2025.

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2025.

Fecha de publicación: 15 de diciembre de 2025.



Keywords: cancer in pets; artificial intelligence; liquid biopsy; biomarkers; diagnostic imaging.

1. Introducción

La salud de los animales de compañía es cada vez más significativa para los dueños de las mascotas, ya que priorizan su bienestar y calidad de vida. Por ello, las enfermedades letales o crónicas son un desafío en la detección temprana. En este contexto, el cáncer es considerado como la principal causa de muertes en animales de compañía, presentando consecuencias muy profundas y causando dolor en muchos pacientes con enfermedades terminales y reduciendo su calidad de vida (Garden et al., 2018). Esto se convierte en un problema de salud y causa la muerte en perros mayores de dos años. Así, uno de cada cuatro perros muere por esta enfermedad (Timothy, 2014).

En medicina veterinaria, detectar a tiempo el cáncer en nuestras mascotas es un área crucial que afecta la calidad de vida y la supervivencia de nuestra mascota (Pinho y Reis, 2015). Actualmente, la inteligencia artificial está

implementando cambios notables en la oncología veterinaria a través del diagnóstico por imágenes (Burti et al., 2024). Su uso nos permite identificar tumores en animales y al mismo tiempo abordar los desafíos con la disponibilidad de servicios especializados y favorecer el diagnóstico temprano de la enfermedad (Appleby, 2022).

Existen algunos tipos de cáncer muy frecuentes en perros, tales como el linfoma, mastocitoma mamario en perras, carcinoma de células escamosas y linfoma en gatos (Jordan, 2024). Y se detectan a través de inspección, palpación y métodos de imagen (rayos X, ecografía, resonancia magnética, tomografía), seguida de investigaciones citológicas y posiblemente inmunohistoquímicos (Aupperle et al., 2024). La distribución de los tipos de cáncer en perros y gatos demuestra la importancia de la detección y un manejo oportuno (Pinello et al., 2022). En perros, los tumores cutáneos son los más frecuentes, constituyendo el 49,5% de los cuales

el 48,4% son malignos; en hembras, los tumores mamarios presentan una malignidad del 50% y los tumores orales constituyen el 6% con una malignidad del 39% (Varshney et al., 2016).

La incidencia de cáncer en los gatos es alta; los tumores cutáneos constituyen el 39.6% y una malignidad del 63% (Nascimento, 2021). Por otro lado, los mamarios se aproximan al 85%, lo que excede el porcentaje observado en perros; los tumores orales constituyen entre el 3% y el 12%, con un 78% de malignidad (Clifford, 2024). A pesar de que son poco comunes, la mayor parte (más del 90%) de los tumores óseos en gatos se consideran malignos (Simpson et al., 2022).

Los métodos para detectar el cáncer, como la biopsia y los análisis histopatológicos, han sido procedimientos invasivos que generalmente se utilizan en etapas más avanzadas de la enfermedad (Ahmad et al., 2021). Sin embargo, la creciente necesidad de diagnósticos más efectivos y accesibles ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas. Entre estas, se destacan la imagenología con ayuda de IA, las

biopsias líquidas, la caracterización molecular y genética, y el cribado que utiliza nematodos (Greco et al., 2023). Estas innovaciones ofrecen opciones no invasivas o mínimamente invasivas, lo que favorece la detección temprana de tumores, mejora el pronóstico y permite implementar estrategias terapéuticas más precisas (Kumar et al., 2015). Esto resalta la importancia de desarrollar métodos de alta precisión para detectar el cáncer en sus primeras etapas (Henriksen et al., 2020).

El método de biopsia líquida (MCED) puede ser beneficioso como nuevo modelo de detección en mascotas, ya que permite detectar el cáncer de manera no invasiva antes de que se manifiesten los síntomas (Clarke et al., 2021). Esta tecnología no invasiva utilizada en la oncología humana ofrece una oportunidad similar en el campo veterinario, facilitando el acceso al diagnóstico, fomentando la detección temprana y brindando opciones de tratamiento para nuestras mascotas (Kruglyak et al., 2021). La mezcla de biopsias líquidas con secuenciación de nueva generación (NGS) y perfiles genómicos da a los veterinarios

información actualizada sobre la biología de los animales. Esto mejora la precisión de los diagnósticos y permite tratamientos terapéuticos más ajustados a cada caso (O’Kell et al., 2023).

Las biopsias líquidas permiten medir la diversidad genérica en los tumores, lo que incluye subclones que las biopsias de tejido líquido pueden no identificar (Knappskog et al., 2023). Las biopsias líquidas examinan biomarcadores que se encuentran en el sistema circulatorio; de esta manera, es posible llevar un control de la evolución del tumor en tiempo real (Fittall y Van, 2019). Esta ventaja es muy importante en oncología veterinaria, donde la detección temprana sigue siendo un desafío y los tumores se diagnostican en etapas avanzadas (Chibuk et al., 2021).

En la actualidad, las tecnologías avanzadas han permitido detectar el cáncer en etapas más tempranas, aumentando significativamente las posibilidades de curación (London, 2023). La tomografía por emisión de positrones (PET), la tomografía computarizada (CT) o la resonancia magnética (MRI) proporcionan

múltiples perfiles moleculares, funcionales y fisiológicos con un solo examen del paciente (Schwenck et al., 2023). En medicina veterinaria, la precisión del diagnóstico puede ser variable a causa de las diferencias entre clínicas en cuanto a los recursos disponibles y la experiencia de los radiólogos (Khalifa y Albadawy 2024). Las herramientas que emplean la inteligencia artificial ayudan a resolver problemas al proporcionar análisis precisos y estandarizados, lo cual hace que los resultados sean más confiables (Pereira et al., 2023).

El estudio se enfoca en la eficacia de los biomarcadores emergentes para detectar el cáncer de las mascotas de compañías en sus etapas iniciales; y en tecnologías como MRI, CT y PET para un diagnóstico temprano. Por lo tanto, el objetivo de la investigación consiste en evaluar la evidencia existente sobre los métodos de detección temprana de cáncer en perros y gatos, enfocándose en la identificación de biomarcadores, tecnologías de imagen y el uso de la inteligencia artificial, con el fin de mejorar el diagnóstico precoz y el pronóstico en perros y gatos.

2. Metodología

El propósito del trabajo investigativo fue analizar los avances tecnológicos empleados en la detección temprana de cáncer en perros y gatos. Por ende, el estudio es una revisión sistemática de literatura científica. Se llevó a cabo un proceso de búsqueda, selección, organización y análisis de las fuentes bibliográficas de los últimos diez años. Para garantizar la calidad y relevancia de los estudios incluidos, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, los cuales se detallan a continuación.

Criterios de inclusión

Se recopilaron datos significativos de cada artículo seleccionado, incluyendo características del estudio, tipo de cáncer, método de detección, resultados y limitaciones. Donde se consideraron los siguientes criterios:

- Estudios publicados entre 2014 y 2024
- Artículos en inglés y español
- Publicaciones arbitradas, tales como:
 - Ensayos clínicos
 - Estudios de casos y controles

- Revisiones sistemáticas
- Investigaciones experimentales

Cabe mencionar que se priorizaron trabajos de revisión por pares, estudios clínicos con muestras significativas y revisiones sistemáticas que aportaran evidencia sólida sobre los métodos de detección temprana de cáncer en mascotas.

Criterios de exclusión

- Estudios sin validez metodológica
- Artículos no arbitrados o de divulgación
- Estudios no relacionados con el tema de investigación

Los artículos seleccionados a través del uso de gestores bibliográficos como Mendeley y Zotero que permitieron no solo organizar y analizar información, sino también eliminar documentos duplicados, clasificación temática y el registro de metadatos y extracción de información relevante. Además, para fortalecer el rigor metodológico se aplicaron los criterios del método SANRA, evaluando:

Justificación

En la actualidad, el cáncer es la principal causa de muertes en animales de compañía de dos o más años. Por lo que detectarlo a tiempo es esencial para mejorar su calidad de vida y sus posibilidades de sobrevivir. A pesar de los avances en las tecnologías diagnósticas, como la imagenología mejorada con inteligencia artificial, el diagnóstico molecular y las biopsias líquidas, aún existen barreras significativas como costos elevados, acceso limitado a equipos especializados y necesidad de formación técnica, lo que obstaculiza su uso generalizado (Lone et al., 2022). La aplicación eficaz y accesible de estas tecnologías posibilitaría un diagnóstico más temprano y exacto, lo que optimizaría las posibilidades de intervención y aumentaría la esperanza y la calidad de vida de las mascotas (Yitbarek, 2022).

Formulación de preguntas claras:

La investigación se enfoca en dos preguntas fundamentales:

- ¿Cuál es la eficacia y la exactitud de los biomarcadores emergentes para detectar el

cáncer en perros y gatos en sus etapas iniciales?

- ¿Cómo pueden las tecnologías de imagen de vanguardia, como MRI, CT y PET, optimizar el diagnóstico temprano y la gestión clínica del cáncer en animales de compañía?

Búsqueda de la literatura

La búsqueda de información se realizó en plataformas académicas reconocidas como Google Académico, PubMed, PubMed Central, Frontiers y Elsevier. Se emplearon términos clave como “early detection of cáncer”, “pets”, “canine oncology”, “feline oncology”, “liquid biopsy in pets”, “AI imaging veterinary”, “biomarkers in dogs” y “biomarkers in cats”. La búsqueda se complementó con herramientas de inteligencia artificial como Semantic Scholar, Elicit, Consensus y Rabbit para identificar estudios relevantes que pudieran haber sido pasados por alto en las búsquedas tradicionales.

Evaluación crítica de las fuentes

Cada estudio incluido fue evaluado en función de su calidad metodológica, relevancia clínica, uso de la inteligencia artificial y

contribución al campo de la oncología veterinaria. Se utilizaron criterios como el tamaño de la muestra, la claridad de los métodos y la validez de los resultados. Los estudios con muestras reducidas o metodologías poco claras fueron excluidos para mantener la integridad de la revisión (Crosby et al., 2022).

Síntesis de los resultados

Los resultados de los estudios seleccionados se sintetizaron de manera narrativa, destacando los hallazgos clave sobre biomarcadores emergentes y tecnologías de imagen avanzadas a través de la inteligencia artificial. Se prestó especial atención a la comparación entre métodos tradicionales y nuevos enfoques, así como a las limitaciones y desafíos en la implementación de estas tecnologías en la práctica clínica (Colombe et al., 2022).

Conclusión y recomendación

El estudio concluye con una discusión sobre las implicaciones clínicas de los hallazgos y ofrece recomendaciones para futuras investigaciones y prácticas clínicas.

Se enfatiza la necesidad de más estudios longitudinales y la colaboración interdisciplinaria para avanzar en el campo de la detección temprana del cáncer en mascotas (Chibuk et al., 2021).

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos a través de las diferentes fuentes bibliográficas.

Biopsia líquida

El análisis de la literatura evidencia que la biopsia líquida es uno de los avances más relevantes en la oncología veterinaria, puesto que puede cambiar drásticamente la forma en que se diagnostica, se monitorea y se trata el cáncer en los perros (Amirouchene et al., 2017). Esta técnica detecta el ADN tumoral que circula en la sangre (ctDNA) y, al ser no invasiva, elude los problemas que pueden surgir con las biopsias quirúrgicas o las citologías por aspiración con aguja fina en tumores difíciles de alcanzar (Heitzer et al., 2019).

Se estima que su uso clínico permitirá identificar el cáncer en

etapas tempranas, mejorar la selección de tratamientos específicos, monitorear la enfermedad mínima residual (MRD) y hacer un seguimiento en tiempo real de las recaídas y del tratamiento. Además, su habilidad para analizar el perfil genético completo del tumor usando una sola muestra de sangre es mejor que la desventaja que presenta la variabilidad del tumor que se observa en biopsias de un solo lugar (Sakthikumar, 2020). Investigaciones citadas en la medicina humana han mostrado sensibilidades de detección

temprana que varían entre el 20% y el 70%, con especificidades que rebasan el 98%. Estos valores se fijan como meta para la creación de pruebas análogas en el ámbito veterinario (tabla 1). La posibilidad de que esto sea viable se apoya en otros factores, como la semejanza a nivel molecular y genómico entre perros y humanos y en ejemplos documentados, como el descubrimiento de mutaciones BRAF V595E o c-kit; sin embargo, la validación a gran escala en perros aún está avanzando (Flory et al., 2022).

Tabla 1. Aplicaciones clínicas y efectividad esperada de la biopsia líquida en oncología veterinaria

Aplicación clínica	Descripción	Beneficio esperado	Ejemplos documentados	Efectividad esperada
Tamizaje en poblaciones de riesgo	Evaluaciones periódicas en razas de perros con predisposición o caninos geriátricos	Detección temprana de cáncer antes de que surjan signos clínicos	Alrededor del 50% de los perros que tienen más de diez años padecen cáncer	La sensibilidad calculada oscila entre el 20 y 70% mientras que la especificidad supera el 98%
Ayuda diagnóstica	Alternativa cuando no se puede realizar una biopsia de tejido o cuando es riesgosa.	Reducción de riesgos y del tiempo que toma el diagnóstico	Tumores con mucha vacuolización, intratorácicos y del sistema nervioso central	Elevada especificidad, evita los falsos negativos de la FNA
Selección de terapia dirigida	Identificación de mutaciones que puedan ser empleadas para elegir medicamentos concretos	Mayor tasa de respuesta de supervivencia	Alteraciones de c-kit que han recibido tratamiento con toceranib	Elevada eficacia en tumores que presentan mutaciones activadoras
Detección de MRD	Examen postquirúrgico	Modificación oportuna del		Fuerte relación con el riesgo de recaída

	para detectar células tumorales remanentes	tratamiento adyuvante	La presencia de ctDNA después de la resección del tumor	
Monitoreo de respuesta y recurrencia	Seguimiento en tiempo real de la carga tumoral	Detección precoz de la recaída o del progreso	Disminución de ctDNA asociada con una respuesta positiva	Comunicación directa con el progreso clínico

Biomarcadores

Los artículos revisados muestran que el uso de la tecnología RNA-seq ha ayudado a encontrar biomarcadores y posibles objetivos de tratamiento para el diagnóstico temprano del cáncer en mascotas. Esta técnica proporciona beneficios notables en comparación con tecnologías tradicionales, como una sensibilidad más alta, un rango dinámico más extenso y una cuantificación exacta (Rao et al., 2018). En medicina veterinaria, para llevar a cabo diagnósticos más rápidos y certeros, es fundamental reconocer estos biomarcadores,

entre los que se encuentran el ARN mensajero (ARNm) y el ARN no codificante (ncRNA) (Slack, 2019).

Algunos estudios en revistas especializadas muestran que la RNA-seq es una herramienta útil para estudiar el cáncer, encontrar las rutas relacionadas y describir cómo progresa el tumor en gatos y perros. Esta tecnología también se utiliza para estudiar cómo reaccionan las células tumorales a los fármacos anticancerosos (Arun et al., 2018). En las ilustraciones 1 y 2 se presenta un resumen sobre biomarcadores identificados para tipos de cáncer en perros y gatos.

Ilustración 1. Biomarcadores de cáncer en perros

Tipo de cancer canino	Biomarcadores identificados	Funcion y relevancia
Cancer de prostata	VIM, citokeratina 8, citokeratina 18, miR - 95, miR - 18a	las propiedades invasivas estan relacionadas con la expresion de vimentina (VIM). El progreso de cancer y de la metastasis distante tiene que ver con el incremento de la expresion de miR - 95 y miR - 18a
Carcinoma uroterial	TP53, ERBB2, FGFR3, PD - L1	El gen TP53, que tiene un efecto de suspensión sobre los tumores, esta regulado a la baja, en cambio , el gen ERBB2 presenta una regulacion al alza.
Melanoma	MEK1,MEK2,NOS2, miR - 450b	La progresion esta relacionada con la regulacion a la baja de las vias PI3K/AKT y MAPK. Se conoce que el gen NOS2 produce metastasis y su regulacion se incrementa. La metastasis aumenta debido a que la sobreexpresion de miR - 450b promueve a MMP9 y suprime a BMP4.

osteosarcoma	miR - 9, gelsolina	la supervivencia se reduce y se produce un comportamiento maligno cuando el miR - 9 se expresa en exceso. Un factor que interfiere en la activación de miR - 9 es la regulación de la gelsolina, que se incrementa
Tumores mamarios	PIK3CA, miR - 29b, miR - 19b	las mutaciones de PIK3CA se han identificado como mutaciones conductoras cruciales. En los tumores malignos se encuentran sobreexpresados miR - 19b y miR - 29b.
Linfoma	miR - 155, miR - 21, PTEN	la expresión de miR - 155 y miR 21 disminuye en el linfoma de células T, pero en la linfomagenesis de las células B, miR - 155 está sobreexpresado.

Ilustración 2. Biomarcadores de cáncer en gatos

tipo de cancer felino	Biomarcadores identificados	Funcion y relevancia
Glioblastoma	miR - 219, miR - 124, miR - 192	Se ha confirmado la función de miR - 219 en la proliferación y migración de las células de glioma. El miR - 124 promueve la conversión de las células madre del cáncer cerebral y reduce su multiplicación. La expresión de miR - 192 se eleva en los carcinomas y linfomas de células B.

A pesar de que la investigación en esta especie es menos extensa, la caracterización de los miARN en gatos ha proporcionado datos relevantes para detectar el cáncer. La aplicación de la secuenciación de ARN aún enfrenta retos, a pesar de los progresos. Uno de estos retos es elegir biomarcadores adecuados entre muchos genes que muestran diferentes niveles de expresión. Se han descubierto muchos biomarcadores, pero la mayor parte aún no se ha convertido en kits de diagnóstico eficaces. Para llevar a cabo un diagnóstico más preciso de enfermedades y tratamientos específicos en animales domésticos, es necesaria una investigación y desarrollo más extensos, que incluyan una variedad considerable

de muestras y ensayos (Choi et al., 2023).

Inteligencia artificial en diagnóstico por imagen

Los resultados revisados evidencian que la inteligencia artificial (IA) incorporada al diagnóstico por imagen puede tener la capacidad de optimizar el descubrimiento temprano de cáncer en perros y gatos. La utilización de redes neuronales convolucionales (CNN) y las técnicas radiómicas posibilitará la detección de alteraciones diminutas en ecografías, resonancias magnéticas, tomografías computarizadas y radiografías (Sollini et al., 2019). Asimismo, se anticipa que los algoritmos de IA puedan automatizar la etapa de cribado de imágenes, clasificando

estudios y dando prioridad a aquellos que muestren sospechas de malignidad para que un especialista los analice. Este tipo de aplicación, además de agilizar el flujo de trabajo en la práctica clínica, reducirá el peso del error humano durante la evaluación inicial, lo que contribuirá a lograr un diagnóstico más fiable (Alzubaidi et al., 2021).

La literatura ha probado que la inteligencia artificial tiene un potencial de superar las técnicas convencionales para la clasificación de imágenes torácicas, alcanzando sensibilidades superiores al 90% y precisiones cercanas al 97% (Kalendralis et al., 2019). Otro resultado anticipado es el uso de la radiómica para incorporar biomarcadores de imagen subvisuales. Estas características numéricas, que se obtienen mediante computadoras, pueden identificar cambios en la variedad, forma y textura de los tejidos antes de que sean visibles (Boissady et al., 2020). Por lo tanto, la radiómica no solo hará más sencillo detectar neoplasias en etapas tempranas. Además, permitirá un monitoreo más exacto del progreso de los tumores o de cómo responde el paciente al

tratamiento. Esto reducirá el sesgo asociado a la interpretación subjetiva del observador (Yoon et al., 2018) (ver tabla 2).

Se espera que los clasificadores basados en inteligencia artificial ayuden a distinguir con precisión diferentes tipos de tumores, como meningiomas y gliomas en perros, en cuanto a la forma en que se caracterizan. Esto permitirá que las decisiones clínicas sobre la biopsia, la terapia y la derivación se tomen con antelación. Además, ha demostrado ser útil en la clasificación automática de úlceras corneales, logrando una precisión superior al 90% en oftalmología veterinaria. Esto sugiere un efecto positivo en otras áreas de la oncología (Basran et al., 2020).

Finalmente, se cree que usar estas tecnologías, junto con estrategias para validar clínicamente y programas de capacitación, asegura que los sistemas de IA sean un apoyo seguro para los radiólogos veterinarios. Así que, la inteligencia artificial y la radiómica no van a sustituir la experiencia de los profesionales, sino que la van a fortalecer para hacer diagnósticos en

oncología de mascotas más tempranos, precisos y adaptados a cada caso (Wanamaker et al., 2021).

Tabla 2. Revisión bibliográfica de estudios de IA/radiómica en aplicaciones de imagenología veterinaria, con precisiones reportadas y conclusiones. CNN: redes neuronales convolucionales.

Referencia	Tema	Escala	Especie	Algoritmo IA /Radiómica	Exactitud /Sensibilidad	Conclusión
Yoon et al.,2018	detección de lesiones: radiográficas y torácicas	N clínico= 3122 casos	Canino	aprendizaje automático CNN y BOF	CNN: 92.9 - 96.9% BOF: 79.6% - 96.9%	tanto CNN como BOF son capaces de distinguir radiografías torácicas anormales, CNN mostro mayor precisión y sensibilidad que BOF.
Kim et al.,2019	Caracterización de la lesión: clasificación de imágenes de úlceras corneales caninas	N clínico= 281 casos	Canino	aprendizaje automático CNN	> 90% modelos para úlceras corneales superficiales y profundas: Resentí y Vegeten	los modelos de clasificación de imágenes de CNN se pueden utilizar para determinar eficazmente la gravedad de las úlceras corneales en perros
clasificación et al.,2021	Caracterización de la lesión: diferenciación por (RM) entre neoplasia y células gliales caninas y la meningoencefalitis inflamatoria no infecciosa	N clínico= 119 casos	Canino	Radiómica	la precisión del clasificador del bosque aleatorio fue el 76% para diferenciar el glioma de la meningoencefalitis inflamatoria no infecciosa	el análisis de textura con algoritmo de bosque aleatorio logro una precisión similar a la de los radiólogos para clasificar lesiones inflamatorias y neoplásicas, pero mostro bajo rendimiento al diferenciar grados y tipos de tumores
Boissady et al.,2020	detección de lesiones: radiográficas y torácicas caninas y felinas	N clínico= 6584 casos	Caninos y felinos	Aprendizaje automático y CNN	N/A	La red escrita puede ayudar a detectar lesiones, pero no proporciona un diagnóstico: tiene potencial para ser utilizada como herramienta para ayudar a los médicos generales
Benzoato et al.,2018	Detección de lesiones: diferenciación por RM de hemangiomas y gliomas caninos	N clínico= 80 casos	Caninos	Aprendizaje automático y CNN	94% de imágenes T1 automático 91% en imágenes T1 precontrato y 90% en imágenes T2	La CNN puede distinguir de forma fiable entre diferentes hemangiomas y gliomas en imágenes de RM

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Discusión

Los resultados de la revisión sistemática muestran un progreso importante en el uso de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial (IA) y la secuenciación de ARN (RNA-seq). Estas herramientas han cambiado el procedimiento para identificar y caracterizar los biomarcadores oncológicos, tanto en medicina veterinaria como en la medicina humana. Por una parte, la IA ha evidenciado que es capaz de examinar ingentes cantidades de datos clínicos, imágenes histopatológicas y perfiles moleculares a través de algoritmos de aprendizaje profundo (Aubreville et al., 2020).

Lo cual ha permitido una detección más temprana y precisa del cáncer, así como una predicción más exacta de la reacción del paciente al tratamiento. Estas herramientas no solo mejoran el trabajo del especialista, sino que además posibilitan disminuir los errores diagnósticos y optimizar el tratamiento personalizado (Burti et al., 2024). Por otro lado, el uso de la tecnología RNA-seq ha permitido entender mejor los transcriptomas de

los RNAs no codificantes (ncRNAs), que son biomarcadores potenciales para el avance del cáncer y posibles objetivos para tratamientos (Clifford, 2024).

Un aspecto importante son las nuevas oportunidades en el área veterinaria gracias a la identificación de microARNs relacionados con la metástasis, la resistencia a medicamentos o la multiplicación de células. Además, estos microARNs se utilizan como modelos comparativos para enfermedades humanas (Caputo et al., 2022). La radiómica y la inteligencia artificial en la medicina veterinaria afrontan retos particulares, lo cual no sucede con la medicina humana. El obstáculo principal es la dificultad para conseguir amplios conjuntos de datos homogéneos, debido a la diversidad inherente a los pacientes, las razas y las especies; asimismo, si no se incorporan a los conjuntos de entrenamiento, la falta de ejemplos de enfermedades poco comunes podría dificultar que los algoritmos de inteligencia artificial las detecten correctamente (Abuzaid et al., 2022).

No obstante, a pesar de estos obstáculos, es necesario tratar la

falta de conocimiento que hay entre los profesionales del sector, porque el avance de la IA en la práctica veterinaria es inevitable. Según las investigaciones, la escasez de confianza y experiencia con las herramientas de inteligencia artificial es una amenaza para su labor (Bhandari et al., 2021). Para el futuro, es necesario que se colabore para producir conjuntos de datos de código abierto grandes y para curar los datos con el fin de que sean accesibles y recuperables fácilmente. Así, uno de los mayores impedimentos para el avance de la inteligencia artificial en el diagnóstico por imágenes veterinarias podrá ser superado.

4. Conclusiones

Los avances tecnológicos aplicados en el campo de la medicina veterinaria demuestran un progreso significativo para la detección temprana del cáncer en perros y gatos. Las evidencias bibliográficas indican que las biopsias líquidas, biomarcadores transcriptómicos y el diagnóstico por imagen asistido por IA son herramientas que permiten intervenciones oportunas. En el ámbito de la medicina veterinaria, las

mejoras en la inteligencia artificial y en la secuenciación de RNA han demostrado cómo se aborda el diagnóstico y tratamiento del cáncer para examinar datos clínicos complejos e imágenes médicas. Esto aumenta la exactitud de los diagnósticos y promueve la categorización de pacientes para terapias personalizadas.

El RNA-seq ha hecho posible encontrar nuevos biomarcadores en el transcriptoma, como los RNAs no codificantes, que son muy importantes en el desarrollo del tumor y en la reacción a los tratamientos en perros y gatos. Por lo tanto, se ha vuelto una herramienta crucial para la oncología veterinaria; sin embargo, actualmente existen desafíos que deben superarse antes de una implementación a amplia escala, como la necesidad de validar biomarcadores en cohortes extensas, estandarizar las metodologías y garantizar que estas tecnologías estén disponibles en entornos clínicos. Por otro lado, la radiómica y la inteligencia artificial son herramientas con un alto potencial para mejorar la identificación, el diagnóstico y la

caracterización de las lesiones en el ámbito veterinario.

El uso de algoritmos avanzados, como las redes neuronales convolucionales (CNN), ha demostrado que permite detectar con precisión diferentes tipos de anomalías y lesiones. A veces, incluso reduce el margen de error en comparación con los observadores humanos. Aunque la aplicación de la inteligencia artificial en el campo veterinario está atrasada en comparación con la medicina humana, su adopción continúa creciendo. Las tecnologías analizadas y su integración en el diagnóstico de cáncer en los animales de compañía permiten a la medicina veterinaria transitar a datos más preventivos y personalizados, mejorando la calidad de vida de las mascotas. Cabe señalar que, para que este avance sea sostenible, es necesario fortalecer los procesos de validación clínica a través de la formación especializada de los profesionales del sector.

Bibliografía

- Abuzaid, M. M., Elshami, W., Tekin, H., & Issa, B. (2022). Assessment of the Willingness of Radiologists and Radiographers to Accept the Integration of Artificial Intelligence Into Radiology Practice [Evaluación de la disposición de los radiólogos y radiólogos aceptar la integración de la inteligencia artificial en la práctica radiológica]. *Academic Radiology*, 29(1), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.09.014>
- Ahmad, Z., Rahim, S., Zubair, M., & Abdul, J. (2021). Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: Present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review [Inteligencia artificial (IA) en medicina, aplicaciones actuales y rol futuro, con especial énfasis en su potencial y promesa en patología: impacto presente y futuro, obstáculos, incluyendo costos y aceptación entre patólogos, consideraciones prácticas y filosóficas. Una revisión exhaustiva]. *Diagnostic Pathology*, 16(24),

- 1-16.
<https://doi.org/10.1186/s13000-0-021-01085-4>
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions [Revisión del aprendizaje profundo: conceptos, arquitecturas CNN, desafíos, aplicaciones y direcciones futuras]. *Journal of Big Data*, 8(53), .
<https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Amirouchene, N., Swanton, C., & Bardelli, A. (2017). Tumor Evolution as a Therapeutic Target [La evolución tumoral como diana terapéutica]. *Cancer Discovery*, 7(8), 805-817.
<https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-17-0343>
- Appleby, R. B., & Basran, P. S. (2022). Artificial intelligence in veterinary medicine [Inteligencia artificial en medicina veterinaria]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 260(8), 819-824.
<https://doi.org/10.2460/javma.22.03.0093>
- Arun, G., Diermeier, S. D., & Spector, D. L. (2018). Therapeutic Targeting of Long Non-Coding RNAs in Cancer [Dirigido terapéuticamente a ARN largos no codificantes en el cáncer]. *Trends in Molecular Medicine*, 24(3), 257-277.
<https://doi.org/10.1016/j.molmed.2018.01.001>
- Aubreville, M., Bertram, C. A., Marzahl, C., Gurtner, C., Dettwiler, M., Schmidt, A., Bartenschlager, F., Merz, S., Fragoso, M., Kershaw, O., Klopffleisch, R., & Maier, A. (2020). Deep learning algorithms out-perform veterinary pathologists in detecting the mitotically most active tumor region [Los algoritmos de aprendizaje profundo superan a los patólogos veterinarios en la detección de la región tumoral mitóticamente más activa]. *Scientific Reports*, 10(16447).
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73246-2>
- Aupperle-Lellbach, H., Kehl, A., de Brot, S., & Van der Weyden, L. (2024). Clinical Use of Molecular Biomarkers in Canine and Feline Oncology: Current and Future [Uso clínico de biomarcadores moleculares en oncología canina y felina: actualidad y futuro]. *Veterinary Sciences*, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/vetsci11050199>
- Basran, P. S., Gao, J., Palmer, S., & Reesink, H. L. (2020). A

- radiomics platform for computing imaging features from μ CT images of Thoroughbred racehorse proximal sesamoid bones: Benchmark performance and evaluation [Una plataforma radiómica para calcular las características de las imágenes μ CT de los huesos sesamoideos proximales de caballos de carreras pura sangre: rendimiento de referencia y evaluación]. *Equine Veterinary Journal*, 53, 277-286.
<https://doi.org/10.1111/evj.13321>
- Bhandari, A., Purchuri, S. N., Sharma, C., Ibrahim, M., & Prior, M. (2021). Knowledge and attitudes towards artificial intelligence in imaging: A look at the quantitative survey literature [Conocimientos y actitudes hacia la inteligencia artificial en imágenes: una mirada a la literatura de encuestas cuantitativas]. *Clinical Imaging*, 80, 413-419.
<https://doi.org/10.1016/j.clinimaging.2021.08.004>
- Boissady, E., de La Comble, A., Zhu, X., & Hespel, A. (2020). Artificial intelligence evaluating primary thoracic lesions has an overall lower error rate compared to veterinarians or veterinarians in conjunction with the artificial intelligence [La inteligencia artificial que evalúa las lesiones torácicas primarias tiene una tasa de error general más baja en comparación con los veterinarios o los veterinarios en conjunto con la inteligencia artificial]. *Veterinary Radiology & Ultrasound: The Official Journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association*, 61(6), 619-627.
<https://doi.org/10.1111/vru.12912>
- Burti, S., Banzato, T., Coghlan, S., Wodzinski, M., Bendazzoli, M., & Zotti, A. (2024). Artificial intelligence in veterinary diagnostic imaging: Perspectives and limitations [Inteligencia artificial en el diagnóstico por imagen veterinario: perspectivas y limitaciones]. *Research in Veterinary Science*, 175(105317)
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105317>
- Caputo, V., De Falco, V., Napolitano, S., Ventriglia, A., Famiglietti, V., Martinelli, E., Morgillo, F., Martini, G., Corte, C., Ciardiello, D., Poliero, L., De Vita, F., Orditura, M., Fasano, M., Franco, R., Caraglia, M., Avitabile, A., Scalamogna, R., Marchi, B., Ciardiello, F., & Troiani, T. (2022). Comprehensive genome profiling by next generation

sequencing of circulating tumor DNA in solid tumors: A single academic institution experience [Perfil genómico integral mediante secuenciación de próxima generación de ADN tumoral circulante en tumores sólidos: la experiencia de una única institución académica]. *Therapeutic Advances in Medical Oncology*, 14, 17588359221096878. <https://doi.org/10.1177/17588359221096878>

Chibuk, J., Flory, A., Kruglyak, K. M., Leibman, N., Nahama, A., Dharajiya, N., van den Boom, D., Jensen, T. J., Friedman, J. S., Shen, M. R., Clemente, F., Chorny, I., Tynan, J. A., Lytle, K. M., Holtvoigt, L. E., Murtaza, M., Diaz, L., Tsui, D., & Grosu, D. (2021). Horizons in Veterinary Precision Oncology: Fundamentals of Cancer Genomics and Applications of Liquid Biopsy for the Detection, Characterization, and Management of Cancer in Dogs [Horizontes en Oncología Veterinaria de Precisión: Fundamentos de la Genómica del Cáncer y Aplicaciones de la Biopsia Líquida para la Detección, Caracterización y Tratamiento del Cáncer Canino]. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.664718>

Choi, Y., Nam, M.-W., Lee, H. K., & Choi, K.-C. (2023). Use of cutting-edge RNA-sequencing technology to identify biomarkers and potential therapeutic targets in canine and feline cancers and other diseases [Uso de tecnología de secuenciación de ARN de vanguardia para identificar biomarcadores y posibles objetivos terapéuticos en cánceres caninos y felinos y otras enfermedades]. *Journal of Veterinary Science*, 24(5), e71. <https://doi.org/10.4142/jvs.23036>

Clarke, C. A., Hubbell, E., & Ofman, J. J. (2021). Multi-cancer early detection: A new paradigm for reducing cancer-specific and all-cause mortality [Detección temprana de múltiples cánceres: un nuevo paradigma para reducir la mortalidad por cáncer y por todas las causas]. *Cancer Cell*, 39(4), 447-448. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2021.02.004>

Clifford, C. A., & Bergman, P. J. (2024). Advancements in Veterinary Oncology [Avances en oncología veterinaria]. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 54(3), xi-xii. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2023.12.001>

- Colombe, P., Béguin, J., Bencheekroun, G., & Le Roux, D. (2022). Blood biomarkers for canine cancer, from human to veterinary oncology [Biomarcadores sanguíneos para el cáncer canino, desde la oncología humana hasta la veterinaria]. *Veterinary and Comparative Oncology*, 20(4), 767-777. <https://doi.org/10.1111/vco.12848>
- Crosby, D., Bhatia, S., Brindle, K. M., Coussens, L. M., Dive, C., Emberton, M., Esener, S., Fitzgerald, R. C., Gambhir, S. S., Kuhn, P., Rebbeck, T. R., & Balasubramanian, S. (2022). Early detection of cancer [Detección temprana del cáncer]. *Ciencia JF-Ciencia*, 375(6586), eaay9040. <https://doi.org/10.1126/science.aay9040>
- Fittall, M., & Van, P. (2019). Translating insights into tumor evolution to clinical practice: Promises and challenges [Trasladar los conocimientos sobre la evolución tumoral a la práctica clínica: promesas y desafíos]. *Genome Medicine*, 11(20), <https://doi.org/10.1186/s13073-019-0632-z>
- Flory, A., Kruglyak, K. M., Tynan, J. A., McLennan, L. M., Rafalko, J. M., Fiaux, P. C., ... 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 [Validación clínica de una prueba de sangre de "biopsia líquida" para la detección temprana de múltiples cánceres basada en secuenciación de última generación en más de 1000 perros utilizando un conjunto de pruebas independiente: El estudio detección de cáncer en perros (CANDiD)]. *PLOS ONE*, 17(4), e0266623. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266623>
- Garden, O. A., Volk, S. W., Mason, N. J., & Perry, J. A. (2018). Companion animals in comparative oncology: One Medicine in action [Animales de compañía en oncología comparada: Una Medicina en acción]. *The Veterinary Journal*, 240, 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.08.008>
- Greco, A., Meomartino, L., Gnudi, G., Brunetti, A., & Giancamillo, M. D. (2023). Imaging techniques in veterinary medicine. Part II: Computed tomography, magnetic resonance imaging, nuclear medicine [Técnicas de imagen en medicina veterinaria. Parte II: Tomografía computarizada,

- resonancia magnética, medicina nuclear]. *European Journal of Radiology Open*, 10(100467).
<https://doi.org/10.1016/j.ejro.2022.100467>
- Heitzer, E., Haque, I. S., Roberts, C. E. S., & Speicher, M. R. (2019). Current and future perspectives of liquid biopsies in genomics-driven oncology [Perspectivas actuales y futuras de las biopsias líquidas en la oncología impulsada por la genómica]. *Nature Reviews. Genetics*, 20, 71-88.
<https://doi.org/10.1038/s41576-018-0071-5>
- Henriksen, T. V., Reinert, T., Christensen, E., Sethi, H., Birkenkamp-Demtröder, K., Gögenur, M., Gögenur, I., Zimmermann, B. G., IMPROVE Study Group, Dyrskjöt, L., & Andersen, C. L. (2020). The effect of surgical trauma on circulating free DNA levels in cancer patients-implications for studies of circulating tumor DNA [El efecto del trauma quirúrgico sobre los niveles de ADN libre circulante en pacientes con cáncer: implicaciones para los estudios de ADN tumoral circulante]. *Molecular Oncology*, 14(8), 1670-1679.
<https://doi.org/10.1002/1878-0261.12729>
- Jordan, E. por M. (2024). Dog Cancer Q&A: Types, Symptoms, Prevention, and More [Tipos, síntomas, prevención y más]. WebMD.
<https://www.webmd.com/pets/dogs/features/dogs-and-cancer-get-the-facts>
- Kalendralis, P., Traverso, A., Shi, Z., Zhovannik, I., Monshouwer, R., Starmans, M. P. A., Klein, S., Pfaehler, E., Boellaard, R., Dekker, A., & Wee, L. (2019). Multicenter CT phantoms public dataset for radiomics reproducibility tests [Conjunto de datos públicos de fantasmas de TC multicéntricos para pruebas de reproducibilidad radiómica]. *Medical Physics*, 46(3), 1512-1518.
<https://doi.org/10.1002/mp.13385>
- Khalifa, M., & Albadawy, M. (2024). AI in diagnostic imaging: Revolutionising accuracy and efficiency [IA en diagnóstico por imagen: revolucionando la precisión y la eficiencia]. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 5(100146).
<https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2024.100146>
- Knappskog, S., Grob, T., Venizelos, A., Amstutz, U., Hjortland, G. O., Lothe, I. M., Kersten, C., Hofsl, E., Sundlöv, A., Elvebakken, H., Garresori, H., Couvelard, A., Svensson, J.,

- Sorbye, H., & Perren, A. (2023). Mutation Spectrum in Liquid Versus Solid Biopsies From Patients With Advanced Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Carcinoma [Espectro de mutaciones en biopsias líquidas y sólidas de pacientes con carcinoma neuroendocrino gastroenteropancreático avanzado]. *JCO Precision Oncology*, 7, e2200336. <https://doi.org/10.1200/PO.22.00336>
- Kruglyak, K. M., Leibman, N., Nahama, A., Dharajiya, N., van den Boom, D., Jensen, T. J., Friedman, J. S., Shen, M. R., Clemente-Vicario, F., Chorny, I., Tynan, J. A., Lytle, K. M., Holtvoigt, L. E., Murtaza, M., Diaz, L. A., Tsui, D. W. Y., & Grosu, D. S. (2021). Horizons in Veterinary Precision Oncology: Fundamentals of Cancer Genomics and Applications of Liquid Biopsy for the Detection, Characterization, and Management of Cancer in Dogs [Horizontes en Oncología Veterinaria de Precisión: Fundamentos de la Genómica del Cáncer y Aplicaciones de la Biopsia Líquida para la Detección, Caracterización y Tratamiento del Cáncer Canino]. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 664718. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.664718>
- Kumar, R., Srivastava, R., & Srivastava, S. (2015). Detection and Classification of Cancer from Microscopic Biopsy Images Using Clinically Significant and Biologically Interpretable Features [Detección y clasificación del cáncer a partir de imágenes de biopsia microscópica utilizando características clínicamente significativas y biológicamente interpretables]. *Journal of Medical Engineering*, 2015, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2015/457906>
- London, C. (2023). Advances in the detection, characterization, and monitoring of cancer in pets [Avances en la detección, caracterización y seguimiento del cáncer en mascotas]. *DVM360*, 54(3), 32. <https://www.dvm360.com/view/advances-in-the-detection-characterization-and-monitoring-of-cancer-in-pets>
- Lone, S. N., Nisar, S., Masoodi, T., Singh, M., Rizwan, A., Hashem, S., El-Rifai, W., Bedognetti, D., Batra, S. K., Haris, M., Bhat, A. A., & Macha, M. A. (2022). Liquid biopsy: A step closer to transform diagnosis, prognosis and future of cancer

- treatments [Biopsia líquida: Un paso más cerca de transformar el diagnóstico, el pronóstico y el futuro de los tratamientos contra el cáncer.]. *Molecular Cancer*, 21(79), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s12943-022-01543-7>
- Nascimento, C., & Ferreira, F. (2021). Tumor microenvironment of human breast cancer, and feline mammary carcinoma as a potential study model [Microambiente tumoral del cáncer de mama humano y carcinoma mamario felino como posible modelo de estudio]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Cancer*, 1876(1), 188587. <https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2021.188587>
- O'Kell, A. L., Lytle, K. M., Cohen, T. A., Wong, L. K., Sandford, E., Rafalko, J. M., Brandstetter, G., DiMarzio, L. R., Phelps-Dunn, A., Rosentel, M. C., Warren, C. D., McCleary-Wheeler, A. L., Fiaux, P. C., Marass, F., Marshall, M. A., Ruiz-Perez, C. A., Kruglyak, K. M., Tynan, J. A., Hicks, S. C., ... Flory, A. (2023). Clinical experience with next-generation sequencing-based liquid biopsy testing for cancer detection in dogs: A review of 1,500 consecutive clinical cases [Experiencia clínica con pruebas de biopsia líquida basadas en secuenciación de próxima generación para la detección de cáncer en perros: una revisión de 1500 casos clínicos consecutivos]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 261(6), 827-836. <https://doi.org/10.2460/javma.22.11.0526>
- Pereira, A. I., Franco, P., Leite, P., Ribeiro, A., Alves, M. S., Colaço, B., Loureiro, C., Gonçalves, L., Filipe, V., & Ginja, M. (2023). Artificial Intelligence in Veterinary Imaging: An Overview [Inteligencia artificial en imágenes veterinarias: una visión general]. *Veterinary Sciences*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/vetsci10050320>
- Pinello, K., Amorim, I., Pires, I., Cañadas, A., Catarino, J., Faísca, P., Branco, S., Peleteiro, M. C., Silva, D., Severo, M., & Niza, J. (2022). Vet-OncoNet: Malignancy Analysis of Neoplasms in Dogs and Cats [Vet-OncoNet: Análisis de neoplasias malignas en perros y gatos]. *Veterinary Sciences*, 9(10), 535. <https://doi.org/10.3390/vetsci9100535>
- Pinho, S., & Reis, C. (2015). Glycosylation in cancer:

- mechanisms and clinical implications [Licosilación en el cáncer: mecanismos e implicaciones clínicas]. *Nature reviews cáncer*, 15,540-555
<https://doi.org/10.1038/nrc3982>
- Rao, M. S., Van Vleet, T. R., Ciurlionis, R., Buck, W. R., Mittelstadt, S. W., Blomme, E. A. G., & Liguori, M. J. (2018). Comparison of RNA-Seq and Microarray Gene Expression Platforms for the Toxicogenomic Evaluation of Liver From Short-Term Rat Toxicity Studies [Comparación de plataformas de expresión génica de ARN-Seq y microarrays para la evaluación toxicogenómica del hígado a partir de estudios de toxicidad a corto plazo en ratas]. *Frontiers in Genetics*, 9(636).
<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00636>
- Sakthikumar, S. (2020). Characterizing the spectrum of somatic alterations in canine and human cancers [Caracterización del espectro de alteraciones somáticas en cánceres caninos y humanos]. ProQuest Dissertations & Theses.
<https://n9.cl/x55rs>
- Schwenck, J., Sonanini, D., Cotton, J. M., Rammensee, H.-G., la Fougère, C., Zender, L., & Pichler, B. J. (2023). Advances in PET imaging of cancer [Avances en la imagen PET del cáncer]. *Nature Reviews Cancer*, 23, 474-490.
<https://doi.org/10.1038/s41568-023-00576-4>
- Simpson, S., Rizvanov, A. A., Jeyapalan, J. N., de Brot, S., & Rutland, C. S. (2022). Canine osteosarcoma in comparative oncology: Molecular mechanisms through to treatment discovery [Osteosarcoma canino en oncología comparada: desde los mecanismos moleculares hasta el descubrimiento del tratamiento]. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.965391>
- Slack, F. J., & Chinnaiyan, A. M. (2019). The Role of Non-coding RNAs in Oncology [El papel de los ARN no codificantes en oncología]. *Cell*, 179(5), 1033-1055.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.10.017>
- Sollini, M., Antunovic, L., Chiti, A., & Kirienko, M. (2019). Towards clinical application of image mining: A systematic review on artificial intelligence and radiomics [Hacia la aplicación clínica de la minería de imágenes: una revisión sistemática sobre inteligencia artificial y radiómica].

- European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 46, 2656-2672. <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04372-x>
- Suarez, A. (2023). Cáncer de estómago en animales pequeños: La importancia de un diagnóstico temprano. Royal Veterinary College. <https://www.rvc.ac.uk/clinical-connections/stomach-cancer-in-small-animals-the-importance-of-an-early-diagnosis>
- Timothy, M. (2014). Pain Management in Veterinary Patients with Cancer [Manejo del dolor en pacientes veterinarios con cáncer]. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 44(5), 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2014.05.005>
- Varshney, J., Scott, M. C., Largaespada, D. A., & Subramanian, S. (2016). Understanding the Osteosarcoma Pathobiology: A Comparative Oncology Approach [Comprensión de la patobiología del osteosarcoma: un enfoque oncológico comparativo]. Veterinary Sciences, 3(1), 3. <https://doi.org/10.3390/vetsci3010003>
- 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 [Clasificación de enfermedades cerebrales neoplásicas e inflamatorias mediante análisis de textura por resonancia magnética en 119 perros]. Veterinary Radiology & Ultrasound, 62(4), 445-454. <https://doi.org/10.1111/vru.12962>
- Yitbarek, D., & Dagnaw, G. G. (2022). Application of Advanced Imaging Modalities in Veterinary Medicine: A Review [Aplicación de modalidades avanzadas de imagenología en medicina veterinaria: una revisión]. Veterinary Medicine (Auckland, N.Z.), 13, 117-130. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S367040>
- Yoon, Y., Hwang, T., & Lee, H. (2018). Prediction of radiographic abnormalities by the use of bag-of-features and convolutional neural networks [Predicción de anomalías radiográficas mediante el uso de bolsas de características y redes neuronales convolucionales]. Veterinary Journal (London, England: 1997), 237, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.009>