

#profesión Veterinaria

AÑO 27
Nº 106
JUL 26-OCT26

Comprometidos con la salud de todos

Vet4Vets

PLAN DE MEJORA LABORAL Y PROFESIONAL
DEL SECTOR DE ANIMALES DE COMPAÑÍA

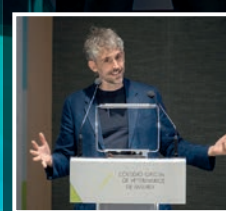


EL PLAN DE MEJORA DEL SECTOR DE ANIMALES DE COMPAÑÍA, AVANZA

Editado por:



COLEGIO OFICIAL
DE VETERINARIOS
DE MADRID



Entrevista a
Víctor Algra



Enfermedad
por
Hantavirus,
una zoonosis
emergente



Guía para la
detección del
maltrato animal



msa

master en seguridad alimentaria



COLEGIO OFICIAL
DE VETERINARIOS
DE MADRID

Formando especialistas que marcan la diferencia

Descárgate el programa



Incluye
iPad

100%
formación presencial
150 profesores expertos

90%
de
empleabilidad

750 hrs. lectivas ✓
350 hrs. de prácticas ✓
3 becas disponibles ✓

INSCRIPCIÓN ABIERTA · PLAZAS LIMITADAS
Posibilidad de **financiación** y
de pago fraccionado

INFORMACIÓN Y CONTACTO

Secretaría: Tel. 91 411 20 33

Admisión: 676 465 837

admisión_msa@colvema.org

www.colvema.org

www.masterenseguridadalimentaria.com

EN COLABORACIÓN CON:



UAX
Universidad
Alfonso X el Sabio



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE DERECHOS SOCIALES, CONSUMO
Y AGENDA 2030



PATROCINADORES



AHORRAMAS



SUMARIO

6

ENTREVISTA VÍCTOR ALGRA

El colegiado madrileño y divulgador Víctor Algra ha publicado recientemente el libro "Animales de ciudad", una novela que nace de su experiencia del día a día en la clínica de animales de compañía.



ZOONOSIS

En 2026 se notificó uno de los brotes de hantavirus más relevantes de los últimos años. El enfoque One Health resulta esencial para una vigilancia y control eficaces de las infecciones por hantavirus, según nos explica el equipo de VISAVET en unos de los trabajos que publicamos en este número.

09



48



ACTIVIDADES

Presentamos en la sede colegial la Guía para la Detección del Maltrato Animal, una herramienta útil, rigurosa y práctica y cuya aportación puede resultar decisiva para proteger a los animales y prevenir otro tipo de violencias.

- 02 Próxima edición del Master en Seguridad Alimentaria
- 05 Editorial
- 20 Huella ambiental de ganadería y retos para una producción sostenible
- 30 Abordaje clínico de las mordeduras de víboras a perros en España
- 38 El cáncer: una enfermedad genética
- 45 El presidente Felipe Vilas, distinguido con la Cruz al Mérito Militar con distintivo blanco
- 46 COLVEMA forma a una nueva promoción de expertos en Seguridad Alimentaria
- 48 Presentada en la sede colegial la Guía para la detección del maltrato animal

- 50 COLVEMA y AMVAC lideran el plan de mejora laboral y profesional del sector de animales de compañía
- 52 Renovado el acuerdo de prácticas para estudiantes de Veterinaria con la Universidad Complutense.
- 54 Entrevista a Pedro J. Garcia, veterinario y poeta
- 55 El tratado de pandemias
- 65 Imagen médica en veterinaria e investigación
- 80 Edición genética porcina
- 95 Ganadería, biodiversidad y patógenos



PROFESION

Nuestra portada acoge la presentación en el congreso de PROPET del Plan de Mejora Laboral y Profesional del Sector Clínico de Animales de Compañía, una iniciativa estratégica que busca promover cambios estructurales para fortalecer el ejercicio profesional de los veterinarios clínicos en España.

SEGURO DE VIDA

COLEGIADOS COLVEMA



DISEÑADO PARA VETERINARIOS

Protección para ti y para tu familia.

CONSULTA TU PRECIO
EN 5 SEGUNDOS



SI TIENES 40 AÑOS
59,82€
anual



100.000€
Fallecimiento



100.000€
Invalidez
Permanente



Condiciones
exclusivas para
colegiados



ASEGURADORES DEL ILUSTRE COLEGIO
OFICIAL DE VETERINARIOS DE MADRID



976 210 710



www.kalibo.com



info@kalibo.com



Felipe Vilas

Presidente del Colegio de
Veterinarios de Madrid

PLAN DE MEJORA

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid y la Asociación Madrileña de Veterinarios de Animales de Compañía (AMVAC) hemos puesto en marcha el Plan de Mejora Laboral y Profesional del Sector de Animales de Compañía (Vet4Vets), una iniciativa estratégica que nace con la vocación de fortalecer la profesión, y en particular, el sector clínico veterinario, con propuestas de mejora y progreso para todo el colectivo.

Los profundos cambios experimentados por el sector durante los últimos años han puesto de manifiesto la necesidad de avanzar hacia un modelo profesional más sólido, sostenible y adaptado a la realidad diaria de quienes desarrollan su labor en centros y clínicas veterinarias.

Todo los indicadores señalan que el mercado va a seguir creciendo y, ahora, el principal reto del sector es la evolución y mejora de la propia profesión en todos los aspectos, como demanda la experiencia diaria de los compañeros. Estamos ante sector en expansión y con un gran potencial, pero también ante una profesión que necesita ser escuchada y reconocida y que reclama mayor calidad del empleo y de desarrollo profesional.

La realidad de muchos veterinarios clínicos, con condiciones laborales muy precarias y demasiados abandonos, exige soluciones sostenibles e inspiradoras, capaces de retener el talento veterinario. La presión de un mercado cada vez más competitivo, la evolución de un sector con mayor peso del empleo por cuenta ajena, las expectativas de los nuevos profesionales y la necesidad de garantizar una correcta salud mental, hacen imprescindible impulsar medidas que aporten valor real y generen un impacto duradero.

Por ello, el Plan, que pretende poner en marcha acciones operativas que mejoren la situación, necesita la intervención de asociaciones, sindicatos, empresarios, facultades, colegios profesionales... para tener un concimiento más preciso de su posición. Solo mediante el diálogo permanente con los veterinarios, las clínicas, las empresas, las instituciones y el resto de los agentes implicados será posible diseñar una hoja de ruta compartida que responda de forma eficaz a las necesidades presentes y anticipe las del futuro.

Desde COLVEMA queremos hacer un llamamiento a toda la profesión para participar activamente en esta iniciativa y ponerle voz a sus reivindicaciones en la gran encuesta nacional que hemos elaborado y difundido entre los veterinarios de todo el país. La construcción de un sector más fuerte, más unido y mejor preparado es una responsabilidad colectiva. Solo con la implicación de todos podremos avanzar hacia un futuro en el que el talento veterinario encuentre el reconocimiento, las oportunidades y las condiciones que merece.

EDITA

Ilustre Colegio Oficial
de Veterinarios de Madrid
C/ Maestro Ripoll, 8
Tel.: 91 411 20 33
Fax: 91 561 05 65
e-mail: veterinariamadrid@colvema.org
web: www.colvema.org

DIRECTOR

Fernando Asensio Rubio

REDACTOR JEFE

Julio Díez García

FOTOGRAFÍA

Rodrigo Pérez Castaño

COLABORAN EN ESTE NÚMERO

Sergio González
Aurelio F. Malo
Jullio Álvarez
Nerea García
Raquel Patrón
Mercedes Martínez
Noemí Jurado
Bárbara Marín Maldonado
Nicolas Aradilla
Sebastián Sánchez Fortún
Isabel Buño
Raquel Fernández
Carolina Martínez
Joaquín Gadea
Celia Piñeiro
Sergio Navarro
M^a Dolores Barcelo
Amando Quintero
Sara Crespo
Rafael Martínez
Carmen Matás
Alberto Perelló
Alberto Cique
David Pérez-Benito
Maria de la Jara
Felipe Maestre
Patricio López
Juan José Vaquero

ADMINISTRACIÓN

Ilustre Colegio Oficial
de Veterinarios de Madrid
C/ Maestro Ripoll, 8

DISEÑO E IMPRESIÓN

LUMIMAR, S.L.-CGA, S.L.
Ctra. Torrejón a Ajalvir, km. 5,5
Pol. Ind. Ramarga, 28864 Ajalvir
(Madrid)
Tel.: 91 887 47 76

DIFUSIÓN NACIONAL

Depósito Legal:
M-1189-1988
ISSN 2253-7244



VICTOR ALGRA

Veterinario y divulgador

“Invertir en comunicar mejor lo que hacemos, es invertir en que perciban mejor nuestro trabajo y que la veterinaria sea valorada con la importancia que merece”

¿De dónde nace la idea de escribir *Animales de ciudad*?

La idea de esta novela nace del día a día de la clínica veterinaria, un entorno en el que se mueven los tres personajes principales y desde el que nos invitan a reflexionar sobre el mundo animal que nos rodea. Sus historias se entrelazan con un fuerte componente autobiográfico para abordar diversas tramas que exploran una realidad a menudo olvidada: no estamos

solos. El ser humano es un animal más que comparte espacio con una inmensa diversidad de seres que permanecen invisibles, pero cuya presencia nos acompaña.

¿Qué reacción te gustaría provocar en el lector?

Me gustaría que el lector experimentase un cambio de mirada y que, tanto si convive con animales de forma directa como si no, fuese más consciente de nuestra posi-

ción en el mundo y de las múltiples interacciones que tenemos con otras especies, interacciones en las que hay miles de veterinarios trabajando día a día para que sean seguras y beneficiosas para todos.

¿Crees que lo van a entender igual los veterinarios que el resto de lectores?

Lo cierto es que los comentarios y mensajes que me están llegando de los lectores son tanto de vete-

rinarios como de no veterinarios y todo ellos empatizan, se emocionan y se sienten reflejados en la novela. En este sentido creo que tanto el público general como los veterinarios podrán disfrutarla y entenderla, aunque lo harán desde lugares diferentes porque cada uno de ellos se verá reflejado en personajes distintos.

Las historias que más me han marcado son aquellas que ofrecían una visión panorámica, mostrando un dibujo completo de los sucesos. En mi experiencia personal las buenas novelas

rentables, y que poco tienen que ver con las necesidades reales de los animales.

¿Qué papel debe tener el veterinario en la educación de los tutores más allá del diagnóstico y el tratamiento?

Actualmente, se está produciendo un incremento alarmante de diversos perfiles y productos que ofrecen servicios de dudosa credibilidad a tutores y es ahí donde el veterinario tiene que seguir siendo la figura clave de referencia más allá del diagnóstico y el tratamien-

“Lo que he buscado con novela *Animales de ciudad* es lanzar preguntas para que cada lector elabore sus propias respuestas.”

invitan a reflexionar, sin imponerlo, para que cada uno saque sus propias conclusiones y eso es lo que he buscado con *Animales de ciudad*: lanzar preguntas para que cada lector elabore sus propias respuestas.

¿Humanizamos demasiado a los animales o estamos aprendiendo a comprenderlos mejor?

Entre la humanización y el compromiso por el bienestar de los animales a veces la línea es delgada pero es importante aprender a diferenciarla. En mi día a día como clínico, lo que percibo es que estamos aprendiendo a comprenderles mejor, entenderles e interesarnos por sus necesidades.

La humanización, a mi modo de ver, está muy relacionada con el potente potencial económico que tienen las mascotas y hay muchas líneas de negocio abiertas intentando crear necesidades absolutamente inútiles, pero muy

to. En ese sentido algunos ejemplos como la medicina preventiva, la nutrición o el comportamiento son ramas imprescindibles de nuestro trabajo y las recomendaciones en estas áreas deben abordarse también en las consultas o derivar a profesionales veterinarios especialistas en ellas.

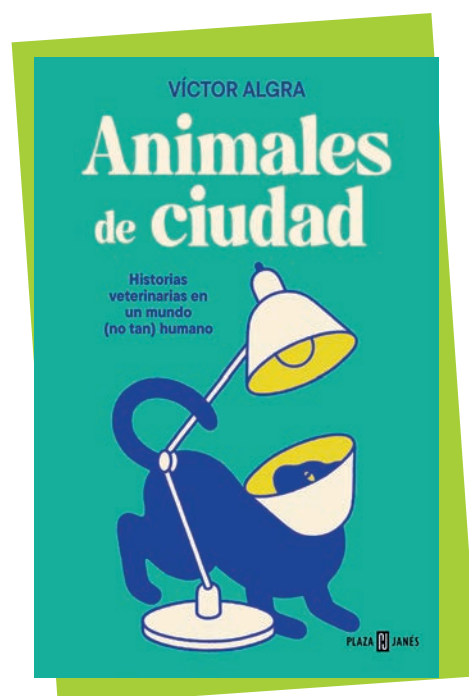
La sociedad valora cada vez más a los animales, pero muchos veterinarios sienten que su trabajo sigue estando poco reconocido. ¿Existe una brecha entre el “amor” a los animales y el reconocimiento real de la profesión?

Creo que la respuesta puede variar enormemente en función de quien la responda. En mi día a día, con mis clientes en consulta, veo que ese amor está ligado al reconocimiento de la profesión y valoran enormemente la calidad profesional de los servicios veterinarios.

Dicho esto, sí existe una brecha a nivel legislativo muy importante. Aunque contamos con una ley de bienestar animal, se siguen gravando los servicios veterinarios con un 21% de IVA y, pese a estar plenamente integrados en la ley de ordenación de profesiones sanitarias, en muchas ocasiones se sigue legislando a espaldas de la profesión y sin escucharnos en temas de crucial importancia para el ejercicio clínico y la salud de la población general, como ha sucedido con el RD666/2023.

Uno de los temas que se tratan en el libro es el desgaste psicológico, especialmente en situaciones de sufrimiento animal, eutanasia y duelo. ¿Cómo se aprende a gestionarlas emocionalmente?

Gestionar esas situaciones siempre es un reto complicado. En mi opinión el problema es multifactorial, muy complejo y no tengo una respuesta clara al respecto. A mí, personalmente, para combatir el desgaste psicológico me ayuda pensar que los veterinarios somos





Victor Algra, maestro de ceremonias de la IX edición de los premios Bienestar Animal de COLVEMA.

humanos y que la medicina tiene un límite que no podremos curar... en este sentido una eutanasia y cortar un sufrimiento también es un acto muy valiente, bondadoso y parte de nuestra medicina. Un gran poder exige una gran responsabilidad y este gran poder, por desgracia, también va ligado a nuestro día a día.

¿Crees que sigue costando hablar de salud mental dentro de la profesión? ¿Qué debería cambiar para mejorar la salud mental de los veterinarios y evitar el burnout y la fatiga por compasión?

Por suerte hablar de salud mental cada vez está más normalizado y es algo en lo que se está trabajando de forma muy proactiva dentro del sector. Creo que vamos por el buen camino.

La fatiga por compasión y el burnout durante años nos han acompa-

ñado y, a mi modo verlo, esto va fuertemente ligado a que hemos asumido que la responsabilidad de la salud de nuestros pacientes es exclusivamente nuestra. Algo que para mí marcó un antes y un después fue empezar a pensar que los principales responsables de la salud de las mascotas son sus tutores y los veterinarios ayudamos a quienes se quieren dejar ayudar. Para mí este pequeño cambio de percepción fue decisivo para no cargar todo el peso sobre mis hombros.

Teniendo en cuenta tu faceta como divulgador ¿Crees que la profesión debería hacer un esfuerzo mayor para acercarnos a la sociedad con rigor a través de las redes sociales y los medios?

Sí, creo que esto es imprescindible porque el desconocimiento de nuestro trabajo llega, incluso, a personas que legislan sobre ella.

Hay una grieta inmensa entre el trabajo que realizamos los veterinarios para la sociedad y la percepción que se tiene del mismo. En este punto, tenemos que hacer un ejercicio de autorreflexión para ver cómo hemos llegado a esta situación, asumir nuestra responsabilidad e intentar revertirla. Invertir en comunicar mejor lo que hacemos, es invertir en que perciban mejor nuestro trabajo y que la veterinaria sea valorada con la importancia que merece.

¿Qué mensaje lanzarías a los jóvenes veterinarios?

Tenéis una carrera fantástica, apasionante y muy completa. La veterinaria es difícilísima, altamente exigente y con ella podéis hacer grandes cosas por los animales y por toda la sociedad. Disfrutad del camino.

¿Habrá más libros de Víctor Algra?

Definitivamente sí, todavía queda mucho que contar.

Enfermedad por Hantavirus: una zoonosis emergente

**SERGIO GONZÁLEZ¹, AURELIO F. MALO², JULIO ÁLVAREZ^{1,3}
y NEREA GARCÍA^{1,3}.**

¹ Centro Visavet, Universidad Complutense de Madrid.

² Grupo Ecología del Cambio Global y Evolución (GLOCEE). Departamento de Ciencias de la Vida. Universidad de Alcalá.

³ Departamento de Sanidad Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid.

Los hantavirus son virus ARN zoonóticos de distribución casi mundial, mantenidos principalmente en poblaciones de roedores silvestres que actúan como reservorios naturales. En el ser humano, pueden causar dos síndromes clínicos principales: la Fiebre Hemorrágica con Síndrome Renal (FHSR), predominante en Europa y Asia, y el Síndrome Cardiopulmonar por Hantavirus (SCPH), descrito principalmente en América y asociado a una elevada letalidad. La transmisión ocurre fundamentalmente por inhalación de aerosoles contaminados con excreciones de roedores infectados, aunque, en determinadas especies como el virus Andes, se ha documentado transmisión persona a persona. La dinámica ecológica de los reservorios, junto con factores climáticos, ambientales y antrópicos, desempeña un papel clave en la emergencia de brotes. El diagnóstico se basa en técnicas moleculares y serológicas, mientras que el tratamiento continúa siendo principalmente de soporte. La prevención se centra en el control de roedores, la reducción de la exposición ambiental y la vigilancia epidemiológica.

El reciente brote internacional asociado al crucero *MV Hondius* en 2026 ha puesto de manifiesto la relevancia de los hantavirus como zoonosis emergente y la necesidad de reforzar estrategias de vigilancia, diagnóstico precoz y respuesta coordinada bajo un enfoque One Health.

Historia de la enfermedad por hantavirus

Aunque el conocimiento científico de los hantavirus se inicia en las dos últimas décadas del siglo XX, existen referencias históricas de síndromes similares a los provocados por estos virus. Así, se documentaron alteraciones renales y fiebres hemorrágicas en textos médicos chinos de hace mil años, en la Guerra Civil Americana como “nefritis de guerra”, en soldados ingleses en la Primera Guerra Mundial (asociadas a nefropatía epidémica) y en hasta 16.000 casos en la Segunda Guerra Mundial en Europa. Aunque no se confirmaron en su momento, estos cuadros clínicos podrían haber sido causados por hantavirus.

Las primeras descripciones clínicas modernas del hantavirus surgieron en los años 30-40, cuando médicos soviéticos y japoneses identificaron una enfermedad renal en la frontera con Manchuria. En 1942, se detectaron miles de casos entre las tropas japonesas. Ambos países concluyeron que se trataba de una patología infecciosa, probablemente viral, e incluso provocaron la enfermedad en voluntarios humanos mediante inyecciones, aunque inicialmente no pudieron reproducirla en animales de experimentación.

Durante la Guerra de Corea, más de 3.000 soldados de la ONU presentaron una fiebre hemorrágica de alta mortalidad (cercana al 10%), lo que impulsó su estudio como “fiebre hemorrágica de Corea” (FHC). Se intentaron cultivos en células humanas y animales, sin éxito. Tras el fin del conflicto, la enfermedad apareció en soldados coreanos y luego en las poblaciones urbanas del sur.

En paralelo a los eventos en Corea, en Suecia se describieron casos de nefropatía epidémica, una variante menos letal, y en Rusia también se observaron fiebres he-

morrágicas. Aunque las manifestaciones eran similares en Europa del Este y en Escandinavia, no se comprendía su origen común. Fue en 1962 cuando Gajdusek sugirió que todas podrían deberse a un mismo grupo de agentes.

En 1976, se aisló el virus Hantaan en un roedor asiático (*Apodemus agrarius*), lo que permitió el desarrollo de técnicas serológicas. Esto permitió identificar que la fiebre hemorrágica epidémica china, la FHC, y las fiebres de Tula, Yaroslavl y la nefropatía escandinava compartían agentes etiológicos relacionados, aunque no idénticos al virus Hantaan, lo que aclaró que todas estas enfermedades tenían un origen común.

Posteriormente, se aisló el virus Puumala en el topillo rojo (*Myodes glareolus*), causante de la nefropatía epidémica en Escandinavia y Rusia. Así, se detectaron virus relacionados en el centro y

norte de Europa. En los Balcanes y la URSS se hallaron dos patrones serológicos: Hantaan y Puumala. Más tarde, en 1982 en Asia, se identificó el virus Seúl en ratas (*Rattus norvegicus* y *Rattus rattus*) responsable de formas menos graves y de brotes en laboratorios de varios países.

En Yugoslavia, en 1992, se identificaron los virus Belgrado (en pacientes) y Dobrava (en *Apodemus flavicollis*), que luego se unificaron en un único virus: Dobrava-Belgrado. En América se hallaron virus relacionados, pero sin enfermedad humana comprobada. Las diversas enfermedades recibieron distintos nombres lo-

cales hasta que en 1982 la OMS recomendó unificar todos como Fiebre Hemorrágica con Síndrome Renal (FHSR).

En 1993, en la convergencia de 4 estados (Arizona, Colorado, Utah y Nuevo México) en EE. UU., surgió una epidemia mortal por un nuevo hantavirus, con síntomas respiratorios, diferente a los anteriores. El virus "sin nombre", fue asociado al Síndrome Pulmonar por Hantavirus (SCPH) y posteriormente a *Peromyscus maniculatus* como reservorio principal. La expansión de la enfermedad a zonas fuera del área de distribución de ese roedor impulsó nuevas investigaciones que iden-

“ Aunque la ciencia logró ponerles nombre recientemente, los hantavirus posiblemente lleven siglos causando enfermedad en el hombre.”

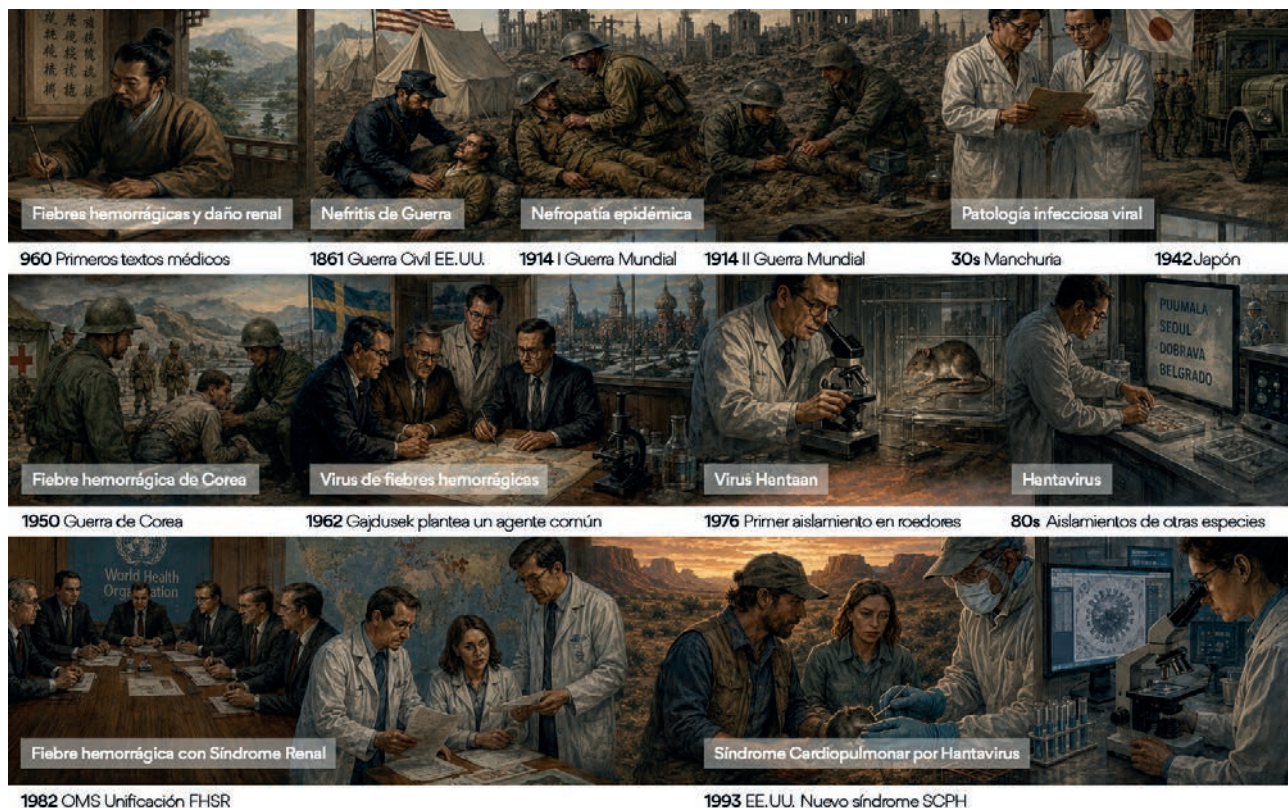


Figura 1: Historia de la enfermedad por hantavirus. IA generado por los autores.

tificaron más hantavirus y sus reservorios.

Etiología

Los hantavirus son un grupo de virus ARN pertenecientes a la familia *Hantaviridae* que son transmitidos principalmente por roedores, que actúan como reservorios naturales. El ser humano constituye un hospedador accidental y puede desarrollar cuadros clínicos graves, potencialmente mortales.

Hasta la fecha, los hantavirus zoonóticos descritos pertenecen al género *Orthohantavirus*, siendo sus especies más relevantes clasificables según su distribución geográfica y el síndrome clínico predominante en el hombre.

Orthohantavirus euroasiáticos

Producen la denominada Fiebre Hemorrágica con Síndrome Renal (FHSR). Destacan estas 3 especies:

- Virus Puumala (PUUV): Distribuido principalmente en Europa occidental, central y Rusia (al oeste de los Montes Urales). Su principal reservorio es el topillo rojo europeo (*M. glareolus*). Produce una forma leve o moderada de FHSR, que suele cursar con mortalidad baja (<1%).

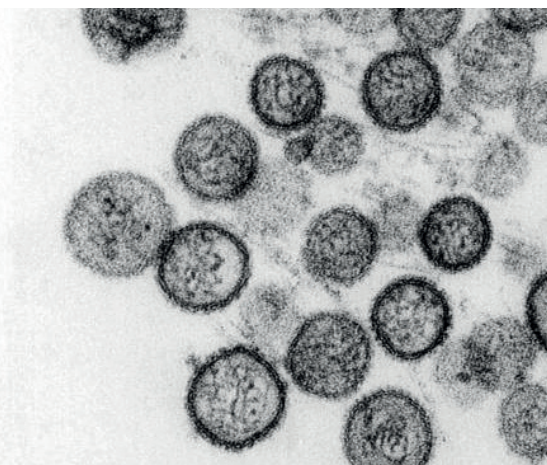


Figura 2: Partículas víricas del Virus Sin Nombre (SNV). Microscopía electrónica de transmisión. CDC.

“ Los orthohantavirus euroasiáticos, como el virus Puumala causan la denominada Fiebre Hemorrágica con Síndrome Renal (FHSR), mientras que los orthohantavirus americanos, como el virus Andes, producen el Síndrome Cardiopulmonar por Hantavirus (SCPH). ”

- Virus Dobrava-Belgrado (DOBV): Distribuido principalmente en Europa del este y región de los Balcanes. Sus reservorios son roedores del género *Apodemus*, especialmente el ratón leonado (*A. flavicollis*) y el ratón listado, (*A. agrarius*). Produce formas moderadas o graves de FHSR, con una mortalidad más elevada (hasta 10% en algunas variantes).

- Virus Hantaan (HTNV): Presente principalmente en Asia oriental, con especial incidencia en China y península de Corea, así como áreas del este de Europa. Su reservorio principal es el ratón listado (*A. agrarius*). Produce formas graves de FHSR con una mortalidad que puede alcanzar el 15%.

Orthohantavirus americanos

Causan el Síndrome Cardiopulmonar por Hantavirus (SCPH). Destacan estas 2 especies:

- Virus Andes (ANDV): Distribuido en Sudamérica, principalmente en el cono sur (Argentina, Chile). Su reservorio principal es el ratón colilargo (*Oligoryzomys longicaudatus*). Es la única especie de hantavirus con transmisión documentada de persona a persona. Su letalidad es muy alta, pudiendo alcanzar hasta el 40%.

- Virus Sin Nombre (SNV): Distribuido en Norteamérica, principalmente en Estados Unidos y Canadá. Tiene como reservorio principal el ratón ciervo (*P. maniculatus*). Produce SCPH con elevada letalidad

(hasta un 50%), asociada a insuficiencia respiratoria aguda.

Epidemiología

Los hantavirus presentan una distribución prácticamente global, asociada a la distribución geográfica de sus reservorios. Los reservorios naturales son principalmente roedores silvestres, en los que los hantavirus producen infecciones persistentes y generalmente asintomáticas con eliminación viral por orina, heces y saliva; la principal vía de transmisión es la inhalación de aerosoles contaminados con estas excreciones. La transmisión por contacto directo con roedores o sus mordeduras es menos frecuente y la transmisión alimentaria es excepcional.

Las ratas (*R. norvegicus* y *R. rattus*), que tienen una distribución mundial, también se han descrito como hospedadores de hantavirus, principalmente del virus Seoul (SEOV), responsable de brotes de FHSR humana en ambientes urbanos y periurbanos e importancia relevante en China.

Se han detectado hantavirus o virus relacionados con los hantavirus en otros vertebrados, como musarañas, topes, murciélagos, reptiles y peces, pero la relevancia zoonótica de muchos de estos linajes sigue siendo incierta. La detección viral o serológica en una especie no implica necesariamente que sea un reservorio competente.

En humanos, que son hospedadores accidentales, la infección pue-



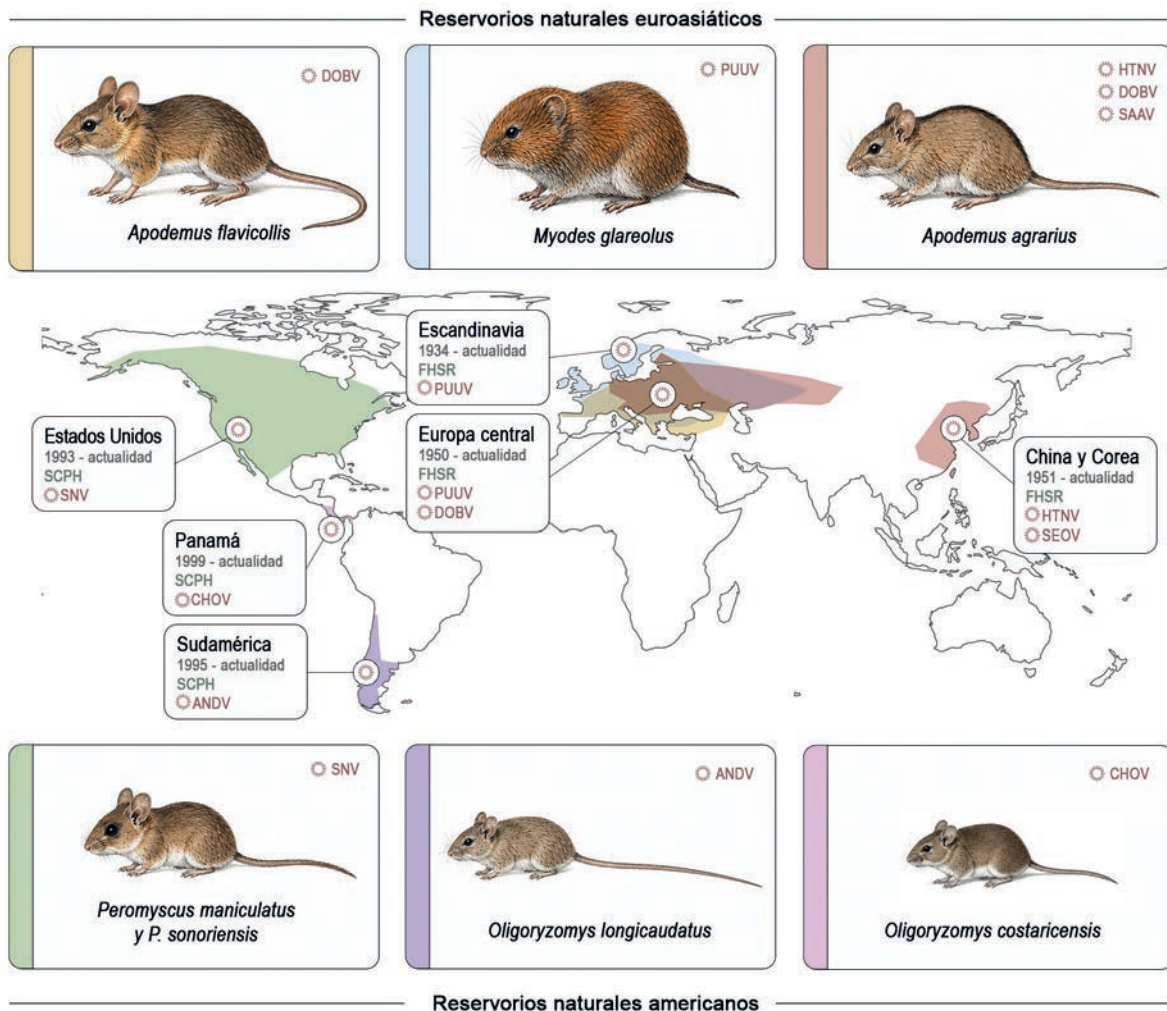


Figura 3: Distribución de reservorios y casos de enfermedad en personas por hantavirus. Visavet.

de producir FHSR o SCPH sin mantener el ciclo, con la excepción del virus Andes donde está documentada la transmisión entre personas que han mantenido un contacto prolongado y estrecho.

Ecología del hospedador roedor

Las interacciones entre roedores y patógenos son bidireccionales; las enfermedades regulan sus poblaciones, y los patógenos influyen en su densidad, aunque se piensa que los patógenos por sí mismos no tienen la capacidad de determinar la dinámica poblacional de los roedores. Por otro

lado, los tamaños poblacionales de las especies de roedores hospedadores de patógenos sí parecen determinar la capacidad de los patógenos de causar brotes epidémicos en poblaciones humanas.

La dinámica de las infecciones difiere significativamente entre hospedadores de patógenos de trans-

misión directa u hospedadores de patógenos de transmisión vectorial. En el primer caso, que coincide con el de los hantavirus, la dispersión de la enfermedad depende de la densidad de las poblaciones de roedores. Sin embargo, en el segundo caso, cuando no existe transmisión directa, la dispersión de la enfermedad depende de la proporción de individuos infecta-

“ Los hantavirus presentan una distribución mundial, asociada a la distribución geográfica de sus reservorios naturales, los roedores silvestres.”

“ En el caso de los hantavirus, la dispersión de la enfermedad depende de la densidad de las poblaciones de roedores, que influye en las dinámicas del hospedador y del patógeno.”

dos (dispersión dependiente de frecuencia). En el caso de los hantavirus, la dependencia de la densidad del roedor influye notoriamente en las dinámicas del hospedador y del patógeno. Los efectos positivos de la densidad de roedores sobre la transmisión del patógeno en esos hospedadores se han demostrado en el virus Puumala (*M. glareolus*) y el virus Sin nombre (*P. maniculatus*). En cualquier caso, las investigaciones actuales tienden a reconocer que la relación es más compleja y consideran más aspectos como la dinámica de los ciclos poblacionales de los roedores, así como la velocidad del incremento poblacional o la severidad de las caídas poblacionales de hospedadores.

A modo de resumen, y aunque se necesitan más investigaciones empíricas que establezcan las relaciones de causa-efecto entre varios factores ecológicos impli-

cados, sabemos que hay factores que se asocian positiva o negativamente con la dispersión de la enfermedad. Entre los factores que tienden a frenar la dispersión de la enfermedad destacan (i) la duración de los valles poblacionales en los hospedadores o (ii) la alta diversidad de la comunidad de roedores. Entre los factores con efectos positivos en la dispersión de los patógenos, tendríamos (i) la densidad poblacional, (ii) la velocidad de crecimiento poblacional del hospedador, (iii) la alta capacidad de dispersión del roedor, (iv) los combates entre congéneres de la misma especie, (v) la presencia de nidos comunitarios de roedores o (vi) la alta calidad del hábitat.

Dado que, en el caso de los hantavirus, la transmisión a poblaciones humanas parece depender de la abundancia de hospedadores

infectados, los factores positiva y negativamente asociados a la dispersión del patógeno en la población del roedor hospedador se asociarán también positiva y negativamente con la probabilidad de emergencia de brotes epidémicos en poblaciones humanas.

Los brotes en personas se han asociado a la acción de varios factores ecológicos como el clima (temperatura, lluvia, precipitación, humedad) y la disponibilidad de alimento (años de alta producción de semillas), que favorecen cambios en la densidad de roedores (umbral mínimo para mantener el virus), lo que, ligado a la existencia de cambios en el uso del suelo (deforestación, agricultura, urbanización), pueden favorecer un aumento en la probabilidad de interacción entre el ser humano y roedores infectados.

A nivel global, en términos taxonómicos, el mayor número de especies de roedores hospedadoras de hantavirus se encuentra en América del Sur (18 géneros) y en América del Norte (15 géneros), con más de cuarenta especies en cada caso. En Europa, el número de especies de roedores hospedadores

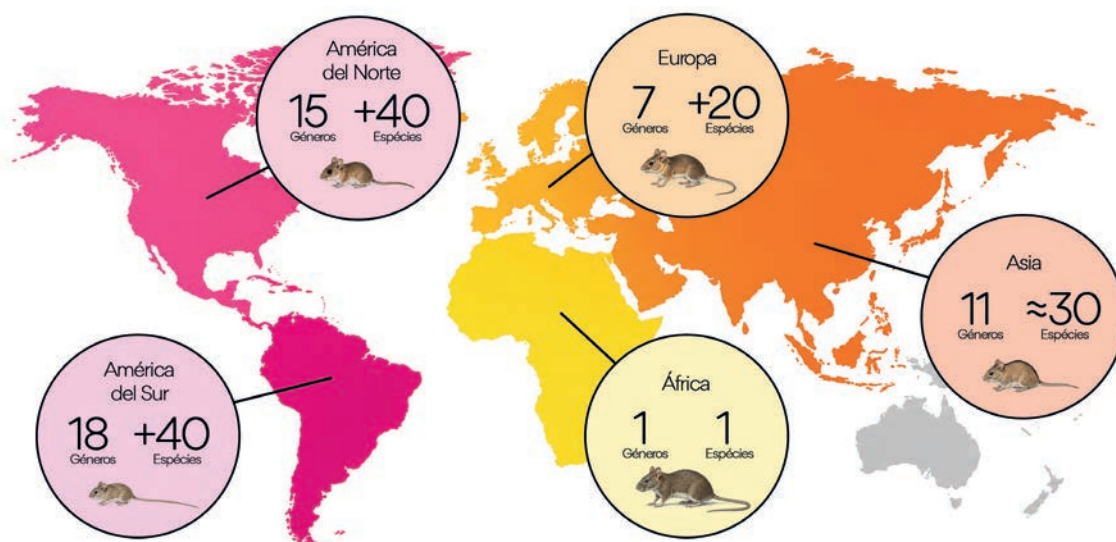


Figura 4: Distribución global de géneros y especies de roedores hospedadoras de hantavirus.

supera la veintena (7 géneros) y en Asia (11 géneros) casi alcanza la treintena. En África la presencia resulta testimonial por el momento con *Rattus* como el único género hospedador (Figura 4).

Factores de riesgo

Como principales factores de riesgo asociados a la aparición de casos de enfermedad por hantavirus destacan la realización de actividades rurales o forestales, actividades en entornos naturales y la limpieza de espacios cerrados contaminados (figura 5).

La investigación epidemiológica en el caso de un brote debe incluir la identificación de la fuente de exposición (vivienda, trabajo, actividades de riesgo recreativas...), la identificación de especies de roedores presentes en el entorno, el estudio de contactos con seguimiento durante seis semanas y la vigilancia activa de la sintomatología clínica. La tabla 1 muestra las distintas definiciones de caso.

Tabla 1: Definiciones de caso de enfermedad por hantavirus.

Caso sospechoso	Caso probable	Caso confirmado
Caso que presenta fiebre $\geq 38^{\circ}\text{C}$ con síntomas respiratorios o renales y antecedente de exposición a roedores en las 6 semanas previas.	Caso sospechoso con hallazgos clínicos compatibles como trombocitopenia o hemoconcentración, creatinina elevada (FHSR) o infiltrados pulmonares bilaterales (SCPH).	Caso confirmado mediante RT-PCR o serología específica

Patogenia y clínica de la enfermedad

Los hantavirus pueden causar dos síndromes principales en el ser humano:

- Síndrome cardiopulmonar por hantavirus (SCPH): predomina en América y se caracteriza por una alta letalidad (30–50%). Inicialmente cursa con fiebre, mialgias y malestar general, dando lugar después a una fase avanzada con edema pulmonar, insuficiencia respiratoria aguda y shock.
- Fiebre hemorrágica con síndrome renal (FHSR): predomina en

Europa y Asia. Se caracteriza por afectación renal aguda, alteraciones hemorrágicas y distintos grados de insuficiencia renal.

El periodo de incubación oscila entre 1 y 8 semanas (siendo lo más frecuente 2-4 semanas).

En cuanto al mecanismo fisiopatológico, la lesión principal se produce por disfunción endotelial e incremento de la permeabilidad capilar mediado por la respuesta inmunitaria del hospedador. Como consecuencia, pueden desarrollarse hipotensión, edema pulmonar, shock y fracaso renal.

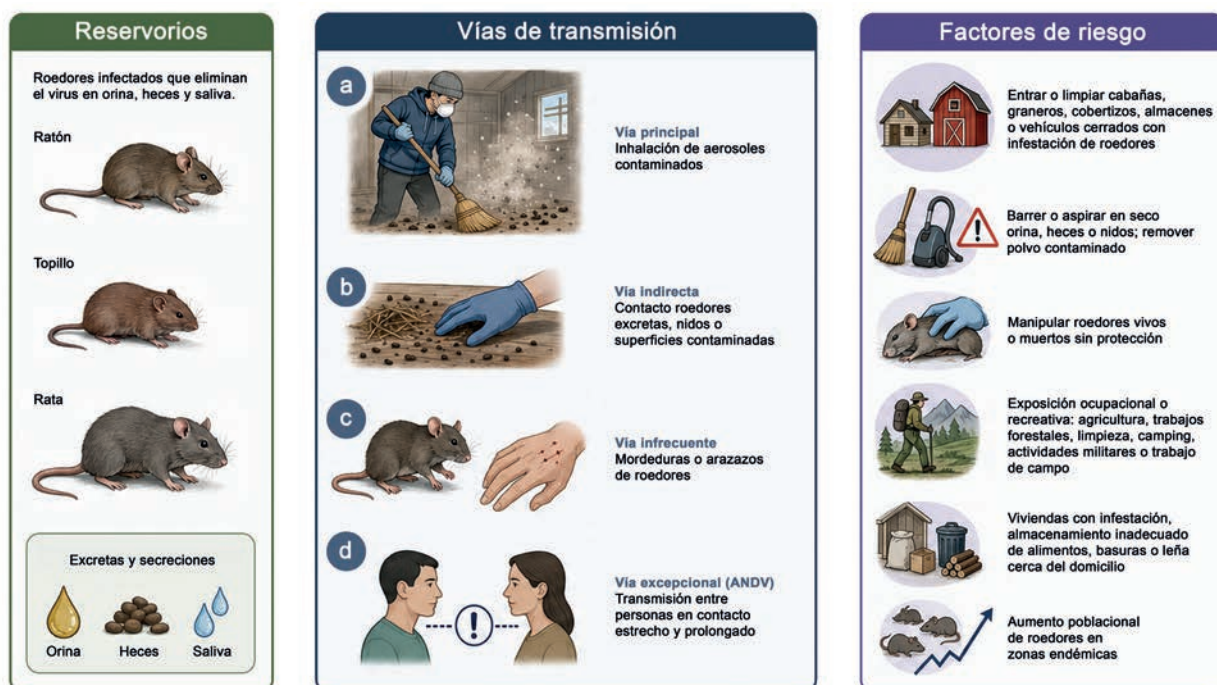


Figura 5: Vías de transmisión y factores de riesgo. Visavet.

“La investigación epidemiológica debe incluir la identificación de la fuente de exposición, la identificación de roedores en el entorno, el estudio de contactos con seguimiento durante seis semanas y la vigilancia de la sintomatología.”

Tratamiento

Actualmente no existe un tratamiento antiviral específico universalmente aceptado para la infección por hantavirus. El tratamiento principal es el de soporte e incluye monitorización clínica, control hidroelectrolítico, oxigenoterapia, soporte ventilatorio, manejo hemodinámico y soporte renal (incluyendo diálisis si fuera necesario). El manejo clínico debe siempre ir acompañado de medidas adecuadas de aislamiento y bioseguridad.

Diagnóstico

El diagnóstico de la infección por hantavirus es fundamentalmente laboratorio y debe basarse en el uso de técnicas específicas. Los hallazgos clínicos y analíticos pueden orientar el diagnóstico.

Tipos de muestras

Las principales muestras utilizadas son sangre (suero y/o plasma o sangre total), orina (especialmente útil en FHSR) y tejidos (pulmón, riñón, bazo, u otros órganos en casos graves o fallecidos). El momento óptimo de toma de muestras varía según la técnica analítica:

- PCR: especialmente útil durante la fase aguda temprana (5–7 días generalmente) tras el inicio de síntomas (fase virémica).
- Serología: a partir del quinto día de enfermedad (para IgM), y muestras pareadas a los 10–14 días (para IgG).

Técnicas de diagnóstico específico

- Detección molecular mediante RT-PCR o serología.

• Detección molecular, RT-PCR: La reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa es la técnica de elección en fase aguda, ya que detecta ARN viral y por tanto tiene mayor rendimiento durante la fase inicial febril o virémica. Tiene una alta sensibilidad y especificidad y permite una confirmación precoz antes del desarrollo de la respuesta inmune humoral. La limitación que tiene esta técnica es que la viremia es transitoria, por lo que una RT-PCR negativa no excluye la infección si la clínica es compatible.

• Diagnóstico serológico: Detección de anticuerpos IgM e IgG mediante técnicas como ELISA, Inmunofluorescencia indirecta (IFI) o neutralización viral (confirmatoria en laboratorios de referencia). Estas técnicas son utilizables en la fase tardía. Interpretación de la técnica:

- ▶ IgM positiva: infección aguda reciente
- ▶ Seroconversión de IgG en muestras pareadas: confirmación diagnóstica
- ▶ Presencia aislada de IgG: indicativa de infección pasada.

Un caso se considera confirmado cuando se cumple al menos uno de los siguientes supuestos: detección de ARN viral por RTPCR en

sangre o tejidos; IgM específica positiva frente a hantavirus; o seroconversión de IgG en muestras pareadas (incremento ≥ 4 veces).

Técnicas complementarias

La inmunohistoquímica en tejidos y el aislamiento viral en laboratorios de alta seguridad pueden ser técnicas complementarias para el diagnóstico.

Los hallazgos analíticos no son específicos, pero pueden orientar indirectamente al diagnóstico:

- Trombocitopenia.
- Hemoconcentración (hematocrito elevado).
- Leucocitosis.
- Alteración de función renal: creatinina elevada, proteinuria y microhematuria.
- Elevación de LDH y transaminasas.
- Infiltrados pulmonares bilaterales (SCPH).

Bioseguridad

Las muestras deben manejarse en condiciones de bioseguridad adecuadas, en cabina de seguridad si son potencialmente infecciosas, evitando procedimientos que generen aerosoles y con equipos de protección adecuados.

El nivel de contención requerido dependerá del tipo de muestra y del procedimiento a realizar: las muestras inactivadas pueden manejarse en laboratorios con nivel de bioseguridad 2 (BSL-2), mientras que las muestras potencialmente infecciosas, así como los procedimientos con riesgo de generación de aerosoles o aquellos que impliquen cultivo viral, deben procesarse en instalaciones de nivel de bioseguridad 3 (BSL-3). En todos los casos, el personal



debe emplear medidas de protección adecuadas. Los equipos de protección individual (EPIs) indicados son la mascarilla FFP2 o FFP3, los guantes y la protección ocular.

Vigilancia y control

En muchos países, incluida España, la enfermedad por Hantavirus es de declaración obligatoria urgente y cualquier brote relevante debe ser notificado a la autoridad sanitaria y la OMS, según el Reglamento Sanitario Internacional (RSI 2005), y deben facilitarse los datos para la investigación epidemiológica.

En cuanto a las medidas de control destacan:

Control ambiental

El control ambiental constituye una de las principales estrategias preventivas frente a la transmisión de hantavirus, ya que reduce la exposición humana a reservorios infectados y a sus excretas. Entre las medidas prioritarias, destaca la eliminación y control de poblaciones de roedores en

la acumulación de basura o materiales que puedan servir como refugio o fuente de alimento. Del mismo modo, debe restringirse el acceso de los roedores a alimentos y agua, almacenando los productos en recipientes herméticos y manteniendo unas condiciones higiénicas adecuadas en cocinas, despensas y áreas de almacenamiento.

Limpieza de áreas contaminadas

La limpieza de espacios potencialmente contaminados por excretas de roedores debe realizarse con precauciones específicas para minimizar el riesgo de exposición a partículas virales aerosolizadas. Antes de iniciar cualquier intervención, se recomienda ventilar adecuadamente el área durante al menos 30 minutos para favorecer la dispersión de partículas suspendidas. Debe evitarse en todo momento el barrido en seco o el uso de aspiradoras convencionales, ya que estas prácticas favorecen la aerosolización de partículas contaminadas. En su lugar, las superficies deben humedecerse

de minimizar el riesgo de exposición por vía respiratoria o por contacto con mucosas.

Aislamiento de personas infectadas

Aunque la transmisión persona a persona de los hantavirus es infrecuente y depende de la especie viral implicada, el aislamiento de personas infectadas puede ser necesario en determinados contextos epidemiológicos. Esta medida cobra especial relevancia en infecciones causadas por variantes con potencial de transmisión interpersonal, como el virus Andes. El aislamiento busca reducir el riesgo de propagación, especialmente en entornos hospitalarios o en convivientes estrechos, y debe complementarse con medidas de control de infecciones, vigilancia clínica y seguimiento de contactos cuando esté indicado. Además, el personal sanitario debe utilizar los EPIs adecuados durante la atención a pacientes sospechosos o confirmados.

One Health

El enfoque One Health resulta esencial para una vigilancia y control eficaces de las infecciones por hantavirus, ya que permite integrar la vigilancia humana, animal y ambiental para detectar precozmente cambios ecológicos asociados al riesgo de transmisión:

- **Salud humana:** diagnóstico precoz, manejo clínico, vigilancia epidemiológica y educación en zonas rurales.

- **Salud animal:** monitoreo de poblaciones de roedores e identificación de reservorios.

- **Medio ambiente:** evaluación de cambios ecológicos relacionados con la densidad de roedores o al contacto con las personas (deforestación, urbanización, cambio climático...).

“ Actualmente no existe un tratamiento antiviral específico universalmente aceptado para la infección por hantavirus. ”

áreas domésticas, periurbanas y rurales, mediante programas integrados de desratización y vigilancia. Asimismo, resulta esencial el sellado de viviendas, almacenes y otras construcciones para impedir el acceso de roedores, prestando especial atención a grietas, conductos, desagües y otros puntos de entrada. La correcta gestión de residuos también desempeña un papel clave, evitando

previamente con una solución desinfectante antes de proceder a su limpieza. Entre los desinfectantes recomendados destaca el hipoclorito sódico, empleado a concentraciones adecuadas para la inactivación viral. Durante todo el proceso, es imprescindible utilizar equipos de protección individual apropiados, incluyendo mascarillas FFP2 o FFP3, guantes y protección ocular, con el fin

Prevención

La prevención de la enfermedad por hantavirus se centra fundamentalmente en evitar contacto con roedores y sus excreciones dado que son los reservorios naturales de estos virus. En zonas rurales, el sellado de viviendas y la adecuada gestión de los residuos es importante para el control de la presencia de roedores. Asimismo, es importante la ventilación de espacios cerrados y la limpieza con

equipos de protección, evitando barrer en seco para no producir

aerosoles (Tabla 2).

Tabla 2: principales medidas de prevención de la enfermedad

Prevención a nivel individual	Prevención a nivel comunitario
Evitar contacto con roedores y sus excrementos	Educación sanitaria
No manipular roedores muertos	Control de plagas
Ventilación de espacios cerrados	Mejora de las condiciones de las viviendas
Utilizar equipos de protección en actividades de riesgo	Vigilancia ambiental y epidemiológica continua



Figura 6: Ilustración conceptual generada por los autores con IA.

Brote de 2026

En 2026 se notificó uno de los brotes de hantavirus más relevantes de los últimos años, asociado al crucero *MV Hondius*, con origen en Ushuaia (Argentina) y pasajeros de múltiples nacionalidades. El 2 de mayo de 2026, la OMS fue alertada tras detectarse varios casos de enfermedad respiratoria grave compatibles con infección por hantavirus entre pasajeros y tripulación. Posteriormente, se confirmó la implicación del virus Andes, uno de los pocos hantavirus con capacidad demostrada de transmisión persona a persona.

El buque transportaba aproximadamente 147 personas entre pasajeros y tripulación procedentes de 23 países. A fecha de 27 de mayo de 2026, se habían identificado 13 casos (11 confirmados y 2 probables), incluyendo 3 fallecimientos, lo que situó la letalidad observada en torno al 23%, aunque esta cifra podría sobreestimar la letalidad real al no haberse confirmado todos los casos expuestos.

Este brote generó una importante respuesta internacional coordinada entre autoridades sanitarias nacionales, la OMS, el ECDC y los CDC, incluyendo aislamiento de casos, rastreo de contac-



tos y seguimiento prolongado de pasajeros expuestos durante 42 días, correspondiente al periodo máximo de incubación estimado para infección por virus Andes. El episodio puso de manifiesto la relevancia de la vigilancia internacional y del enfoque One Health, así como la necesidad de mantener capacidad diagnóstica y protocolos de respuesta rápida frente a eventos emergentes de zoonosis con potencial de dispersión global.

Aunque el origen exacto del brote asociado al MV *Hondius* no pudo determinarse con certeza, la principal hipótesis epidemiológica apunta a que el llamado paciente cero, adquirió la infección antes del embarque, probablemente durante una estancia en áreas endémicas del sur de Argentina o Chile, donde circula el virus Andes, endémico en reservorios silvestres como *O. longicaudatus*. La cronología clínica de los primeros casos sugiere que al menos un pasajero embarcó ya en fase de incubación. Posteriormente, la convivencia prolongada en el crucero habría favorecido la apa-

“El diagnóstico de la infección por hantavirus es laboratorial (detección molecular del virus o de anticuerpos). Los hallazgos clínicos y analíticos no son específicos, pero pueden orientar el diagnóstico.”

rición de un clúster de transmisión secundaria entre pasajeros y tripulación. No obstante, algunos modelos epidemiológicos plantean la posibilidad de que más de un individuo embarcara ya infectado, lo que explicaría mejor la magnitud final del clúster.

Conclusiones

Los hantavirus pueden ser agentes causales de una zoonosis cuya emergencia se ve favorecida por factores climáticos y ambientales que, a su vez, impactan la dinámica de infección en su hospedador natural, las diversas especies de roedores que pueden actuar como fuentes del patógeno para las personas. La aparente ausencia de efecto de la infección en los roedores indica una rela-

ción evolutiva estable entre el patógeno y su hospedador natural, mientras que el hecho de que la mayoría de las especies de hantavirus no se transmitan entre humanos limita su impacto en salud pública.

El virus Andes es una excepción a esta regla, dada la existencia de una viremia prolongada y una diseminación sistémica asociada con la presencia de virus infectivo en saliva y fluidos de personas infectadas que posibilitan la transmisión persona a persona en casos de contacto estrecho. Esto, unido a su alta letalidad y la existencia de una ventana de contagio en fase prodrómica, hace necesario la implantación de estrategias de control específicas, distintas a las del resto de hantavirus.

Referencias

- Anderson RM, May RM. Population biology of infectious diseases. Part I. *Nature*. 1979;280(5721):361-367.
- Anderson RM, May RM. Regulation and stability of host-parasite population interactions. I. Regulatory processes. *J Anim Ecol*. 1978;47(1):219-247.
- Alonso DO, Iglesias AA, Coelho RM, et al. Person-to-person transmission of Andes virus in hantavirus pulmonary syndrome, Argentina, 2014. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(4):756-759.
- Centers for Disease Control and Prevention. Clinical overview of hantavirus. Atlanta (GA): CDC; 2026 [cited 2026 May 8].
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Outbreak of acute illness—Southwestern United States, 1993. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 1993;42:421-424.
- Chitty D. Do lemmings commit suicide? Beautiful hypotheses and ugly facts. Oxford: Oxford University Press; 1996.
- Chitty D. Tuberculosis among wild voles: with a discussion of other pathological conditions among certain mammals and birds. *Ecology*. 1954;35:227-237.
- Elton C, Davis DHS, Findlay GM. An epidemic among voles (*Microtus agrestis*) on the Scottish border in spring 1934. *J Anim Ecol*. 1935;4:277-288.
- Elton C, Ford EB, Baker JR, Gardner AD. The health and parasites of a wild mouse population. *Proc Zool Soc Lond*. 1931;101:657-721.
- European Centre for Disease Prevention and Control. Hantavirus infection. Stockholm: ECDC; 2023 [cited 2026 May 12].

- Ferrés M, Vial P, Marco C, et al. Prospective evaluation of household contacts of persons with hantavirus cardiopulmonary syndrome in Chile. *J Infect Dis.* 2007;195(11):1563-1571.
- Ferrés M, et al. Viral shedding and viraemia of Andes virus during acute hantavirus infection: a prospective study. *Lancet Infect Dis.* 2024;24(7):775-782.
- Gajdusek DC. Murine virus nephropathies and murine viruses of the Hantaan virus group. *Scand J Infect Dis Suppl.* 1982;36:96-108.
- Glagic A, Dimkovic N, Xiao SY, et al. Belgrade virus: a new hantavirus causing severe hemorrhagic fever with renal syndrome in Yugoslavia. *J Infect Dis.* 1992;166:113-120.
- Hjelle B, Torres-Pérez F. Hantaviruses in the Americas and their role as emerging pathogens. *Viruses.* 2010;2(12):2559-2586.
- Jonsson CB, Figueiredo LTM, Vapalahti O. A global perspective on hantavirus ecology, epidemiology, and disease. *Clin Microbiol Rev.* 2010;23(2):412-441.
- Kermack WO, McKendrick AG. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proc R Soc Lond A Math Phys Sci.* 1927;115(772):700-721.
- Langlois JP, Fahrig L, Merriam G, Artsob H. Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice. *Landscape Ecol.* 2001;16:255-266.
- Lee HW. Hemorrhagic fever with renal syndrome (HFRS): history of Hantaan virus and epidemiological features. *Scand J Infect Dis Suppl.* 1982;36:82-85.
- Lee HW, Lee PW, Johnson KM. Isolation of the etiologic agent of Korean hemorrhagic fever. *J Infect Dis.* 1978;137:298-308.
- Lee HW, Lee WR. New epidemiologic findings of hemorrhagic fever with renal syndrome in Korea. *J Korean Soc Virol.* 1988;18:67-75.
- Lee HW, Van der Groen G. Hemorrhagic fever with renal syndrome. *Prog Med Virol.* 1989;36:62-102.
- Martínez VP, Bellomo C, San Juan J, et al. Person-to-person transmission of Andes virus. *Emerg Infect Dis.* 2005;11(12):1848-1853.
- May RM, Anderson RM. Population biology of infectious diseases. Part II. *Nature.* 1979;280(5722):455-461.
- Niklasson B, Le Duc J. Isolation of the nephropathia epidemica agent in Sweden. *Lancet.* 1984;1:1012-1013.
- Ostfeld RS, Keesing F. Effects of host diversity on infectious disease. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2012;43:157-182.
- Saz Pérez JV, Gegúndez Cámara MI, Beltrán Dubón M. Hantavirus. Valladolid: Junta de Castilla y León, Consejería de Sanidad y Bienestar Social; 1997. 84 p.
- Svedmyr A, Lee HW, Berglund A, Hoorn B, Nyström K, Gajdusek DC. Epidemic nephropathy in Scandinavia is related to Korean haemorrhagic fever. *Lancet.* 1979;1:100.
- Tian H, Stenseth NC. The ecological dynamics of hantavirus diseases: from environmental variability to disease prevention largely based on data from China. *PLoS Negl Trop Dis.* 2019;13(2):e0006901.
- Toledo J, et al. Evidence for human-to-human transmission of hantavirus: a systematic review. *J Infect Dis.* 2022;226(8):1362-1371.
- Vaheri A, Strandin T, Hepojoki J, Sironen T, Henttonen H, Mäkelä S, Mustonen J. Uncovering the mysteries of hantavirus infections. *Nat Rev Microbiol.* 2013;11(8):539-550.
- van den Berg O, et al. Andes virus outbreak linked to expedition cruise ship travel, multi-country investigation and response, April to June 2026. *Euro Surveill.* 2026;31(24).
- World Health Organization. Hantavirus. Geneva: World Health Organization; 2026 [cited 2026 May 12].
- World Health Organization. Hantavirus cluster linked to cruise ship travel, multi-country. Geneva: World Health Organization; 2026 [cited 2026 May 13].
- Yanagihara R, Gajdusek DC. Hemorrhagic fever with renal syndrome: a historical perspective and review of recent advances. In: Gear JHS, editor. *Handbook of viral and rickettsial hemorrhagic fevers.* Boca Raton (FL): CRC Press; 1988. p. 155-181.
- Zeier M, et al. New ecological aspects of hantavirus infection: a change of a paradigm and a challenge of prevention—a review. *Virus Genes.* 2005;30(2):157-180.

Huella ambiental de la ganadería y retos para una producción sostenible

**RAQUEL PATRÓN¹, MERCEDES MARTÍNEZ², NOEMI JURADO¹,
BÁRBARA MARTÍN-MALDONADO³**

¹ Departamento de Veterinaria. Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud. Universidad Europea de Madrid. Villaviciosa de Odón, Madrid.

² Hospital Clínico Veterinario. Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud. Universidad Europea de Madrid. Villaviciosa de Odón, Madrid.

³ Grupo de Investigación en Biociencias y Salud Global (BIOGLOB). Departamento de Veterinaria. Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud. Universidad Europea de Madrid. Villaviciosa de Odón, Madrid.

En las últimas décadas, la sociedad ha mostrado una preocupación creciente por el origen de los alimentos y el impacto ambiental asociado a su producción. Este cambio de percepción no es casual, sino consecuencia directa de la evidencia científica acumulada sobre el cambio climático, la degradación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de los recursos naturales. En este contexto, la ganadería se ha convertido en uno de los sectores más debatidos, al situarse en el centro de la relación entre la alimentación humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

La producción ganadera desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria mundial, al proporcionar proteínas de alto valor biológico, micronutrientes esenciales y medios de vida a millones de personas. Sin embargo, también está asociada a una serie de impactos ambientales que abarcan desde la emisión de ga-

ses de efecto invernadero (GEI) hasta la contaminación del agua, la degradación del suelo y la transformación de los ecosistemas naturales. Esta dualidad obliga a abandonar enfoques simplistas y a analizar la ganadería desde una perspectiva integral que contemple tanto sus impactos negativos como sus funciones ecológicas y sociales.

La huella ambiental de la ganadería se refiere al conjunto de impactos que esta actividad genera a lo largo de toda la cadena de producción. No se limita a lo que ocurre en la explotación, sino que incluye la producción, recolección y transporte de forrajes y piensos, el manejo de los animales, la gestión de estiércoles y purines, así como el transporte, el procesamiento y la comercialización del producto final. Comprender esta huella en toda su complejidad resulta imprescindible para diseñar estrategias de mitigación eficaces y avanzar hacia modelos productivos más sostenibles.

Huella de carbono y emisiones de gases de efecto invernadero

La huella de carbono de la ganadería engloba la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos, directa o indirectamente, durante la actividad productiva. En los últimos años, tanto desde el ámbito científico como desde la esfera social, ha aumentado la preocupación por la contribución de la producción de alimentos al cambio climático (Flysjö *et al.*, 2011; Hagemann *et al.*, 2011; Rotz *et al.*, 2010). Dentro de este debate, la ganadería bovina ocupa un lugar destacado debido a su peso relativo en las emisiones de GEI y al uso extensivo de los recursos naturales. Según la FAO, los sistemas ganaderos representaron aproximadamente el 11,2 % de las emisiones globales de GEI en 2015 (FAO, 2022). Sin embargo, estos impactos varían notable-

mente según el tipo de sistema productivo. En general, los sistemas de producción lechera presentan una menor huella ambiental por unidad de producto que la de la producción de carne, tanto intensiva como extensiva (Tinitana *et al.*, 2024).

El nitrógeno reactivo producido por la ganadería se refiere a los GEI generados como subproducto de la fermentación entérica de los rumiantes y representa más del 30% de las emisiones ganaderas totales (Opio *et al.*, 2013; Uwizeye *et al.*, 2020). Así pues, constituye la principal fuente de emisiones del sector pecuario y tiene un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud pública. Los principales gases implicados son el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2). El metano se genera principalmente durante la fermentación entérica de los rumiantes y la descomposición anaerobia del estiércol y de la orina.

- El **metano** producido durante este proceso está estrechamente relacionado con la digestibilidad de los piensos, siendo mayor cuanto menor es dicha digestibilidad. Esto explica por qué la calidad de la alimentación desempeña un papel clave en la mitigación de las emisiones. En España, la huella de carbono del vacuno de carne por kilogramo producido es un 66 % menor que la media mundial (Tinitana-Bayas *et al.*, 2024). Este dato resulta especialmente relevante en el debate público, ya que evidencia que no todos los sistemas ganaderos tienen el mismo impacto y que las comparaciones globales pueden resultar engañosas si no se contextualizan. Además, las metodologías actuales de cálculo de la huella de carbono no suelen considerar la capacidad de los pastos para capturar el carbono atmosférico. Se estima que el secuestro de

carbono en suelos de pastoreo puede compensar hasta el 60 % de las emisiones de los animales en sistemas bien gestionados, lo que refuerza la necesidad de integrar este factor en las evaluaciones ambientales. No obstante, en los últimos años ha surgido un debate científico relevante en torno a la metodología empleada para cuantificar estas emisiones. Algunos autores han señalado que los métodos tradicionales pueden sobreestimar las emisiones de metano de los rumiantes, según la técnica de cálculo empleada (Ghassemi Nejad *et al.*, 2024). Además, Cain *et al.* (2019) subrayaron que el metano tiene una vida atmosférica relativamente corta, con un periodo medio de destrucción de aproximadamente 10 años. Esto implica que, cuando las emisiones se mantienen estables en el tiempo, como ocurre en sistemas ganaderos sin incre-

en los suelos agrícolas, con la gestión de purines, así como con las emisiones de amoníaco (NH_3) que afectan la calidad del aire y contribuyen a la eutrofización (Nabuurs *et al.*, 2022; MAPA, 2025).

- Las emisiones de **dióxido de carbono** derivadas del consumo directo o indirecto de combustibles fósiles están asociadas principalmente a la producción de piensos, que concentra alrededor del 45 % de las emisiones energéticas del sector pecuario, así como a las actividades en la granja, al transporte (aproximadamente el 6 %) y a la producción de fertilizantes (Gerber *et al.*, 2013). Estas emisiones son más elevadas en los países de la OCDE, donde la intensificación ganadera, la mecanización, la producción de piensos y el mayor consumo energético en el alojamiento y la gestión de residuos incrementan el uso de

“ La sostenibilidad ganadera no es un proceso uniforme ni estático; requiere una adaptación continúa basada en el conocimiento técnico, el respeto por el entorno y el compromiso con las generaciones futuras. ”

mentos significativos de censo, su contribución al calentamiento global difiere de la del CO_2 , que se acumula durante siglos en la atmósfera. A partir de esta premisa, estos autores desarrollaron un nuevo método de cálculo de equivalentes de CO_2 basado en el cambio en el flujo de metano, que reduce las emisiones estimadas hasta en cuatro veces en comparación con los métodos convencionales.

- El **óxido nitroso** (N_2O) se asocia fundamentalmente con la aplicación de fertilizantes y estiércoles

combustibles fósiles. (Paris *et al.*, 2022). En muchos inventarios nacionales, las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles en las explotaciones ganaderas se contabilizan en el sector energético y no en el agrícola, lo que a menudo dificulta una visión integrada del impacto real de la producción ganadera.

Estos gases no solo contribuyen al calentamiento global, sino que también afectan la calidad del aire y el equilibrio de los ecosistemas. Se estima que la ganadería es responsable de aproximadamente el



14,5 % de las emisiones antropogénicas globales de GEI, siendo el sector bovino el principal contribuyente, con cerca de dos tercios de ese total («Livestock Solutions For Climate Change», 2017). Esta cifra ha sido ampliamente citada en informes internacionales y ha influido notablemente en la percepción pública de la ganadería, especialmente en la de la producción de carne vacuna. Además, a estas emisiones se suman otros impactos ambientales relevantes, como la contribución a la acidificación terrestre (8%; Stackhouse-Lawson et al., 2012) y a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (19%; Bustillo-Lecompte, 2015).

Huella hídrica de la producción ganadera

Otro componente fundamental de la huella ambiental ganadera es la huella hídrica. Se estima que la ganadería representa el 29% de la huella hídrica asociada a la producción de alimentos (Mekonnen y Hoekstra, 2010). La huella hídrica de la ganadería se manifiesta en tres dimensiones principales:

- El consumo directo del agua, en primer lugar, incluye el agua destinada al consumo humano en las explotaciones y a la limpieza de instalaciones y equipos.
- El consumo directo, en segundo lugar, engloba el agua utilizada para la bebida de los animales y para el cultivo de forrajes y piensos, diferenciándose entre la huella hídrica verde (agua de lluvia) y la azul (agua superficial o subterránea).
- Por último, el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes, principalmente nitratos y residuos orgánicos, hasta niveles ambientalmente aceptables, conocido como huella hídrica gris (Hoekstra, 2011).

Este indicador permite evaluar no solo el volumen de agua utilizado,

sino también su origen y su grado de contaminación. Estos impactos no se distribuyen de forma homogénea, sino que dependen del tipo de sistema productivo, de la eficiencia en el uso de los recursos y de las condiciones climáticas y territoriales.

En este contexto, es importante señalar que la huella hídrica del vacuno de carne en España es aproximadamente un tercio de la media mundial, lo que evidencia la importancia de considerar el contexto regional, el tipo de sistema productivo y las condiciones climáticas al evaluar el impacto hídrico de la ganadería como indicamos anteriormente (Tinitana-Bayas et al., 2024)

Impactos sobre el suelo y los ciclos de nutrientes

La ganadería también ejerce una presión significativa sobre el suelo, especialmente cuando hay una alta concentración de animales y una gestión inadecuada de los residuos. A nivel global, el almacenamiento y tratamiento del estiércol representan alrededor del 10 % de las emisiones del sector pecuario (Gerber et al., 2013). Estas emisiones son especialmente elevadas en sistemas intensivos que emplean purines líquidos, como ocurre en determinadas regiones de Norteamérica, donde el estiércol se almacena en lagunas profundas. En Europa y Oceanía, las emisiones suelen ser menores debido a la acumulación del estiércol en fosas menos profundas o en forma sólida, lo que reduce la producción de metano.

El exceso de estiércoles y purines puede superar la capacidad de depuración del suelo, provocando una disminución de su fertilidad, alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas y modificaciones del pH (Feng et al., 2024). Estos

efectos pueden comprometer la productividad a largo plazo y aumentar el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Por tanto, la mejora de la gestión del estiércol no solo permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también avanzar hacia una economía circular, valorizando estos residuos como fertilizantes orgánicos o como fuente de energía renovable mediante digestores anaerobios. Esta estrategia contribuye, además, a disminuir la dependencia de fertilizantes minerales y a mitigar la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas.

Además, la aplicación excesiva de fertilizantes minerales y orgánicos contribuye a las emisiones de óxido nitroso y a la pérdida de nitrógeno reactivo en el medio ambiente, debida a la liberación desmedida de compuestos nitrogenados, como amoníaco y óxidos de nitrógeno, en el medio ambiente, con efectos negativos sobre la calidad del aire, la eutrofización de los ecosistemas acuáticos y la deposición ácida (Nauburs et al., 2022; MAPA, 2025).

Por otro lado, las emisiones derivadas del cambio de uso del suelo representan aproximadamente el 9,2% de las emisiones totales del sector ganadero. De este porcentaje, alrededor del 6% se debe a la expansión de los pastizales, mientras que el resto se asocia a la expansión de cultivos forrajeros destinados a la alimentación animal (Gerber et al., 2013). Estas emisiones son especialmente relevantes en determinadas regiones del mundo, como Sudamérica, donde la expansión de la soja para la alimentación animal se ha vinculado con procesos de deforestación. En el caso de la producción de carne de vacuno en extensivo, el impacto del cambio de uso del suelo puede ser mayor debido a la mayor superficie ne-

cesaria para el pastoreo, lo que puede alcanzar valores cercanos al 15 % de las emisiones totales del sistema. Sin embargo, la inclusión de esta categoría en las evaluaciones globales requiere una mejor comprensión de la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS) en los pastizales, así como el desarrollo de métodos fiables para el seguimiento y la predicción de los cambios en las reservas de carbono (MacLeod et al., 2013b).

El COS es aquel que permanece en el suelo tras la descomposición parcial de materiales producidos por organismos vivos, lo que influye en la fertilidad, la estructura y la sostenibilidad de los suelos, además de actuar como sumidero de carbono (FAO y ITPS, 2018a, 2018b; DOPA, 2026).

Su presencia es fundamental para estabilizar la estructura del suelo y mejorar su porosidad, lo que facilita la penetración y la retención de agua. Además, aumenta la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, ya que modifica la acidez y la alcalinidad del suelo, que tienden a valores cercanos a la neutralidad, y la biomasa microbiana, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Al mismo tiempo, favorece la mitigación de la erosión y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente de CO₂.

Existe un amplio consenso en que los suelos bien gestionados presentan un mayor potencial para la acumulación de carbono. Prácticas como el uso de gramíneas con alto potencial de secuestro, la fertilización adecuada y las estrategias de pastoreo mejorado pueden aumentar la captura de carbono en el suelo a una media de 1,4 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ (Conant et al., 2017; Silveira et al., 2024). Además, los pastizales nativos

suelen actuar como sumideros de carbono más estables ante eventos climáticos extremos, como sequías o inundaciones, lo que refuerza su papel en la mitigación del cambio climático (Bracho et al., 2025).

Transformación de ecosistemas y presión sobre la biodiversidad

El ganado desempeña un papel clave en la bioeconomía al transformar forrajes, residuos de cultivos y subproductos agrícolas en alimentos de alto valor nutricional. A diferencia de los monogástricos, los rumiantes tienen la capacidad de convertir materiales no comestibles para los humanos en proteína animal, lo que representa una ventaja en el aprovechamiento de los recursos.

Se estima que el 86% de la biomasa consumida por el ganado está compuesta por materiales que

vale a aproximadamente la mitad del área agrícola mundial. De esta superficie, cerca de 2 mil millones de hectáreas corresponden a pastizales, de los cuales aproximadamente 1,3 mil millones no pueden convertirse en tierras de cultivo. Esto implica que el 57% de la tierra utilizada para la producción de alimentos no es adecuada para la agricultura convencional (Mottet et al., 2017). Estos datos ponen de manifiesto que la ganadería, especialmente la extensiva, permite aprovechar tierras marginales que no podrían destinarse a la producción directa de alimentos vegetales, contribuyendo así a la seguridad alimentaria global. No obstante, este aprovechamiento debe realizarse de forma sostenible para evitar la degradación de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad.

Por otro lado, se estima que la superficie de tierra cultivable representa alrededor del 35% de la superficie terrestre (The World Bank,

“ Los rumiantes bien gestionados pueden mantener paisajes abiertos, biodiversos y funcionales. Las dehesas ibéricas constituyen un ejemplo de sistema agro-silvo-pastoral que combina producción agroalimentaria, hábitat para fauna, regulación de suelos y agua, y reducción del riesgo de incendios. ”

actualmente no son aptos para el consumo humano. Aunque la soja es a menudo señalada como el principal impulsor del uso del suelo asociado a la ganadería, esta representa aproximadamente el 4% de la ingesta global de alimento para el ganado. La producción mundial de alimentos requiere alrededor de 2,5 mil millones de hectáreas de tierra, lo que equi-

2014) y que entre el 75 y el 80% de toda la tierra agrícola, incluyendo tierras de cultivo y pastos, es necesaria para la producción ganadera (Foley et al., 2011; Stoll-Kleemann et al., 2015). Asimismo, la ganadería consume aproximadamente el 35% de los cultivos agrícolas y utiliza cerca del 26% del suelo del planeta (Foley et al., 2011; Stoll-Kleemann et al., 2017).



Estos datos han alimentado un intenso debate sobre la sostenibilidad global de la producción ganadera. Sin embargo, es fundamental distinguir entre los sistemas productivos y los contextos territoriales. Mientras que la expansión descontrolada de la frontera ganadera en determinadas regiones ha tenido consecuencias ambientales graves, en otros contextos la ganadería extensiva ha contribuido históricamente al mantenimiento de paisajes cultu-

de hábitats, los efectos sobre la fauna silvestre y la alteración de los servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos —como la regulación climática, la purificación de agua, el control de la erosión y la biodiversidad— se ven afectados cuando la ganadería degrada hábitats o aumenta la contaminación. Por ejemplo, el pastoreo mal gestionado en las montañas mediterráneas ha reducido la diversidad estructural del paisaje, disminuido la capaci-

(cerramientos, caminos) o funcional (evitación de zonas por parte de la fauna silvestre) reduce la conectividad ecológica y puede aislar poblaciones de especies sensibles. Estudios recientes destacan que la intensificación y la parcelación del pastoreo en zonas montañosas semiáridas provocan la degradación del paisaje y la pérdida de diversidad estructural (Lasanta Martínez *et al.*, 2024).

“La ganadería puede ser parte de la solución frente al cambio climático y la degradación ambiental si se gestionan adecuadamente los sistemas productivos, equilibrando eficiencia, producción y conservación.”

rales, a la conservación de la biodiversidad y a la provisión de servicios ecosistémicos. La ganadería extensiva suele desarrollarse en pastos naturales o seminaturales, lo que diluye la presión por unidad de área, aunque puede enfrentar desafíos de sostenibilidad si la productividad es baja o se produce abandono. Por su parte, la ganadería intensiva concentra animales y residuos, incrementando la carga de excretas por hectárea, el riesgo de lixiviación de nitratos, la contaminación de las aguas y las emisiones puntuales de contaminantes. No obstante, al estar concentrada, la gestión resulta más fácil de implementar y controlar (Tinitana-Bayas *et al.*, 2024; AMEC Environment & Infrastructure UK Limited, 2012).

Como ya se ha visto, la actividad ganadera incide en el medio ambiente de múltiples formas, no solo mediante la emisión de gases de efecto invernadero, sino también mediante el uso del suelo y del agua, la transformación

de regulación hidráulica y aumento de la biomasa combustible (Lasanta *et al.*, 2024). Estudios en Extremadura estiman que la pérdida de servicios ecosistémicos podría implicar hasta un 55 % de pérdidas en la producción agrícola y ganadera (Thomasz *et al.*, 2024).

El solapamiento espacial entre la fauna silvestre y el ganado intensifica la competencia por recursos, provoca desplazamientos y cambios en los patrones de comportamiento de la fauna, y aumenta los conflictos con depredadores. Además, existe riesgo de transmisión de enfermedades, como la tuberculosis bovina en zonas de dehesa, que afecta a ungulados salvajes y cerdos ibéricos (Espeón y Martín-Maldonado, 2025).

Además, cuando se convierten bosques, matorrales, ribazos o setos en pastos homogéneos o se instalan infraestructuras, se produce una pérdida directa de hábitat. La fragmentación física

No obstante, no todos los efectos son negativos. Los rumiantes bien gestionados pueden mantener paisajes abiertos, biodiversos y funcionales. Las dehesas ibéricas constituyen un ejemplo de sistema agro-silvo-pastoral que combina producción agroalimentaria, hábitat para fauna, regulación de suelos y agua, y reducción del riesgo de incendios (Díaz, 2014; Rodríguez-Rojo *et al.*, 2022; Lasanta *et al.*, 2024).

Ganadería extensiva y regenerativa: principios y beneficios

La ganadería regenerativa se basa en prácticas como el pastoreo rotacional, la mejora de la salud del suelo, la restauración de la biodiversidad y la reducción de los insumos externos. Aunque muchos de estos métodos son reinterpretaciones de prácticas tradicionales, su aplicación sistemática y documentada permite obtener resultados medibles en términos ambientales y productivos. Los beneficios incluyen la mejora de la estructura del suelo y la retención de agua, la reducción de emisiones de metano mediante dietas equilibradas y un manejo eficiente, el incremento de la biodiversidad vegetal y faunística y una mayor resiliencia frente a sequías y eventos climáticos extremos (Domínguez Perales,



Figura 1. La ganadería regenerativa consiste en mejorar la salud del suelo favoreciendo la captura de carbono y aumentando la disponibilidad de nutrientes y agua para el crecimiento de las plantas.

2025). El éxito de la regeneración depende de la formación del ganadero, del contexto ecológico y del compromiso a largo plazo, así como de evitar recetas universales que no respeten la diversidad de paisajes y culturas productivas (Figura 1).

En este contexto, los **sistemas silvopastoriles** combinan árboles, arbustos y pastos en un mismo espacio productivo para mejorar la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono y la resiliencia climática (Thomas y Ferrere, 2019). Se caracterizan por un pastoreo rotacional y un manejo planificado del ganado para evitar el sobrepastoreo, conservar la cobertura vegetal y promover la regeneración natural del suelo. También tienden a incorporar elementos naturales, como setos, humedales y corredores ecológicos, para reforzar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Figura 2). Sus ventajas son múltiples: captura de carbono atmosférico y mejora de la fertilidad del suelo, protección del ganado frente al estrés térmico y mejora del microclima del pasto, diversificación de ingresos mediante productos ma-

derables y medicinales, y aumento de los servicios ecosistémicos, incluyendo la regulación hídrica, el control de la erosión y la reducción del riesgo de incendios (Jose & Dollinger, 2019). El diseño de estos sistemas debe adaptarse a las condiciones del terreno y a las necesidades del rebaño, evitando modelos estandarizados que ignoren la heterogeneidad del paisaje y el conocimiento local.

Por ello, la **planificación territorial** es clave para integrar la producción ganadera con la conservación, tanto para proteger corredores ecológicos y zonas de conservación como para evitar la expansión desordenada de la frontera agropecuaria y diseñar mosaicos productivos que combinen producción y conservación, mejorando la resiliencia climática del territorio (Proyecto Entretantos, 2025). Esta visión integral reconoce que la sostenibilidad no depende únicamente del manejo del ganado, sino también de la salud del ecosistema completo, incluyendo la fauna silvestre, la conectividad de hábitats y el equilibrio del paisaje.

Además, la **eficiencia productiva** no requiere necesariamente intensificación. En sistemas extensivos, puede lograrse mediante dietas ajustadas que reduzcan la fermentación entérica, la selección genética de animales resistentes y eficientes, y el manejo sanitario preventivo, que disminuyan las pérdidas y mejoren el bienestar animal (Bellarby *et al.*, 2013; Cederberg *et al.*, 2009a; Lacosta, 2025). Incrementar la eficiencia por animal permite producir más con menos emisiones relativas, contribuyendo a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer la sostenibilidad del sistema.

Estrategias de mitigación y alternativas sostenibles

Para reducir los impactos ambientales de la ganadería, se han desarrollado múltiples estrategias, tanto a nivel de manejo de la explotación como de planificación territorial y de políticas públicas. Estas incluyen, además de las ya



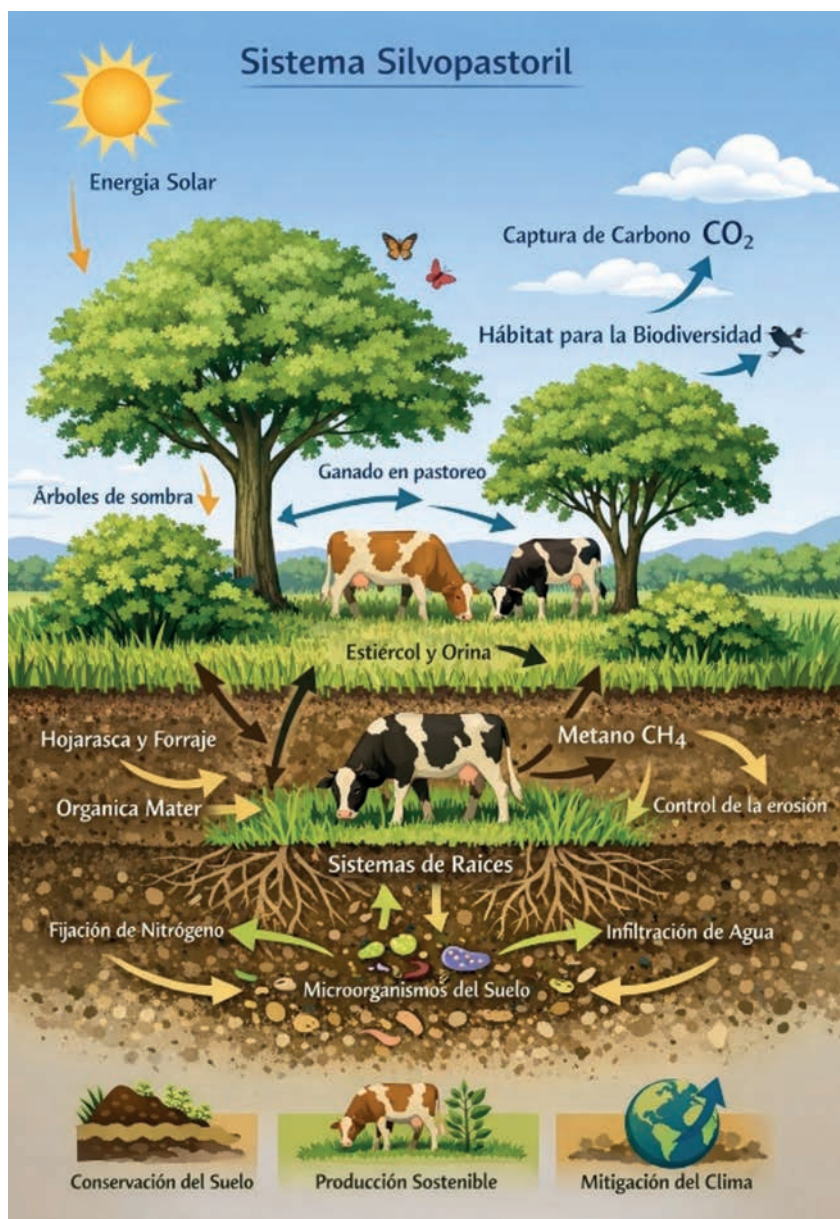


Figura 2. El sistema silvopastoril combina árboles, pasto y ganado para mejorar la fertilidad del suelo, reducir la erosión, capturar CO₂ y promover una producción ganadera más sostenible.

citadas en la ganadería extensiva, las siguientes:

- **Gestión del estiércol y de los recursos hídricos** mediante digestores anaerobios para producir biogás a partir de estiércol, disminuyendo las emisiones de metano y reemplazando combustibles fósiles. Además, la valorización agrícola del estiércol como fertilizante órgano-mineral permite reducir contaminación

por nitratos, y la gestión eficiente del agua, aprovechamiento de las aguas pluviales y aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para minimizar el consumo y mejorar la eficiencia hídrica (Figura 3).

- **Reducción de impacto en huella de carbono** a través de la disminución del consumo de productos animales fuera de temporada o de larga distancia mediante con-

sumo de proximidad y producción local. Es importante considerar el equilibrio entre las emisiones y los beneficios ecosistémicos de la ganadería extensiva y regenerativa. Múltiples estudios han demostrado que la combinación de prácticas regenerativas, eficiencia productiva y silvopastoreo puede compensar buena parte de las emisiones del ganado (Poore *et al.*, 2018).

- **Recomendaciones para políticas y prácticas sostenibles**, como por ejemplo, promover formación técnica para ganaderos en manejo regenerativo y silvopastoril, incentivar políticas que reconozcan los beneficios ambientales de los sistemas bien gestionados, no solo la producción de carne o leche, integrar planificación territorial y conservación de corredores ecológicos en la expansión de la actividad ganadera, o fomentar investigación sobre captura de carbono en pastos, biodiversidad asociada a la ganadería y optimización de recursos hídricos y energéticos.

El debate social y científico en torno a las emisiones ganaderas

La afirmación de que la ganadería es la principal responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero ha sido ampliamente difundida por diversos informes y campañas. Entre los más influyentes se encuentran el informe de la FAO de 2006, que tuvo una enorme repercusión mediática a pesar de haber sido posteriormente revisado y matizado; el informe del Worldwatch Institute de 2009, que atribuía a los rumiantes domésticos el 51% de las emisiones globales de GEI; el trabajo de Röss *et al.* (2017), que sugería que una reducción del 50% en la producción de carne y lácteos podría



Figura 3. El uso de fosas de purines permite gestionar adecuadamente el estiércol semilíquido, con el objetivo de aprovecharlo para enriquecer la materia orgánica del suelo y disminuir el uso de fertilizantes sintéticos.

disminuir las emisiones del sector en un 64% para 2050; y el informe de Greenpeace de 2018, que vinculaba la actividad agrícola con la amenaza sobre el 80% de los mamíferos terrestres y aves en peligro de extinción. Como consecuencia de estos mensajes, han surgido campañas y movimientos sociales que promueven una reducción del consumo de productos de origen animal por motivos ambientales, como el “Meatless Day” en Estados Unidos o el “Veganuary” en el Reino Unido. Si bien estas iniciativas han contribuido a visibilizar el impacto ambiental del sistema alimentario, también han simplificado en exceso una problemática compleja, obviando las diferencias entre los sistemas productivos y el papel potencialmente positivo de la ganadería bien gestionada.

Conclusión

La ganadería, en sus diversas formas, desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria y en el aprovechamiento de recursos no consumibles por los hu-

manos. Sin embargo, su impacto ambiental es significativo y complejo, afectando las emisiones de gases de efecto invernadero, la calidad del agua, el uso del suelo, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

La clave para una ganadería sostenible radica en un enfoque integral que combine una gestión eficiente de los recursos y la alimentación del ganado, un manejo regenerativo y silvopastoril, una planificación territorial y una valorización de residuos y gestión hídrica eficiente, minimizando los impactos sobre el agua y los nutrientes.

La sostenibilidad ganadera no es un proceso uniforme ni estático; requiere una adaptación continua basada en el conocimiento técnico, el respeto por el entorno y el compromiso con las generaciones futuras. Reconocer los beneficios ecosistémicos de

sistemas bien gestionados y cuantificar los impactos negativos permite diseñar estrategias equilibradas que aseguren alimentos nutritivos y abundantes, mientras se preserva la salud del planeta y se promueve la biodiversidad.

En definitiva, la ganadería puede ser parte de la solución frente al cambio climático y la degradación ambiental si se gestionan adecuadamente los sistemas productivos, equilibrando eficiencia, producción y conservación.



Referencias

- Agricultura Regenerativa Ibérica (2023). La ganadería regenerativa mejora la satisfacción de los ganaderos con su medio de vida.
- AMEC Environment & Infrastructure UK Limited. (2012). Collection and analysis of data to support the Commission in reporting in line with Article 73(2)(b) of Directive 2010/75/EU on industrial emissions on the need to control emissions from the intensive rearing of cattle: Final report. European Commission.
- Bellarby, J., Tirado, R., Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J.P., Smith, P. (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Glob. Change Biol.*, 19: 3–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>
- Bracho, R., Silveira, M. L., Vendramini, J. M. B., Kohmann, M. M., da Silva Cardoso, A., da Cruz, P. J. R., Celis, G., & Ghimire, N. (2025). Carbon and methane fluxes from typical pasture-based beef cattle production systems in the Southeastern USA. *The Science of the total environment*, 1007, 180924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180924>
- Bragaglio, A., Napolitano, F., Pacelli, C., Pirlo, G., Sabia, E., Serrapica, F., ... & Braghieri, A. (2018). Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4033-4043.
- Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of environmental management*, 161, 287-302.
- Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R., Fuglestedt, J.S., Frame, D.J., Macey, A.H. (2019). Improved calculation of warming-equivalent emissions for short lived climate pollutants. *npj Clim. Atmos. Sci.*, 2:29
- Cederberg, C., Flysjö, A., Sonesson, U., Sund, V., Davis, J. (2009a). Greenhouse Gas Emissions from Swedish Consumption of Meat, Milk and Eggs 1990 and 2005 (SIK Report No794). The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Gothenburg
- Cisneros-Saguián, P. (2019). Sistema silvopastoril: ganadería bovina ante el cambio climático. *Revista Vinculando*. <https://vinculando.org/productores/sistemas-silvopastoriles-estrategia-pertinente-para-la-ganaderia-bovina-ante-el-cambio-climatico.html>
- Conant, R., Paustian, K., Elliott, E. (2001). Grassland Management and Conversion into Grassland: Effects on Soil Carbon. *ecoa*. 11. 343
- Connolly, E., Allan, J., Brehony, P., Aduda, A., Western, G., Russell, S., Dyckman, A., & Tyrrell, P. (2021). Coexistence in an African pastoral landscape: Evidence that livestock and wildlife temporally partition water resources. *African Journal of Ecology*, 59(3), 696-711. <https://doi.org/10.1111/aje.12869>
- De Vries, M. D., Van Middelaar, C. E., & De Boer, I. J. M. (2015). Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 178, 279-288.
- Del Ángel-Lozano, G. et al. (2023). Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
- Díaz, M. (2014). Distribución del arbolado y persistencia a largo plazo de las dehesas: patrones y procesos. *Ecosistemas*, 23(2), 5-12. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-2.02>
- Domínguez Perales, M. (2025). Estudio de sostenibilidad económica y ambiental en explotaciones extensivas con manejo holístico. Universidad Pontificia Comillas.
- Digital Observatory for Protected Areas (DOPA) Ficha informativa J.1; <http://dopa.jrc.ec.europa.eu/>
- Esperón, F., & Martín-Maldonado, B. (2025). Biological Hazards at the Livestock-Wildlife Interface. In *Encyclopedia of Livestock Medicine for Large Animal and Poultry Production* (pp. 1-4). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52133-1_10-1
- Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S., Englund, J.E. (2011). The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*; 104 (6): 459–469. doi: 10.1016/j.agsy.2011.03.003
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A. et al., (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342
- Feng, X., Liu, C., Li, Y., Xu, J., Zhang, J., & Meng, Q. (2024). The long-term effect of cattle manure application on soil P availability and P fractions in saline-sodic soils in the Songnen Plain of China. *Agronomy*, 14(12), 3059. <https://doi.org/10.3390/agronomy14123059>
- Fundación Entretantos (2025). Manual de Ganadería Extensiva y Cambio Climático.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013) Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. *Atmospheric Science*, 2:29
- Ghassemi Nejad, J., Ju, M. S., Jo, J. H., Oh, K. H., Lee, Y. S., Lee, S. D., ... & Lee, H. G. (2024). Advances in methane emission estimation in livestock: A review of data collection methods, model development and the role of AI technologies. *Animals*, 14(3), 435. <https://doi.org/10.3390/ani14030435>
- Hagemann, M., Hemme, T., Ndambi, A., Alqaisi, O., Sultana, N. (2011). Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. *Anim. Feed Sci. Technol*;166–167: 46–58
- Hoekstra, A. Y. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Routledge. https://www.water-footprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf
- Jose, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: A sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*, 93, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>
- Lacosta, J. (2025). Favorecer la continuidad de la ganadería extensiva en España desde la sostenibilidad. UPA.

- Lasanta Martínez, T., Cortijos-López, M., & Nadal-Romero, E. (2024). Pastoreo en la media montaña mediterránea para mitigar el cambio climático: una experiencia en el Sistema Ibérico Noroccidental. *Cuadernos de INvestigación Geográfica* 50(2): 179-202. <https://doi.org/10.18172/cig.6356>
- Livestock solutions for climate change. (2017). En Food And Agriculture Organization Of The United Nations FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/2985e4e2-3c37-4e7c-aa7c-3655de93d53c>
- MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H. (2013b). Greenhouse gas emisiones from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. FAO, Roma
- Mapa Global Soil Organic Carbon (GSOC); FAO and ITPS, 2018a, 2018b) <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data-new/global-soil-organic-carbon-gsoc-map>
- Martínez, N., Andón Mañero, M., Rancaño, V., Bállega Calvo, A., Ramírez-Santos, A., & Ruiz-Colmenero, M. (2024). Retos ambientales en el sector del vacuno de leche. *Vacuno de Élite. Edición Leche*, 2024, 33, Primavera-Verano, 28-31.
- Mehrabi, Z., Gill, M., Wijk, M. et al. (2020). Livestock policy for sustainable development. *Nat Food* 1, 160–1655. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0042-9>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices.
- Mesfin M. Mekonnen, & Arjen y. Hoekstra. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. Department of Water Engineering and Management, University of Twente. https://www.waterfootprint.org/resources/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootprintFarmAnimalProducts_1.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2025). *Ganadería y medio ambiente – Balance de nitrógeno e inventario de emisiones de gases*. Disponible en: <https://servicio.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/balance-de-nitrogeno-e-inventario-de-emisiones-de-gases/> (último acceso: 10 de octubre de 2025).
- Mottet, A., De Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global food security*, 14, 1-8.
- Nabuurs, G.-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlík, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, 2022: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.009>
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., ... & Steinfeld, H. (2013). Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains—A global life cycle assessment.
- Paris, B., Vadorou, F., Tyriss, D., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., & Papadakis, G. (2022). Energy use in the EU livestock sector: A review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. *Applied Sciences*, 12(4), 2142. <https://doi.org/10.3390/app12042142>
- Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*;360(6392):987–992. doi: 10.1126/science.aag0216. Erratum in: *Science*. 2019;363(6429)
- Rodríguez-Rojo, M. P., Roig, S., López-Carrasco, C., Redondo García, M. M., & Sánchez-Mata, D. (2022). Which factors favour biodiversity in Iberian Dehesas?. *Sustainability*, 14(4), 2345. <https://doi.org/10.3390/su14042345>
- Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D., Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Glob. Environ. Change*, 47: 1–12
- Rotz, C.A., Montes, F., Chianese, D.S. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *J. Dairy Sci.*; 93: 1266–1282
- Ruiz-Colmenero, M., Terre, M., Bállega Calvo, A., Alomar, O., Antón Vallejo, M. A., Targa, A., ... & Nunez, M. (2024). Huella ambiental de carne y leche de vacuno: manejo y emisiones. *TecnoCarne*, 2024, 32, 74-82.
- Silveira, M.L., Rodrigues da Cruz, P.J., Vendramini, J.M., Boughton, E.H., Bracho, R., & da Silva Cardoso, A. (2024). Opportunities to increase soil carbon sequestration in grazing lands in the southeastern United States. *Grassland Research*.
- Stackhouse-Lawson, K. R., Rotz, C. A., Oltjen, J. W., & Mitloehner, F. M. (2012). Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4641-4655.
- Stoll-Kleemann, S., Schmidt, U.J., (2017). Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors. *Reg. Environ. Change*, 17 (5), 1261–1277
- Stoll-Kleemann, S., O’Riordan, T., (2015). The Sustainability Challenges of Our Meat and Dairy Diets. *Environ. Sci. Policy for Sustainable Development*; 57(3):34–48. doi:10.1080/00139157.2015.1025644
- The World Bank: Promoting Opportunity, Growth, and Prosperity. THE WORLD BANK ANNUAL REPORT 2014.
- Thomas, E.R.; Ferrere, P. (2019). Estrés calórico: beneficios de los árboles en los sistemas ganaderos. *Fruticultura & Diversificación*. 25 (83): 15-17.
- Thomasz, E. O., Kasanzew, A., Massot, J. M., & García-García, A. (2024). Valuing ecosystem services in agricultural production in southwest Spain. *Ecosystem Services*, 68, 101636. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101636>
- Tinitana-Bayas, R., Sanjuán, N., Jiménez, E.S., Lainez, M., Estellés F. (2024). Assessing the environmental impacts of beef production chains integrating grazing and landless systems. *Animal*;18(2):101059. doi: 10.1016/j.animal.2023.101059
- Udo, H.M.J., Aklilu, H.A., Phong, L.T., Bosma, R.H., Budisatria, I.G.S., Patil, B.R., Samdup, T., Bebe, B.O. (2011). Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livest. Sci.*, 139: 22–30
- Uwizeye, A., de Boer, I. J., Opio, C. I., Schulte, R. P., Falcucci, A., Tempio, G., ... & Gerber, P. J. (2020). Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nature Food*, 1(7), 437-446.

De la Montaña al Hospital: Abordaje Clínico de las Mordeduras de Víboras a Perros en España

Aprendiendo de los Casos Reales

NICOLÁS ARADILLA¹, SEBASTIÁN SÁNCHEZ-FORTÚN²

¹ VISAVET Health Surveillance Center. Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avenida Puerta de Hierro s/n, Madrid 28040, España.

² Departamento de Farmacología y Toxicología, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avenida Puerta de Hierro s/n, Madrid 28040, España.

En España hay catorce especies autóctonas de serpientes, tres de ellas víboras con un potente veneno hemotóxico. Mientras en medicina humana se cuenta con un protocolo estandarizado para tratar sus mordeduras, en veterinaria no existe uno unificado, lo que genera marcadas diferencias en los tratamientos. Un estudio reciente en *The Veterinary Journal* analizó casos de mordeduras de víboras en perros en todo el país, revelando variaciones clínicas según la especie, como signos neurológicos en mordeduras de *Vipera aspis*, y una amplia diversidad en los protocolos de tratamiento, todos ellos sin uso de suero antiofídico. La mortalidad fue del 6,5%, similar a la reportada en otros países. El estudio proporciona una base sólida para desarrollar protocolos específicos y fomentar la colaboración internacional en el manejo clínico de estos casos.

Introducción

En plena Sierra de Gredos, tres excursionistas y un perro llamado Duque (Figura 1) vivieron una experiencia que transformó su comprensión sobre las mordeduras de víboras en perros. Durante la ruta, Duque fue mordido por una víbora hocicuda, lo que desencadenó una grave urgencia veterinaria sin posibilidad de asistencia inmediata. En cuestión de minutos, la ruta se tornó en una lucha contra el tiempo. Duque sufrió un rápido empeoramiento con edema regional, palidez de mucosas y petequias, mientras sus acompañantes se enfrentaban a la fragili-

dad de la vida. Finalmente Duque sobrevivió, y su historia dejó una huella en la ciencia más profunda que la cicatriz de su mordedura, una invitación a reflexionar sobre la preparación del ámbito veterinario ante este tipo de emergencias, la solidez de los protocolos existentes y la necesidad de una respuesta eficaz y coordinada ante estas situaciones.

Las serpientes son un grupo muy diverso con más de 3.400 especies, 45 de ellas en Europa y 14 en la península ibérica. De estas, once pertenecen a la familia Colubridae y tres a Viperidae, siendo solo cinco de ellas venenosas.



Figura 1. Duque, un superviviente de mordedura de víbora

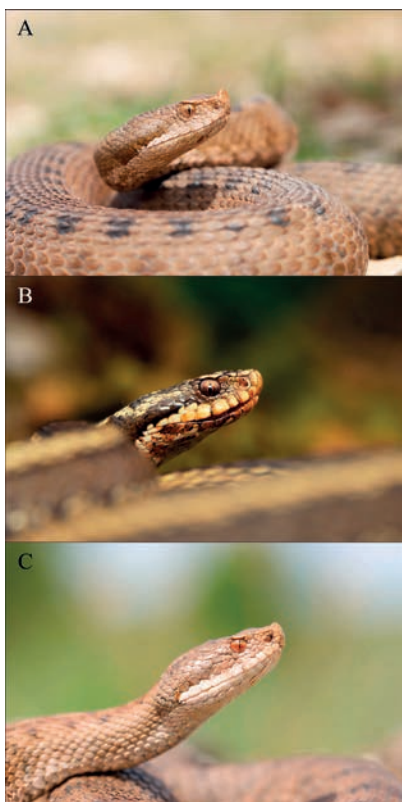


Figura 2. Fotografías de las tres especies de víboras autóctonas peninsulares caracterizadas por su destacada pupila afilada y vertical. (A) Víbora hocicuda (*Vipera latastei*) caracterizada por su prominente hocico rostral. (B) Víbora cantábrica (*Vipera seoanei*). (C) Víbora áspid (*Vipera aspis*). Fotografías cedidas por Albert_Wildlife, fundador de bicheando.net.

Aunque el riesgo real es bajo, la ofidiofobia, con incidencias en la población de hasta un 35%¹, ha provocado la persecución y declive de muchas especies, todas protegidas por la ley.

Las tres víboras ibéricas (Figura 2) (*Vipera latastei*, *Vipera seoanei* y *Vipera aspis*) tienen distribuciones distintas y solo coinciden en Burgos y La Rioja (Figura 3). La víbora hocicuda (*Vipera latastei*) (Figura 2A) es la víbora que ocupa un biotopo más amplio, encontrándola en multitud de regiones de la península², con registros que se extienden desde el norte de Burgos hasta el sur de Cádiz.

“ En un contexto donde las víboras ibéricas desempeñan un papel esencial en el equilibrio ecológico de los ecosistemas peninsulares, los accidentes por mordedura requieren de la profesión veterinaria una profunda reflexión de cara a establecer protocolos específicos para su abordaje clínico. ”

La víbora cantábrica (*Vipera seoanei*) (Figura 2B), localizada en el noroeste peninsular³, y la víbora áspid (*Vipera aspis*) (Figura 2C) restringida al noreste⁴, presentan un biotopo mucho más delimitado, solo encontrando ejemplares en el tercio superior de la península. Las culebras, en cambio, habitan zonas más bajas; solo dos son venenosas, la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*)

(Figura 4A) y la culebra de cogulla (*Macroprotodon brevis*), pero su dentición opistoglifa limita considerablemente la inoculación efectiva del veneno en presas de mediano y gran tamaño.

Distinguir entre culebras y víboras es esencial en veterinaria, ya que, por su tipo de dentición, las culebras no representan un riesgo significativo ni para el ser humano ni para los animales domésticos.

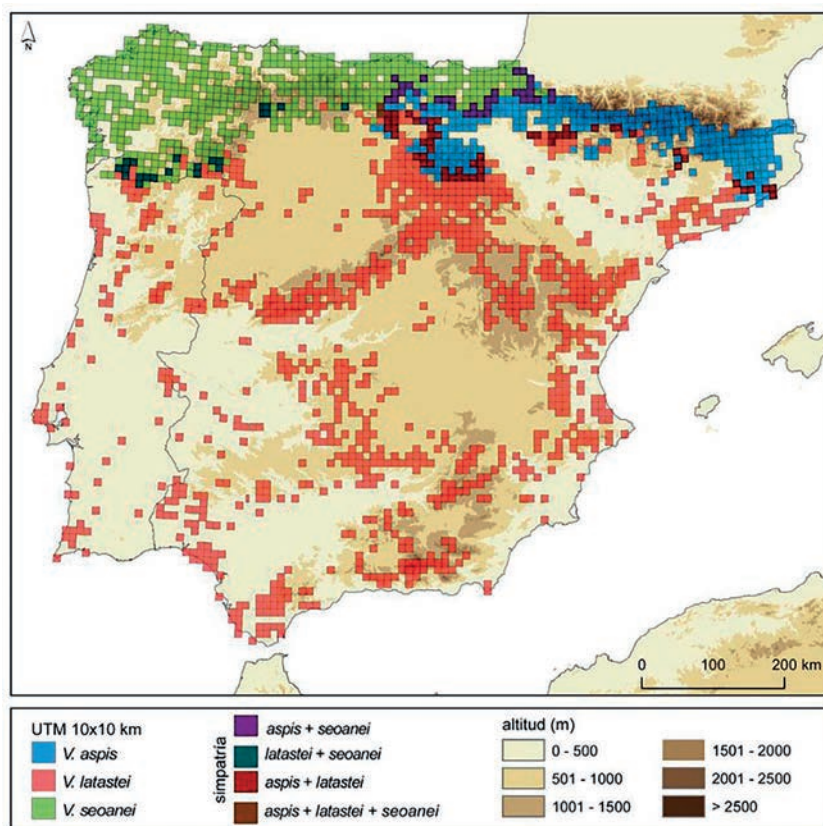


Figura 3. Mapa de la distribución de las 3 especies de víboras ibéricas autóctonas. Figura elaborada por Fernando Martínez-Freiria.

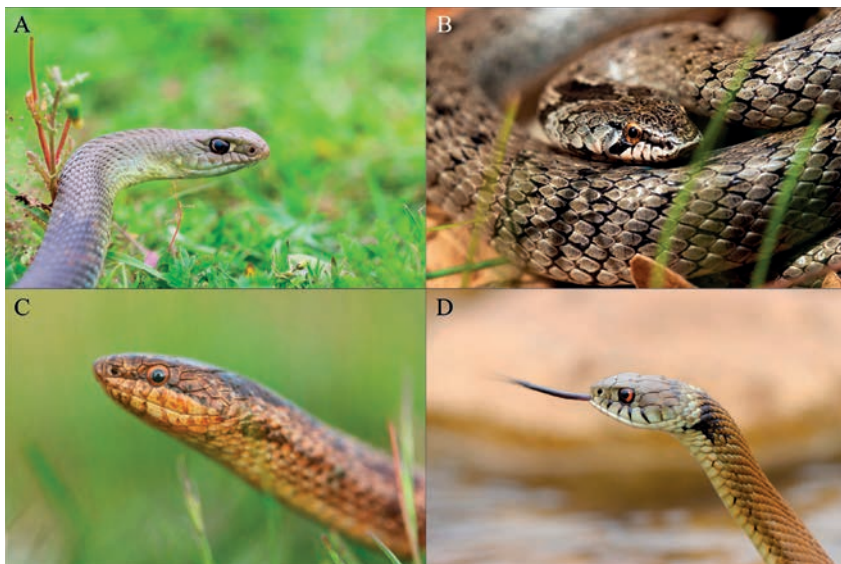


Figura 4. Fotografías de 4 de las 11 especies de culebras autóctonas peninsulares caracterizadas por su pupila redonda y amplia, que las diferencia de las víboras autóctonas. (A) Macho de culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) caracterizada por sus prominentes escamas supraoculares. (B) Culebra de cogulla (*Macropododon brevis*) caracterizada por su típico aplanamiento dorsoventral de la cabeza. (C) Culebra lisa europea (*Coronella austriaca*). (D) Culebra de collar (*Natrix astreptophora*) con su característico ojo de color naranja-rojo. Fotografías cedidas por Albert_Wildlife, fundador de bicheando.net.

Las culebras suelen requerir únicamente un tratamiento médico básico de la mordedura, similar al aplicado ante heridas sucias, mientras que las mordeduras de víbora exigen hospitalización y cuidados intensivos. Las principales diferencias morfológicas son la cabeza triangular, escamas cefálicas pequeñas, y pupila vertical en víboras, frente a cabeza redondeada, escamas cefálicas grandes, y pupila circular en culebras. Debido a ciertas variaciones interespecie, se considera que, en España, la mejor forma de diferenciar entre culebras y víboras autóctonas es fijarse en la forma de la pupila. Los veterinarios, especialmente en zonas rurales, deben conocer las especies locales y promover la educación sobre prevención y actuación ante mordeduras. En regiones donde la presencia de víboras es habitual, el veterinario debe desempeñar un papel activo en la conciencia-

ción de la población local, fomentando comportamientos seguros y la actuación inmediata y apropiada ante una mordedura.

Estudio Retrospectivo

El pasado septiembre se publicó en la prestigiosa revista *The Veterinary Journal* un artículo titulado "Retrospective analysis of the clinical approach practiced in dog bite cases caused by *Vipera latastei*, *Vipera seoanei* and *Vipera aspis*"⁵, donde se evaluaban los protocolos de manejo clínico actualmente empleados en España para casos de mordeduras de víboras en perros. Para conseguirlo, los autores seleccionaron 4 de las regiones montañosas más representativas de la península ibérica (Sierra de Gredos, Sierra de Guadarrama, Picos de Europa y Pirineos) abarcando así biotopos de

las 3 especies de víboras autóctonas. De cada región, se seleccionó un número representativo de centros veterinarios de pequeños animales. En total, el estudio incluyó 58 centros veterinarios diferentes, 13 pertenecientes a la Sierra de Gredos (región 1) y 13 de la Sierra de Guadarrama (región 2), donde habita la víbora hocicuda (*Vipera latastei*), 14 de Picos de Europa (región 3), el hábitat natural de la víbora cantábrica (*Vipera seoanei*), y 18 de Pirineos (región 4), donde se encuentra la víbora áspid (*Vipera aspis*) (Figura 5).

Para su desarrollo, el equipo de investigación perfiló un cuestionario específico que fue enviado a los Centros Veterinarios que desarrollaban su actividad clínica en las regiones seleccionadas. Con las respuestas obtenidas, teniendo en cuenta el historial clínico de cada paciente como fuente principal de información, se consiguió realizar una recopilación retrospectiva de múltiples variables, incluyendo antecedentes y datos demográficos de los pacientes, signos clínicos observados, modalidades de diagnóstico, uso de análisis complementarios (diagnóstico por imagen o análisis sanguíneos), pronósticos estimados, y tratamientos empleados.

El periodo de análisis comprendió nueve años (2015-2023), durante los cuales se revisaron un total de 62 historias clínicas de perros afectados por mordedura de víbora, distribuidas de la siguiente manera: 15 casos procedentes de la Sierra de Gredos (*Vipera latastei*), 8 de la Sierra de Guadarrama (*Vipera latastei*), 11 de los Picos de Europa (*Vipera seoanei*) y 28 de los Pirineos (*Vipera aspis*). Todas y cada una de las variables tenidas en cuenta fueron estadísticamente analizadas para la obtención de las correspondientes conclusiones.

Pacientes y Encuentros: Cuándo, Dónde y Por qué

Mediante este estudio, los autores pudieron constatar que, en consonancia con lo descrito en la literatura científica internacional⁶, la mayoría de las mordeduras de serpiente en perros en España se registran durante la primavera y el verano, coincidiendo con el aumento de la actividad de los reptiles debido a su fisiología ectotérmica y con una mayor presencia de personas y animales en entornos naturales. Durante el invierno, las serpientes permanecen en hibernación, lo que explica la casi total ausencia de casos en esta estación. Además, las mordeduras al inicio de la primavera tienden a ser más graves, ya que las víboras acumulan una mayor cantidad de veneno durante los meses de inactividad. En el estudio citado, el 53,9 % de los casos ocurrió en verano y el 41,2 % en primavera, re-

“ El principal escollo en la práctica clínica puesto en evidencia por el estudio analizado es la exclusión de terapia específica con suero antiofídico en todas las regiones analizadas, con independencia de la gravedad diagnóstica. ”

gistrándose solo un caso en otoño y ninguno en invierno.

Los accidentes se producen sobre todo en zonas de montaña, hábitats preferentes de las víboras, a diferencia de la mayoría de las culebras, que ocupan áreas de menor altitud. Por ello, es fundamental realizar una anamnesis detallada para orientar el diagnóstico, ya que algunas especies de culebras no venenosas, como la *Coronella austriaca* (Figura 4D), pueden coexistir con las víboras en estos entornos, lo que impide basar el diagnóstico únicamente en la localización geográfica.

El estudio también mostró una mayor incidencia en perros de tamaño mediano y en razas asociadas al medio rural o a la caza, probablemente por su mayor exposición a hábitats donde habitan las víboras. Las razas urbanas, en cambio, presentan un riesgo menor debido a su limitada interacción con estos entornos naturales.

En cuanto a la zona corporal afectada, la cabeza y las extremidades anteriores fueron las más frecuentemente mordidas (90,3 % de los casos), lo que refleja el comportamiento natural de los perros, que tienden a explorar el entorno con el hocico. La localización de la mordedura tiene gran importancia pronóstica, ya que la inflamación causada por el veneno es más peligrosa cuando ocurre cerca de las vías respiratorias o de órganos vitales.

En conjunto, estos factores (estacionalidad, hábitat, raza y zona afectada) deben tenerse en cuenta al abordar el diagnóstico y el tratamiento clínico de las mordeduras, permitiendo una evaluación diagnóstica y pronóstica más precisa, así como una adaptación del manejo terapéutico a cada caso individual.

La Huella de la Mordedura: Signos Clínicos Principales

El veneno de las tres víboras ibéricas tiene principalmente acción hemotóxica, afectando a la coagulación y el equilibrio hemostáti-

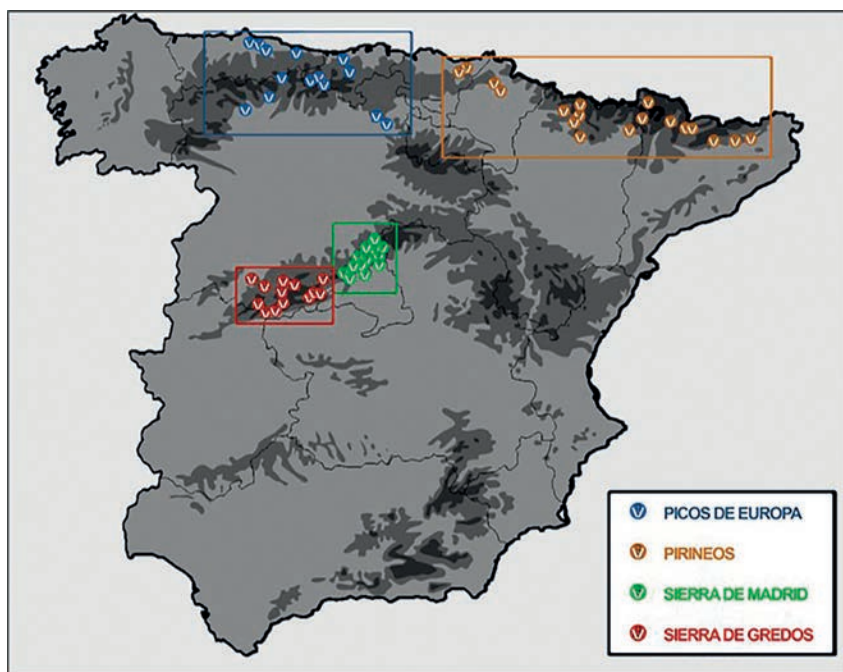


Figura 5. Localización de las áreas geográficas seleccionadas para la evaluación de los casos de mordedura de víbora en perros, y la situación de cada uno de los Centros Veterinarios originarios de los expedientes clínicos analizados.

Grade	Envenomation	Clinical features
0	No envenomation White snap	Fang marks No oedema No local reaction
1	Minimal envenomation	Local oedema around the site of bite No systemic symptoms
2	Moderate envenomation	2a Regional oedema (most of the bitten limb) and/or haematoma, adenopathy 2b Grade 2a + moderate general symptoms: mild hypotension, vomiting, diarrhoea, neurotoxic signs and/or biological criteria for severity: Thrombocytes < 150 G/L Leukocytes > 15 G/L INR > 1,5 Fibrinogen < 2 g/L
3	Severe envenomation	Extensive oedema spreading to the trunk and/or Severe general symptoms (severe hypotension < 80 mmHg systolic, shock, bleeding)

Figura 6. Escala de gradación de envenenamientos elaborada para medicina humana. Desarrollada por Audebert et al. (1992) y modificada posteriormente por Boels et al. (2012). Figura reproducida de Boels et al. (2012)

co, mientras que las dos culebras venenosas presentan un veneno de tipo neurotóxico, aunque mucho menos potente que el de especies de otros continentes^{7,8}.

En el estudio, los autores observaron como la mayoría de los perros mordidos mostraban signos locales (edema, inflamación, hematomas, necrosis regional, y dolor intenso), aunque algunos desarrollaron síntomas sistémicos como fiebre, palidez de mucosas, hemorragias, depresión y, en casos graves observados en zonas de la Sierra de Guadarrama y Pirineos, arritmias o fallo renal. Los signos neurológicos se observaron únicamente en animales mordidos por *Vipera aspis* en los Pirineos.

Según la escala de envenenamiento desarrollada para medicina humana por Audebert y col., y modificada posteriormente por Boels y col. en 2012⁹ (Figura 6), las mordeduras de *Vipera aspis* se asociaron con grados más altos de gravedad, lo que confirma su mayor toxicidad y el peor pronóstico en esa región, frente a *Vipera latastei* y *Vipera seoanei*, cuyos efectos (grados 1 y 2) fueron mayoritariamente locales (Figura 7). Esta aparente mayor

toxicidad quedó reflejada en el mayor número de pronósticos reservados en los Pirineos, implicando un compromiso sistémico mayor que en la Sierra de Gredos, los Picos de Europa y la Sierra de Guadarrama.

El estudio demuestra que la gravedad y presentación clínica de las mordeduras varían según la especie y la zona geográfica, lo que resalta la necesidad de desarrollar protocolos veterinarios regionales. Estos deben considerar las diferencias en la composición del veneno, la disponibilidad de

siero antiofídico, y la formación de los profesionales, con el fin de mejorar el tratamiento, reducir la mortalidad y optimizar la recuperación de los animales afectados.

Observación y Anamnesis como Herramientas de Diagnóstico

El diagnóstico de mordeduras de víbora en perros depende en gran medida del contexto y de la información proporcionada por

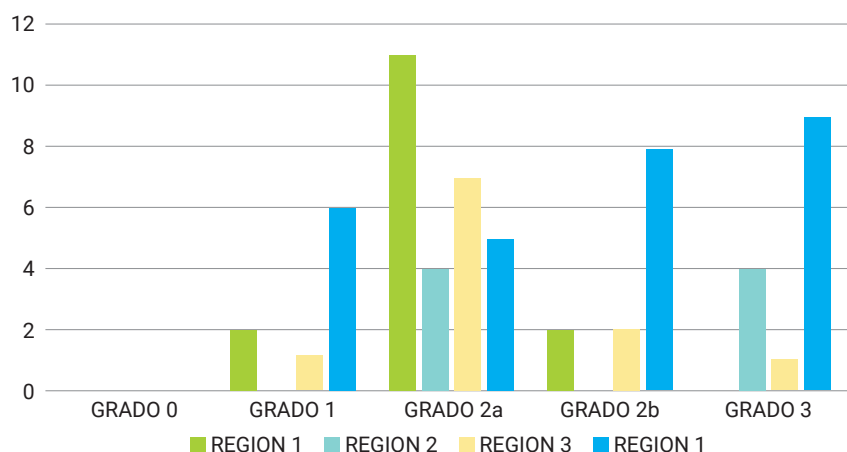


Figura 7. Gradación de envenenamientos por región estudiada, de acuerdo con la clasificación de grados de envenenamiento elaborada por Audebert et al. (1992) y modificada posteriormente por Boels et al. (2012).

los propietarios. En casi el 70 % de los casos del estudio, el diagnóstico se basó en la observación directa del accidente o en la presencia de la serpiente en el lugar, lo que resalta la importancia del testimonio inicial, especialmente en zonas de montaña donde identificar la especie es clave para un tratamiento rápido y adecuado.

La educación pública sobre cómo distinguir entre culebras y víboras resulta esencial, sobre todo en áreas rurales. Además, el diagnóstico debe apoyarse en los signos clínicos del animal, diferenciando las mordeduras no venenosas de culebras, que causan inflamaciones leves y sin edema significativo, de las mordeduras de víboras, que provocan edema intenso, hematomas, necrosis y posibles síntomas sistémicos por el efecto hemotóxico del veneno, fruto de la acción de diversas moléculas citotóxicas implicadas en la diseminación del resto de toxinas hacia el torrente sanguíneo.

El análisis de la marca de la mordedura (Figura 8) puede también ayudar al diagnóstico, permitiendo diferenciar entre serpientes venenosas y no venenosas, así como entre víboras y otros animales ponzoñosos que requieren distintos tratamientos y presentan pronósticos diferentes.

El Futuro tras el Colmillo: ¿Cuál es el Pronóstico de estos Casos?

El pronóstico de los animales domésticos mordidos por serpientes fue muy variable y dependió de múltiples factores, entre ellos la edad, el peso, la zona afectada, la especie implicada, y el estado general del paciente. Los animales pequeños o de edad avanzada presentan mayor riesgo de mortalidad¹⁰, ya que el volumen de

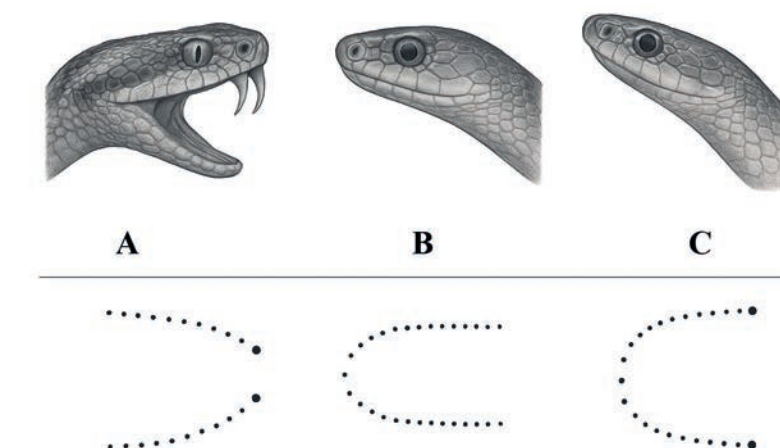


Figura 8. Ilustración de los tipos de marca tras una mordedura por los diferentes tipos de ofidios peninsulares. (A) Víboras ibéricas. Caracterizadas por su dentición solenoglifa, dejando la marca de sus 2 colmillos inoculadores de veneno en la porción más craneal de la mordedura. (B) Culebras ibéricas no ponzoñosas. Caracterizadas por su dentición aglifa, sin dientes inoculadores de veneno. (C) Culebras ibéricas ponzoñosas (*Malpolon monspessulanus* y *Macroprotodon brevis*). Caracterizadas por su dentición opistoglifa, dejando la marca de sus 2 colmillos inoculadores de veneno en la porción más caudal de la mordedura.

veneno inoculado no depende del tamaño de la presa, lo que genera una dosis proporcionalmente más alta en cuerpos pequeños. La localización de la mordedura también influye de forma directa en la gravedad, y la agitación del animal puede acelerar la diseminación del veneno.

Otros factores determinantes incluyen el número de mordeduras, el tamaño y edad de la serpiente, y el tiempo transcurrido desde su última inoculación de veneno. Además, la rapidez y calidad del tratamiento inicial son cruciales para la supervivencia, por lo que cada caso debe evaluarse de forma individual, considerando de forma integral todos los factores que afectan la supervivencia.

Los datos provenientes de ese estudio evidenciaron que la mayoría de los casos tuvieron un pronóstico reservado (56,4 %), seguido de favorable (37 %) y desfavorable (6,4 %). La mortalidad total fue del 6,5 %, similar a la registrada en Europa¹¹ (0–7 %), pero mucho menor que la observada en otros

continentes, como Australia, donde las serpientes poseen venenos más potentes. En comparación con la medicina humana, donde la mortalidad por mordeduras en España es del 1 %, los perros presentaron un riesgo mayor, principalmente por su menor tamaño corporal y por la menor disponibilidad o uso de suero antiofídico en veterinaria.

El Reto Veterinario frente al Abordaje Clínico

Los protocolos terapéuticos empleados en los centros veterinarios mostraron una gran variabilidad entre regiones y clínicas. Los tratamientos más comunes fueron los glucocorticoides (85,7 %), antibióticos (80,9 %), opioides (66,6 %) y la fluidoterapia (57,1 %), mientras que el suero antiofídico no se utilizó en ningún caso (Figura 9). También se emplearon, aunque con menor frecuencia, antihistamínicos (23,8 %), anticoagulantes y transfusiones de plasma (19 %), antiinflamatorios no



“ La profesión Veterinaria debería hacerse eco de que el verdadero progreso, en los accidentes por mordedura de víbora a nuestros animales domésticos, radica en sustituir el miedo por conocimiento y transformar la falta de información en responsabilidad y cooperación científica. ”

esteroideos y vitamina K (14,2 %), y otros fármacos de apoyo, como antieméticos, inhibidores de la bomba de protones y antiarrítmicos (9 %).

El uso generalizado de antibióticos y glucocorticoides observado en este estudio, pese a su elevada utilización (80,9 % y 85,7 %, respectivamente), resulta especialmente controvertido, ya que la literatura científica no respalda su aplicación rutinaria en los envenenamientos por víboras. En medicina humana, su uso se limita a casos específicos, y su administración indiscriminada en animales puede provocar efectos adversos y favorecer la resistencia antimicrobiana.

Por el contrario, la analgesia y la fluidoterapia, también ampliamente utilizadas, sí cuentan con un sólido respaldo científico y forman parte del tratamiento estándar tanto en medicina humana como veterinaria¹². Otros fármacos, como los antihistamínicos (23,8 %) o los antiinflamatorios no esteroideos (14,28 %), presentan un uso más controvertido por su eficacia incierta o por los posibles efectos secundarios sobre la función plaquetaria, renal o digestiva. Finalmente, la administración de vitamina K y otros tratamientos complementarios, planteada por algunos centros veterinarios, no se ve soportada por evidencia científica que avale su uso, si bien podría inducir a una falsa percepción

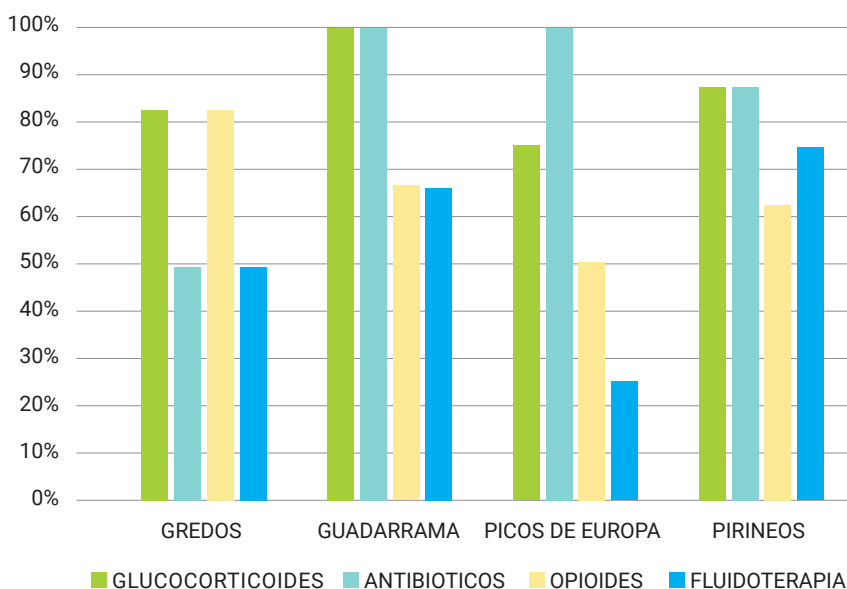


Figura 9. Esquema de tratamientos más utilizado en los protocolos distribuido por región estudiada.

de mejoría en perros con envenenamientos leves. Por ello, es recomendable reservarlos para situaciones clínicas que lo justifiquen.

La ausencia del suero antiofídico en los protocolos españoles contrasta con su recomendación como tratamiento de elección en la literatura internacional¹³. Su escaso uso podría deberse a factores logísticos y económicos, así como a la baja frecuencia de casos graves en cada centro. No obstante, se aconseja disponer de él en regiones con mayor incidencia, combinándolo con tratamiento sintomático y utilizando escalas de gradación del envenenamiento para guiar su aplicación. En este sentido, uno de los retos pendientes estaría en la elaboración de una escala de gradación específica, a partir de la desarrollada por Boels y col.⁹, para las mordeduras de víboras europeas en animales domésticos.

Finalmente, la marcada falta de estandarización en los tratamientos veterinarios resalta la necesidad urgente de establecer protocolos unificados, tanto a nivel nacional como internacional. Estos deberían adaptarse a las características específicas de cada especie de serpiente y región geográfica, especialmente en zonas como los Pirineos, donde se ha observado un mayor número de casos con afectación sistémica. Es evidente la problemática que genera no estandarizar un protocolo de tratamiento en medicina veterinaria, encontrando una gran cantidad de protocolos diferentes para una misma enfermedad, lo cual sería impensable para otras enfermedades más frecuentes en la medicina veterinaria moderna.

Futuro y Nuevas Perspectivas

En un contexto donde las víboras ibéricas desempeñan un papel

esencial en el equilibrio ecológico de los ecosistemas peninsulares, los accidentes por mordedura requieren de la profesión veterinaria una profunda reflexión de cara a establecer protocolos específicos para su abordaje clínico.

El principal escollo en la práctica clínica puesto en evidencia por el estudio analizado es la exclusión de terapia específica con suero antiofídico en todas las regiones analizadas, con independencia de la gravedad diagnóstica. Esta circunstancia lleva inevitablemente a la conclusión de que resulta necesaria tanto una evaluación de viabilidad logística y económica del uso del suero, como la creación de centros regionales para el almacenamiento y aplicación de sueros, junto con el desarrollo de una escala de gradación de

envenenamiento específica para animales de compañía.

Otra conclusión derivada del estudio analizado es que la investigación actual acerca de accidentes por mordedura de víbora se centra casi exclusivamente en perros, obviando la respuesta de otras especies, como los gatos, a dichos accidentes, así como los tratamientos más adecuados. Resulta cada vez más prioritario que los profesionales veterinarios dispongan de protocolos específicos y eficaces, adaptados a cada especie y contexto ecológico. Pieza fundamental para ello resulta el entorno universitario, de cara a incorporar de forma más amplia la Ofidiología Clínica Veterinaria, especialmente en aquellas Facultades cercanas a entornos propicios para ser considerados

como hábitats de estas víboras, y complementarse con programas de educación pública sobre prevención y primeros auxilios.

Finalmente, y como última conclusión al análisis realizado, la amplia variabilidad en el abordaje clínico practicado en los diferentes Centros Veterinarios hace necesario plantear la creación de Registros Nacionales y la comparación de datos entre regiones, lo cual permitiría ajustar los protocolos locales dentro de un marco internacional unificado. La profesión Veterinaria debería hacerse eco de que el verdadero progreso, en los accidentes por mordedura de víbora a nuestros animales domésticos, radica en sustituir el miedo por conocimiento y transformar la falta de información en responsabilidad y cooperación científica.

Bibliografía

1. Agras, S., Sylvester, D., & Oliveau, D. (1969). The epidemiology of common fears and phobia. *Comprehensive psychiatry*, 10(2), 151-156. [https://doi.org/10.1016/0010440X\(69\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0010440X(69)90022-4)
2. Brito, J. C. A., & Salvador Milla, A. (2017). Víbora hocicuda–*Vipera latastei* Boscá, 1878. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.) Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2-25. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/8808>
3. Brito, J. C. A., & Salvador Milla, A. (2021). Víbora cantábrica–*Vipera seoanei* Lataste, 1879. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2-14. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/8809>
4. Martínez-Freiría, F., & Salvador Milla, A. (2021). Víbora áspid–*Vipera aspis* (Linnaeus, 1758). En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2-23. <http://dx.doi.org/10.20350/digitalCSIC/8651>
5. Aradilla, N. & Sánchez-Fortún, S. (2025). Retrospective analysis of the clinical approach practiced in dog bite cases caused by *Vipera latastei*, *Vipera seoanei* and *Vipera aspis*. *The Veterinary Journal*, 106446. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2025.106446>
6. Snakebite in domestic animals: First global scoping review. *Preventive veterinary medicine*, 170, 104729. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104729>
7. Martín-Sierra, C., Nogué-Xarau, S., Pinillos Echeverría, M. Á., & Rey Pecharromán, J. M. (2018). Snakebite poisoning in Spain. *Emergencias: Revista de La Sociedad Española de Medicina de Emergencias*, 30(2), 126–132. 2017 <https://revistaemergencias.org>
8. Leisewitz, A. L., Blaylock, R. S., Kettner, F., Goodhead, A., Goddard, A., & Schoeman, J. P. (2004). The diagnosis and management of snakebite in dogs-a southern African perspective. *Journal of the South African Veterinary Association*, 75(1), 7-13. <https://hdl.handle.net/10520/EJC99560>
9. Boels, D., Hamel, J. F., Deguigne, M. B., & Harry, P. (2012). European viper envenomings: Assessment of Viperfav™ and other symptomatic treatments. *Clinical toxicology*, 50(3), 189-196. <https://doi.org/10.3109/15563650.2012.660695>
10. Witsil, A. J., Wells, R. J., Woods, C., & Rao, S. (2015). 272 cases of rattlesnake envenomation in dogs: demographics and treatment including safety of F (ab) 2 antivenom use in 236 patients. *Toxicon*, 105, 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.08.028>
11. Sutton, N. M., Bates, N., & Campbell, A. (2011). Canine adder bites in the UK: a retrospective study of cases reported to the Veterinary Poisons Information Service. *Veterinary Record*, 169(23), 607-607. <https://doi.org/10.1136/vr.d4695>
12. Armentano, R. A., & Schaer, M. (2011). Overview and controversies in the medical management of pit viper envenomation in the dog. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 21(5), 461-470. <https://doi.org/10.1111/j.14764431.2011.00677.x>
13. Bolon, I., Finat, M., Herrera, M., Nickerson, A., Grace, D., Schütte, S., Babo, S., & de Castañeda, R. R. (2019). Snakebite in domestic animals: First global scoping review. *Preventive veterinary medicine*, 170, 104729. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104729>

El cáncer: una enfermedad genética

ISMAEL BUÑO^{1,2*}, RAQUEL FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ^{1,2},
CAROLINA MARTÍNEZ-LAPERCHE^{1,2}.

¹ Laboratorio de Genética Hematológica. Servicio de Hematología. Hospital G.U. Gregorio Marañón. Madrid.

² Área de Oncología Traslacional. Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón (IISGM). Madrid.

* Autor para la correspondencia: ismaelbuno@iisgm.es

El cáncer representa uno de los mayores desafíos sanitarios desde un punto de vista clínico, social y económico, afectando de forma significativa tanto a los seres humanos como a los animales de compañía, silvestres, o de producción (Schiffman & Breen, 2015). En animales de compañía es una de las principales causas de muerte, especialmente en perros y gatos de edad avanzada.

Durante décadas, el cáncer se ha abordado principalmente desde una perspectiva sintomatológica —clínica— y morfológica —observando las células bajo el microscopio y clasificando tumores por su aspecto y localización—. Sin embargo, la revolución genética de las últimas décadas y la genómica de los últimos años, sobre todo tras el advenimiento de las técnicas de secuenciación de nueva generación, ha transformado radicalmente nuestra comprensión de la enfermedad. Hoy es bien conocido que el cáncer es una enfermedad genética provocada por alteraciones en genes que controlan procesos celulares relevantes tales como la división, la diferenciación y la muerte celular (Vogelstein et al., 2013). Esta perspectiva molecular del cáncer no es meramente académica, pues tiene implicaciones directas en la práctica clínica. La medicina genómica permite

diagnosticar con mayor precisión, establecer el pronóstico de forma más fiable e indicar el tratamiento más adecuado a cada caso, incluyendo, cada vez más, tratamientos dirigidos específicamente a las alteraciones moleculares de cada tumor (Garraway & Lander, 2013). Estamos asistiendo a una transición, desde una medicina tradicional, en la que un mismo tratamiento se aplicaba a todos los pacientes con un diagnóstico similar, hacia una medicina personalizada o de precisión, en la que el tratamiento se adapta a las características moleculares únicas de cada paciente y su tumor.

El ADN: El libro de instrucciones de la vida

Antes de adentrarnos en la implicación de las alteraciones genéticas en el desarrollo de cáncer, es conveniente repasar algunos fundamentos básicos de genética, empezando por la molécula que almacena la información genética: el ácido desoxirribonucleico o ADN. El ADN está compuesto por unidades estructurales básicas llamadas nucleótidos. Cada nucleótido consta de tres componentes principales: un grupo

Estructura Química de un Nucleótido

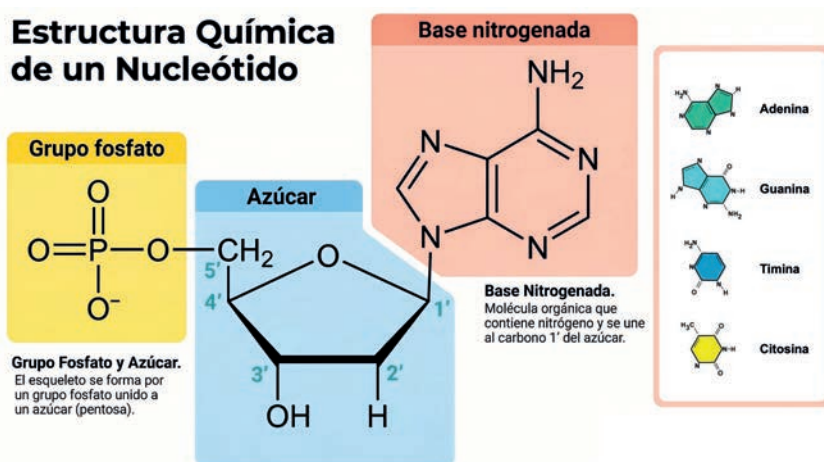


Figura 1. Estructura química del nucleótido de ADN el cual consta de tres componentes principales: un grupo fosfato, un azúcar (desoxirribosa, pues carece del oxígeno en el radical del carbono 2 del azúcar) y una base nitrogenada. Existen cuatro bases nitrogenadas diferentes en el ADN: adenina (A), guanina (G), timina (T) y citosina (C).

fosfato, un azúcar (desoxirribosa) y una base nitrogenada. Existen cuatro bases nitrogenadas diferentes en el ADN: adenina (A), guanina (G), timina (T) y citosina (C) (Figura 1). Estas cuatro “letras” constituyen el alfabeto genético, y su secuencia específica a lo largo de la molécula de ADN codifica toda la información necesaria para construir y mantener un organismo vivo.

Los nucleótidos se unen entre sí formando largas cadenas, estableciendo enlaces entre el grupo fosfato de un nucleótido y el azúcar del siguiente. Esta conexión crea una suerte de columna vertebral de azúcar-fosfato con las bases nitrogenadas proyectándose hacia un lado. Una de las características fundamentales del ADN es la complementariedad de las bases nitrogenadas. La adenina siempre se empareja con la timina mediante dos puentes de hidrógeno, mientras que la guanina siempre se empareja con la citosina mediante tres puentes de hidrógeno. Esta regla de emparejamiento —A con T, G con C— es absolutamente fundamental y tiene consecuencias cruciales para la replicación del ADN y la transmisión de la información genética. Gracias a esta complementariedad de bases, el ADN existe normalmente en forma de doble cadena unidas por los puentes de hidrógeno entre las bases complementarias. Adicionalmente, las dos hebras de nucleótidos se enrollan en hélice formando la famosa doble hélice de ADN descrita por Watson y Crick en colaboración con Rosalin Franklin y Maurice Wilkins (Watson & Crick, 1953).

La asombrosa longitud del ADN

Una de las realidades más fascinantes del ADN que, además, tiene implicaciones biológicas en el contexto que estamos tratando en este artículo, es su extraordinaria

“La caracterización genética de los pacientes contribuye a la definición del pronóstico, pues el perfil genético de un tumor frecuentemente predice su comportamiento clínico mejor que las características histológicas convencionales.”

longitud. El ADN contenido en una sola célula humana mide aproximadamente dos metros (Tabla 1). Si sumáramos la longitud del ADN de todas las células nucleadas de un organismo humano (unos 37 billones de células), comprobamos que el ADN de una persona es capaz de recorrer la distancia entre la Tierra y el Sol más de 500 veces (Figura 3) o de completar la distancia entre el Sol y Neptuno unas 17 veces.

Otro aspecto del máximo interés consiste en que esos dos metros de ADN por célula deben contenerse dentro del núcleo celular, que tiene un diámetro medio de apenas cinco micrómetros. De nuevo, para poner las medidas en una perspectiva fácilmente valorable, diremos que sería como comprimir 26 kilómetros de hilo dentro de una pelota de tenis. Este empaquetamiento extraordinario se logra mediante un proceso de asociación del ADN con proteínas y de compactación para constituir la cromatina. El ADN se enrolla primero alrededor de proteínas llamadas histonas, formando es-

tructuras similares a cuentas en un collar denominadas nucleosomas. Estos nucleosomas se enrollan a su vez formando fibras de cromatina de orden superior, que finalmente se condensan formando los cromosomas, visibles durante la división celular.

El dogma central de la biología molecular

El ADN cumple dos funciones fundamentales que podríamos llamar sus “deberes” biológicos: expresarse y perpetuarse.

La expresión del ADN sigue lo que se conoce como el dogma central de la biología molecular: la información se transfiere del ADN al ARN (mediante un proceso llamado transcripción) y del ARN a las proteínas (mediante un proceso llamado traducción) (Crick, 1970). Mientras la información está escrita en el ADN, las proteínas son las principales moléculas efectoras que realizan la mayoría de las funciones celulares. El código genético es el sistema de correspondencia entre la secuencia de nucleótidos del ADN

Tabla 1. Cálculo de la cantidad de ADN de una persona a partir del número de nucleótidos (bases) del genoma humano, la distancia física entre dos nucleótidos y el número de células nucleadas de un organismo medio.

Distancia base-base = $3.4 \text{ \AA} = 3.4 \times 10^{-10} \text{ m}$	(0,00000000034)
Nucleótidos (haploide) por célula = 3×10^9	(3.000.000.000)
Nucleótidos (totales) por célula = 6×10^9	(6.000.000.000)
Longitud ADN por célula = 2.04 m	
Células nucleadas en un cuerpo humano = 37×10^{12}	(37.000.000.000.000)
Longitud ADN de un cuerpo humano = $75,48 \times 10^{12} \text{ m}$	(75.480.000.000.000)

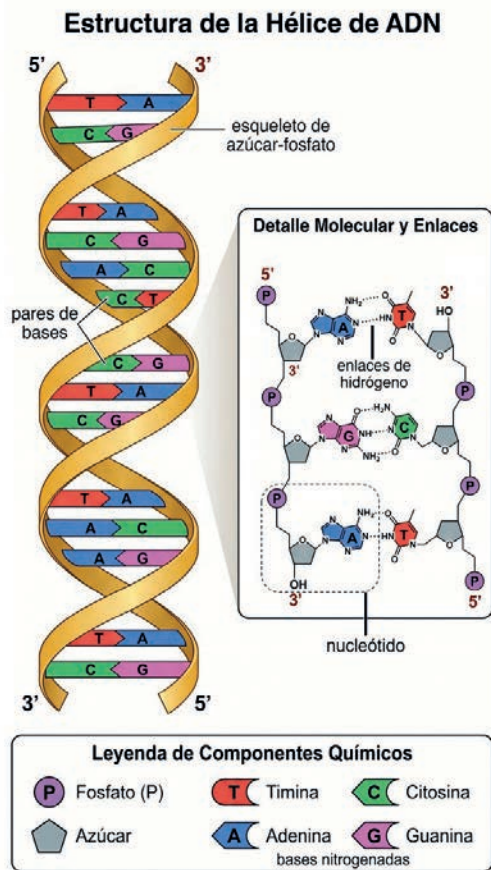


Figura 2. Estructura del ADN en forma de doble hélice similar a una escalera de caracol en la que el esqueleto de azúcar-fosfato constituiría el pasamano y los pares de bases nitrogenadas unidos por puentes de hidrógeno formarían los escalones.

y la secuencia de aminoácidos en las proteínas. Un triplete de nucleótidos, llamado codón, codifica para un aminoácido particular. Considerando que hay cuatro bases nitrogenadas posibles en cada posición, existen 64 combinaciones diferentes de tripletes, que codifican los 20 aminoácidos más señales de inicio y parada de la traducción.

La segunda función principal del ADN es perpetuarse, lo que se logra mediante la replicación. Antes de cada división celular, la doble hélice se abre y cada cadena sencilla sirve como molde (gracias a la complementariedad de bases) para sintetizar una nueva cadena

complementaria. Este proceso produce dos moléculas de ADN idénticas a la original.

El cambio genético: un proceso con cara y cruz

La variabilidad genética como motor de la evolución

Para que pueda tener lugar la evolución de las especies es preciso que el ADN tenga capacidad de cambiar. La vida en la Tierra existe desde hace aproximadamente 3.800 millones de años. Durante este tiempo inmenso, el ADN ha cambiado constantemente. Las variantes genéticas —alteraciones en la secuencia del ADN— son la materia prima de la evolución, el mecanismo que ha generado toda la diversidad biológica que observamos.

Una vez más, para visualizar la escala temporal de la evolución, hagamos una comparación con magnitudes cotidianamente conocidas. La distancia entre Madrid y San Petersburgo es de unos 3.800 kilómetros. Si este recorrido representara la historia de la vida, si la vida hubiera surgido en Madrid y hoy hubiera llegado a San Petersburgo, los primeros homínidos habrían aparecido sobre la faz de la Tierra cuando faltaban apenas 7 kilómetros para llegar al destino. Los primeros representantes del género *Homo* habrían surgido a 1,8 kilómetros. Y nosotros, *Homo sapiens*, habríamos aparecido a solo 200 metros de San Petersburgo.

El destino evolutivo de las variantes

Desde una perspectiva evolutiva, las variantes pueden tener tres destinos principales. Las **variantes beneficiosas** confie-

ren alguna ventaja adaptativa al organismo que las contiene. Son relativamente raras, pero cuando ocurren, la selección natural tiende a favorecer su propagación en la población. Son el motor del progreso evolutivo. Las **variantes neutras** no tienen efectos perceptibles sobre la supervivencia o reproducción, especialmente las que ocurren en regiones no codificantes del genoma (regiones que no contienen información que se acabe traduciendo directamente en aminoácidos de una proteína, como regiones reguladoras, etc.). Estas variantes neutras constituyen la base de los polimorfismos genéticos, las variaciones normales entre individuos que no tienen consecuencias patológicas.

Las **variantes deletéreas** generan algún perjuicio para el organismo. La selección natural tiende a eliminarlas de la población.

Paradójicamente, en el contexto del cáncer, las variantes relevantes son aquellas que confieren una “ventaja” —la capacidad de proliferar más rápidamente, evadir la muerte celular programada, escapar del control inmune, o invadir tejidos circundantes— a las células que las albergan, aunque supongan un perjuicio para el organismo que contiene esas células.

Tipos de variantes genéticas

Las variantes genéticas pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios. Por ejemplo, según su escala, podemos distinguir desde variantes puntuales (cambios de un solo nucleótido por otro), inserciones o deleciones (adición o pérdida de uno o más nucleótidos), reordenamientos cromosómicos (alteraciones grandes que afectan segmentos cromosómicos completos, incluyendo translocaciones, inversiones, duplicaciones o pérdidas de

regiones cromosómicas enteras) y hasta aneuploidías (pérdida o ganancia de cromosomas completos). Por supuesto, sus efectos serán distintos sobre la función génica, criterio que también permite una clasificación de las variantes en silenciosas (si no alteran la proteína codificada, debido a que un aminoácido puede estar codificado por más de un codón), de sentido erróneo (cambian un aminoácido por otro en la proteína), sin sentido (introducen una señal de parada prematura, truncando la proteína e impidiendo su producción normal), de cambio de marco de lectura (alteran completamente la secuencia de aminoácidos a partir del punto de la variante). Es interesante destacar, continuando con este último ejemplo, como la inserción o delección de un único nucleótido, variante que podríamos considerar pequeña teniendo en cuenta su escala, sin embargo, tiene un importante efecto biológico, pues cambia el marco de lectura. Al ganarse o perderse una de las letras (nucleótido) de la frase (gen), las palabras de tres letras (codones) serán todas distintas, con lo que la proteína resultante será completamente aberrante y carente de su función original.

Origen de las variantes genéticas

La presencia de una variante genética en un individuo con cáncer puede tener tres orígenes principales. En primer lugar, se pueden producir **errores aleatorios en el ADN durante la replicación celular**, pues cada vez que una célula se divide, debe copiar sus aproximadamente 3.000 millones de pares de bases. A pesar de los sofisticados sistemas de control del proceso, de los que hablaremos más adelante, inevitablemente ocurren errores. En segundo lugar, pueden producirse **alteraciones en el ADN debido al efecto de carcinógenos**, tales como los rayos ultravioleta del sol, que pueden alterar físicamente las hebras de ADN, las sustancias químicas en el humo del tabaco se pegan al ADN y confunden a la maquinaria de copia, o ciertos virus que pueden insertar su material genético en el de la célula huésped. Por último, puede haber **variantes heredadas de la madre o el padre**, transmitidas a través de los óvulos o espermatozoides, como el ejemplo clásico de las variantes en los genes BRCA1 y BRCA2, que aumentan significativamente el riesgo de cáncer de mama y ovario.

Los sistemas de protección celular

Hemos comentado que las variantes genéticas se producen constantemente en nuestros organismos, por ejemplo, en cada división celular. Sin embargo, no desarrollamos cáncer con tanta frecuencia ni desde edades tempranas de la vida. El motivo principal que justifica este hecho es que las células han evolucionado múltiples sistemas de defensa contra las alteraciones genéticas potencialmente peligrosas. El cáncer surge cuando estos sistemas fallan secuencialmente (Hanahan & Weinberg, 2011).

Reparación del ADN

El primer nivel de protección es la reparación del ADN. Las células poseen una maquinaria (proteica) sofisticada de vigilancia y reparación que constantemente escanea el genoma en busca de errores y los corrige. Cuando estos sistemas funcionan correctamente, la mayoría de las variantes potenciales son corregidas antes de que puedan causar daño. Sin embargo, ocasionalmente ocurre que una variante escapa a este



Figura 3. El ADN de una única persona (sumando el ADN de todas sus células nucleadas) tendría una longitud suficiente para recorrer 503 veces la distancia entre el Sol y la Tierra. Imagen preparada con ayuda de la inteligencia artificial a partir de información original de los autores.

“Las técnicas genéticas (moleculares) permiten hacer el seguimiento de la respuesta al tratamiento, comprobando la presencia o ausencia de enfermedad residual, con sensibilidad imposible de alcanzar por métodos convencionales.”

control. Es importante destacar que los genes que codifican las proteínas de reparación del ADN pueden, ellos mismos, sufrir variantes. Cuando esto ocurre, la capacidad de reparación celular se ve comprometida, y las alteraciones comienzan a acumularse a un ritmo acelerado. Esta situación, conocida como inestabilidad genómica, es una característica común de diversos cánceres.

Apoptosis: El suicidio celular

El segundo nivel de protección es la apoptosis, o muerte celular programada. Cuando una célula detecta que ha sufrido daños genéticos irreparables, puede activar un programa de autodestrucción ordenada (Kerr et al., 1972). La célula se fragmenta de manera controlada, y sus restos son fagocitados por células vecinas sin provocar inflamación. La apoptosis es un mecanismo de “suicidio altruista”: la célula individual se sacrifica por el bien del organismo. Es preferible que una célula potencialmente peligrosa muera a que sobreviva y dé origen a un clon canceroso.

El gen *TP53*, que codifica la proteína p53, juega un papel central en la decisión entre reparación y apoptosis (Lane, 1992). Cuando se detecta daño en el ADN, p53 detiene el ciclo celular para permitir la reparación. Si el daño es demasiado extenso para ser reparado, p53 activa la apoptosis. Por esta función crítica, *TP53* se conoce como el “guardián del ge-

noma”, y es el gen más frecuentemente alterado en cánceres humanos.

El sistema inmune: La última línea de defensa

El tercer nivel de protección es el sistema inmune. Incluso si una célula acumula variantes y evade la apoptosis, puede contener modificaciones reconocibles por el sistema inmune como anormal y eliminarla (Dunn et al., 2004).

Las células cancerosas frecuentemente expresan en su superficie proteínas alteradas (llamadas neoantígenos) que pueden ser reconocidas como “no propias” y eliminadas por el sistema inmune en un proceso conocido como inmunovigilancia tumoral.

Sin embargo, los tumores pueden evolucionar mecanismos para evadir el sistema inmune (modificando la expresión de moléculas de superficie, secretando factores inmunosupresores, o reclutando células inmunes reguladoras que inhiben la respuesta antitumoral).

El desarrollo del cáncer, por tanto, requiere que múltiples sistemas de protección fallen simultáneamente. En la mayor parte de los casos es necesario que se acumulen distintas variantes genéticas que alteren más de uno de los procesos fisiológicos involucrados, es decir, que estimulen la proliferación celular, que inactiven los mecanismos de control del ciclo celular, que eviten la apoptosis, que permitan escapar de la inmunovigilancia y, eventualmen-

te, confieran capacidad de invadir tejidos y establecer metástasis. Este requerimiento de varias alteraciones explica por qué el cáncer es típicamente una enfermedad de la edad avanzada, pues se necesita tiempo para que una célula acumule todas las variantes necesarias.

La heterogeneidad tumoral

Dentro de un mismo tumor pueden coexistir múltiples subpoblaciones de células con perfiles genéticos diferentes. Esta heterogeneidad intratumoral surge porque, a medida que las células tumorales proliferan, incrementan su inestabilidad genómica y continúan acumulando nuevas variantes (Marusyk et al., 2012). Algunas de estas variantes pueden conferir ventajas adicionales, dando origen a subclones con propiedades ligeramente diferentes.

La heterogeneidad tiene implicaciones clínicas importantes. Un tratamiento puede eliminar uno de los clones, incluso el dominante, pero permitir la expansión de subclones minoritarios resistentes y que estos sean los responsables de una eventual recaída de la enfermedad tras el tratamiento.

Tecnologías de diagnóstico genético en oncología

La identificación, caracterización y seguimiento de las alteraciones genéticas de las células tumorales que, como hemos comentado, pueden ser de muy distinta naturaleza, requiere del empleo combinado de múltiples aproximaciones metodológicas con ventajas e inconvenientes complementarios (Figura 4). A lo largo del tiempo, la irrupción de nuevas técnicas genéticas no ha provocado, en

la mayoría de los casos, la sustitución y el abandono de técnicas clásicas. Por este motivo, el abordaje actual de la caracterización genética de los pacientes oncológicos debe hacerse combinando distintas técnicas e integrando los resultados obtenidos. En el momento del diagnóstico, por ejemplo, en el que hay una abundante presencia de células tumorales, no será necesaria una técnica de elevada sensibilidad ("profundidad" de detección), pero serán útiles técnicas que analicen un número elevado de marcadores o incluso el genoma completo ("anchura" del análisis). Por el contrario, en el seguimiento de un paciente que ha respondido al tratamiento y se encuentra en remisión completa, el objetivo será detectar con elevada sensibilidad la presencia (enfermedad residual) de las alteraciones genéticas identificadas en el momento del diagnóstico.

Cada vez más laboratorios ofrecen servicios de diagnóstico genético veterinario, incluyendo paneles de secuenciación para detectar variantes clínicamente relevantes en tumores de perros y gatos.

A continuación, presentamos someramente las principales tecnologías genéticas que se utilizan cotidianamente en el manejo de los pacientes oncológicos.

La **citogenética convencional o cariotipo** fue la primera tecnología que permitió visualizar directamente las alteraciones cromosómicas en células tumorales (Nowel & Hungerford 1960). El cariotipo consiste en obtener una imagen de los cromosomas de una célula durante la metafase, ordenarlos por tamaño y forma, y analizar si existen anomalías numéricas o estructurales (Tjio & Levan, 1956). El cariotipo tiene una resolución relativamente baja, pues solo puede detectar alteraciones de gran tamaño, pero tiene

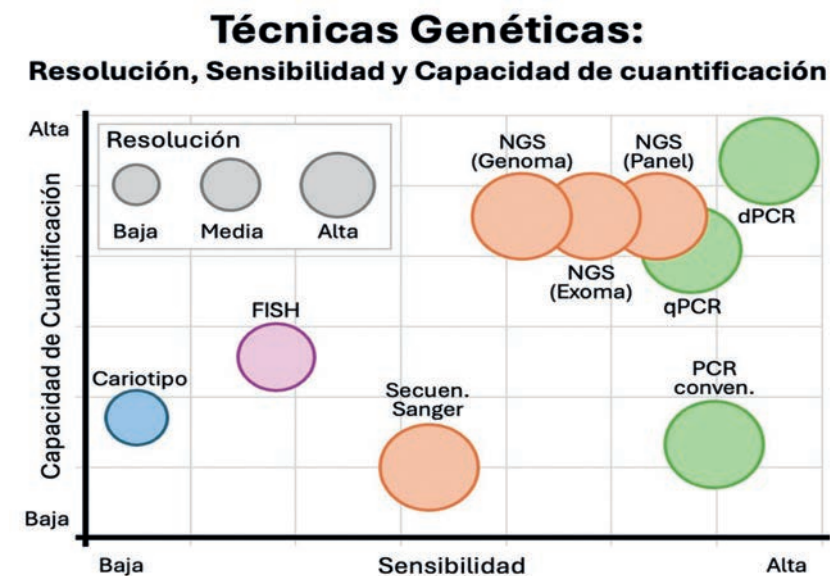


Figura 4. Representación de las características analíticas en términos de resolución (tamaño de las alteraciones para que puedan ser puestas de manifiesto), sensibilidad (profundidad de detección) y capacidad de cuantificación de las distintas técnicas genéticas más utilizadas en el manejo de los pacientes oncológicos.

la ventaja de que permite analizar todo el genoma a la vez y en el momento actual sigue siendo una herramienta fundamental en oncología hematológica.

La **hibridación *in situ* fluorescente (FISH)**, utiliza sondas (fragmentos) de ADN marcadas con fluorocromos que se hibridan (se asocian por complementariedad de bases) con secuencias específicas en los cromosomas. Tiene ventajas sobre el cariotipo, pues no requiere células en división y tiene mayor sensibilidad, pero, por el contrario, no estudia el genoma completo, sino aquellas regiones a las que van dirigidas las sondas que se utilicen.

La **reacción en cadena de la polimerasa (PCR)**, permite, utilizando *in vitro* el mecanismo de la replicación del ADN previa a la división celular, amplificar exponencialmente una secuencia específica de ADN, generando millones de copias de la secuencia a la que va dirigida la reacción (secuencia diana) a partir de cantidades mínimas de material inicial. Así, su principal ventaja es una elevada

sensibilidad, si bien sólo permite el estudio de la secuencia diana y tiene una modesta capacidad de cuantificación. Por este motivo se desarrolló la **PCR cuantitativa (qPCR)** que añade una estrategia química que produce fluorescencia de forma proporcional a la cantidad de moléculas que se van generando con el transcurso de la reacción y que permite medir la cantidad de ADN o ARN diana presente en una muestra. Más recientemente, se ha desarrollado la **PCR digital (dPCR)** que es una variante de la qPCR en la que la reacción se realiza en decenas de miles de particiones y se contabiliza el número de particiones en las que se identifica la secuencia diana. Esta aproximación mejora la capacidad de cuantificación manteniendo o incluso incrementando ligeramente la sensibilidad de la técnica.

La **secuenciación de ADN** permite la lectura del del orden exacto de nucleótidos en una secuencia. En el momento actual se sigue utilizando la técnica clásica denominada **secuenciación**



convencional o Sanger, que permite secuenciar fragmentos concretos del genoma y tiene una modesta capacidad de cuantificación. Recientemente, la secuenciación ha experimentado una revolución tecnológica sin precedentes con el desarrollo de las técnicas de **secuenciación de nueva generación (NGS**, de las siglas en inglés) también conocida como secuenciación masiva, que permite secuenciar de forma simultánea desde múltiples genes (panel de genes) hasta el genoma completo.

Medicina genómica: El presente y el futuro

La generación de conocimiento en este ámbito y la integración de la información genómica en el manejo clínico de los pacientes está suponiendo una verdadera transformación en medicina. Cada vez más entidades clínicas se definen por las alteraciones genéticas que las caracterizan y la identificación de estas alteraciones genéticas concretas contribuye significativamente al **diagnós-**

tico incluso en entidades en las que los métodos clásicos no permiten un diagnóstico certero. Por otro lado, la caracterización genética de los pacientes contribuye a la definición del **pronóstico**, pues el perfil genético de un tumor frecuentemente predice su comportamiento clínico mejor que las características histológicas convencionales. El pronóstico de un tumor influye sobre el tratamiento, más o menos agresivo según el caso. Adicionalmente, se han ido desarrollando fármacos dirigidos contra alteraciones moleculares (dianas terapéuticas) específicas. Por tanto, conocer qué variantes genéticas porta un tumor permite seleccionar los tratamientos con mayor probabilidad de éxito. Finalmente, las técnicas genéticas (moleculares) permiten hacer el **seguimiento** de la respuesta al tratamiento, comprobando la presencia o ausencia de enfermedad residual, con sensibilidad imposible de alcanzar por métodos convencionales.

En definitiva, la genética se ha consolidado como un pilar del abordaje del cáncer al revelar las alteraciones moleculares que provocan la enfermedad y permitir

decisiones clínicas mejor informadas. La aplicación de técnicas genéticas, desde citogenética y FISH, la PCR en sus distintas modalidades y la secuenciación (Sanger y masiva, dirigida, de exoma o de genoma completo), mejora el diagnóstico, refina el pronóstico, orienta terapias dirigidas, monitoriza la enfermedad mínima residual y detecta la resistencia a los tratamientos. Este contexto está acelerando la transición hacia la medicina genómica y la medicina de precisión, con el objetivo de optimizar el uso de tratamientos más eficaces y menos tóxicos y, en último término, favorecer la supervivencia libre de enfermedad de los pacientes. Los principios de la genética del cáncer son universales: aplican tanto a los tumores humanos como a los de nuestros pacientes animales. El avance que en los últimos años ha experimentado la oncología comparada ha permitido trasladar métodos diagnósticos y tratamientos innovadores a la medicina veterinaria, además de aportar información valiosa para la comprensión y abordaje del cáncer en todas sus vertientes.

Bibliografía

- Crick F. Central dogma of molecular biology. *Nature*. 1970; 227(5258):561-563.
- Dunn GP, Old LJ, Schreiber RD. The immunobiology of cancer immunosurveillance and immunoediting. *Immunity* 2004; 21(2):137-48.
- Garraway LA, Lander ES. Lessons from the cancer genome. *Cell*. 2013;153(1):17-37.
- Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*. 2011; 144(5):646-674.
- Kerr JF, Wyllie AH, Currie AR. Apoptosis: a basic biological phenomenon with wide-ranging implications in tissue kinetics. *Br J Cancer*. 1972; 26(4):239-257.
- Lane DP. Cancer. p53, guardian of the genome. *Nature*. 1992; 358(6381):15-16.
- Marusyk A, Almendro V, Polyak K. Intra-tumour heterogeneity: a looking glass for cancer? *Nat Rev Cancer*. 2012; 12(5):323-334.
- Nowell PC, Hungerford DA. Chromosome studies on normal and leukemic human leukocytes. *J Natl Cancer Inst*. 1960; 25:85-109.
- Schiffman JD, Breen M. Comparative oncology: what dogs and other species can teach us about humans with cancer. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2015; 370(1673):20140231.
- Tjio JH, Levan A. The chromosome number of man. *Hereditas*. 1956;42(1-2):1-6.
- Vogelstein B, Papadopoulos N, Velculescu VE, Zhou S, Diaz LA Jr, Kinzler KW. Cancer genome landscapes. *Science*. 2013; 339(6127):1546-1558.
- Watson JD, Crick FH. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribonucleic acid. *Nature*. 1953; 171(4356):737-738.



Adoración Mateos, subsecretaria de Defensa, entrega la condecoración a Felipe Vilas.

Felipe Vilas, distinguido con la Cruz al Mérito Militar con distintivo blanco

El presidente del Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid, Felipe Vilas Herranz, ha sido distinguido con la Cruz al Mérito Militar con distintivo blanco, una condecoración concedida por el Ministerio de Defensa **en reconocimiento a los méritos y circunstancias que concurren en su trayectoria profesional.**

La imposición de la condecoración tuvo lugar en el transcurso del acto conmemorativo de la Festividad de Nuestra Señora del Perpetuo Socorro, Patrona del Cuerpo Militar de Sanidad, celebrado en el Hospital Central de la Defensa "Gómez Ulla".

Defensa de la profesión

La Cruz al Mérito Militar con distintivo blanco reconoce, en este caso, la vinculación y colaboración de Felipe Vilas con las Fuerzas Armadas y su contribución al ámbito de la Sanidad Militar, en **una trayectoria marcada por la defensa de la salud pública, la seguridad alimentaria y el papel esencial de la profesión veterinaria en la protección de la sociedad.**

La concesión de esta distinción fue publicada en el Boletín Oficial del Ministerio de Defensa nº 118, de fecha 19 de junio.

Felipe Vilas Herranz es licenciado en Veterinaria por la Universidad

Complutense de Madrid, donde obtuvo el Premio Extraordinario Fin de Carrera, y doctor en Veterinaria por la misma universidad. Asimismo, cuenta con formación en gestión y dirección de empresas y ha desarrollado una extensa carrera profesional en la Administración, la docencia, la seguridad alimentaria y la sanidad animal.

A lo largo de su trayectoria ha ocupado responsabilidades de máximo nivel en la Comunidad de Madrid, entre ellas la Dirección General de Salud Pública y la Coordinación del Consejo General de Seguridad e Higiene Alimentaria. También fue subdirector general de Industria Agroalimentaria, etapa en la que impulsó la implantación del Registro e Identificación de Animales de Compañía de la Comunidad de Madrid, una iniciativa pionera en España y referente para otras comunidades autónomas.

Desde 2004 dirige el Máster en Seguridad Alimentaria, consolidado como un programa de referencia en el sector. Es Profesor Honorífico Vitalicio de la Universidad Complutense de Madrid desde 2021; Académico de Honor de la Real Academia de Ciencias Veterinarias desde 2016; y desde 2005, presidente del Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid.

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid considera esta distinción un reconocimiento no solo a la trayectoria personal y profesional de Felipe Vilas, sino también al **papel estratégico de la veterinaria en ámbitos esenciales para la sociedad, como la salud pública, la seguridad alimentaria, la sanidad animal, la prevención de riesgos y la colaboración institucional.**



De izda a dcha Lázaro López, secretario de Colvema; José Luis Arceiz, general de brigada veterinario; y Felipe Vilas, presidente de Colvema.

COLVEMA forma una nueva promoción de expertos en seguridad alimentaria tras la XXII edición de su Máster



La alta demanda de profesionales especializados impulsa la próxima edición, que ya se ha consolidado como una de las principales vías de acceso a la industria alimentaria

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid celebró el acto de graduación de los alumnos de la XXII edición de su Máster en Seguridad Alimentaria (MSA), un programa que, tras más de dos décadas de trayectoria, continúa respondiendo a la creciente demanda de especialistas por parte de la industria alimentaria y de las administraciones públicas.

El acto reunió a representantes de las instituciones y entidades que colaboran en el desarrollo del

Máster, así como a profesores, tutores y familiares de los alumnos, en una ceremonia que sirvió para reconocer el esfuerzo realizado durante los últimos meses y poner en valor la importancia de la seguridad alimentaria como uno de los pilares de la salud pública.

Durante la ceremonia, el presidente de COLVEMA, Felipe Vilas, felicitó a los nuevos titulados y destacó el compromiso del Colegio con una formación de excelencia, estrechamente vinculada a

las necesidades reales del sector alimentario. Asimismo, agradeció la implicación del amplio equipo docente y de las empresas e instituciones colaboradoras que hacen posible una formación eminentemente práctica y conectada con la realidad profesional.

El evento también contó con la participación de **Paloma Cervera, subdirectora general de Control Oficial y Alertas de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición; Elena Andrad**

Aragonés, directora general de Salud Pública de la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid; Isabel Rodríguez, decana de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Alfonso X El Sabio; y Manuela Fernández, vicedecana de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense.

Beatriz Collado, en representación de los alumnos, subrayó durante su intervención el nuevo camino profesional que el Máster en Seguridad Alimentaria le había abierto, tras una etapa de reflexión en su trabajo como veterinaria clínica.

En los últimos años, la industria alimentaria ha incrementado la demanda de profesionales especializados en ámbitos como la calidad, la seguridad alimentaria, la producción, la distribución o la gestión de riesgos. En este escenario, el perfil del veterinario adquiere un papel especialmente relevante gracias a su formación científica y sanitaria y a su visión integral de toda la cadena alimentaria.

Abierta la inscripción para la XXIII edición

Coincidiendo con la graduación, COLVEMA mantiene abierto el plazo de inscripción para la XXIII edición del Máster en Seguridad Alimentaria, que comenzará en octubre de 2026 y se desarrollará íntegramente en modalidad presencial. El programa incorpora 750 horas de formación, 350 horas de prácticas en empresas y visitas técnicas a algunas de las compañías e instituciones más representativas del sector alimentario, además de nuevos seminarios dedicados a ámbitos de creciente interés como la inteligencia artificial aplicada a la gestión, la cultura de seguridad alimentaria, la exportación de alimentos o la comunicación profesional.

Organizado por el Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid en colaboración con instituciones como la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición

(AESAN), la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad Alfonso X el Sabio, la Comunidad de Madrid y empresas líderes del sector, el Máster se ha consolidado como una de las formaciones de referencia en España para quienes desean desarrollar su carrera profesional en la industria alimentaria.

Su marcado carácter práctico, el contacto permanente con profesionales en activo y una empleabilidad superior al 80% entre los alumnos de anteriores promociones avalan un programa diseñado para responder a las necesidades actuales de un sector estratégico para la economía y para la protección de la salud de los consumidores. Hasta la fecha, alrededor de 900 profesionales se han especializado en seguridad alimentaria tras cursar este Máster.

Más información e inscripciones:
www.masterenseguridadalimentaria.com



Lázaro López Jurado (secretario de COLVEMA), Isabel Rodríguez Hurtado, Elena Andradás, Felipe Vilas, Paloma Cervera y Manuela Fernández durante la intervención de la alumna Beatriz Collado.



De izquierda a derecha: Ángel de Oteo, Felipe Vilas, José Ramón Becerra y Juan María Josa.

Presentada en la sede colegial una guía para ayudar a los veterinarios a detectar y actuar ante posibles casos de maltrato animal

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid (COLVEMA) presentó la *Guía para la detección del maltrato animal*, una herramienta práctica dirigida a los profesionales veterinarios para facilitar la identificación de posibles casos de maltrato, su valoración clínica, la correcta documentación de los indicios y la comunicación a las autoridades competentes cuando resulte necesario.

En el acto participaron **José Ramón Becerra**, director general de

Derechos de los Animales; **Ángel de Oteo**, director general de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Comunidad de Madrid; y **Felipe Vilas**, presidente de COLVEMA, así como autor de la guía, el veterinario **Juan María Josa**, reconocido por su labor de formación y divulgación en materia de protección y bienestar animal.

El documento destaca además que el maltrato animal puede ser un indicador de otras situaciones de vulnerabilidad o violencia en el

entorno familiar, como violencia de género, maltrato a menores o personas mayores, exclusión social o casos de acumulación de animales. En estos contextos, la actuación veterinaria puede contribuir a activar mecanismos de protección tanto para los animales como para posibles víctimas humanas.

“En muchas ocasiones, el maltrato animal es una señal de alerta de situaciones de violencia o vulnerabilidad. La mirada veteri-

naria puede ayudar a proteger a los animales y también a detectar contextos de riesgo para otras personas”, señaló Felipe Vilas.

Por su parte, Ángel de Oteo puso en valor la labor de los veterinarios en la lucha contra el maltrato animal y recordó que la protección de los animales es una obligación jurídica cada vez más respaldada por la sociedad. José Ramón Becerra destacó, igualmente, que combatir el maltrato animal responde a una demanda social creciente y subrayó la importancia de la colaboración con las fuerzas y cuerpos de seguridad.

Durante la presentación, Juan María Josa repasó los principales contenidos de la guía y recordó que toda actuación debe basarse en criterios de bienestar animal, señalando que, en algunos casos, el maltrato a los animales forma parte de dinámicas más amplias de violencia hacia las personas.

Identificar, primer paso para proteger

Identificar es el primer paso para proteger. Para ello, ofrece pautas que permiten reconocer señales de alerta como lesiones inexplicables, fracturas repetidas, heridas en distintas fases de evolución, deterioro físico, falta de higiene o alteraciones de comportamiento. También contempla otros indicadores relevantes, como retrasos injustificados en la atención veterinaria o explicaciones incoherentes sobre el origen de las lesiones.

La guía insiste asimismo en la necesidad de realizar una valoración clínica rigurosa y objetiva, basada en la exploración del animal, la observación de su comportamiento, el análisis del entorno y la coherencia entre la información aportada y los hallazgos clínicos.



Juan María Josa, autor de la guía, durante su intervención.

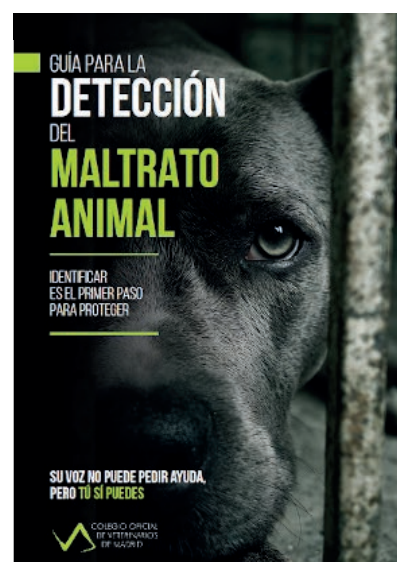
El objetivo no es que el veterinario actúe como investigador, sino que documente de forma precisa los indicios compatibles con una posible situación de maltrato.

En este sentido, se subraya la importancia de registrar adecuadamente todos los hallazgos, incluyendo la identificación del animal, la fecha y hora de la exploración, la descripción objetiva de las lesiones y, cuando proceda, material gráfico. Esta documentación puede resultar fundamental para respaldar una comunicación posterior a las autoridades competentes.

La guía también ofrece orientaciones sobre cómo notificar estos casos de forma objetiva, descriptiva y respaldada por evidencias, permitiendo que sean las autoridades quienes valoren los hechos y adopten las medidas oportunas.

COLVEMA recuerda además que cualquier actuación debe respetar la confidencialidad y seguir los canales oficiales establecidos, evitando la difusión de información a través de redes sociales u otros medios que puedan comprometer la protección de los implicados.

Finalmente, la publicación incorpora una guía rápida de actuación que resume los pasos esenciales ante una sospecha de maltrato animal: detectar, valorar, documentar, registrar, notificar y proteger. Una herramienta práctica que refuerza una idea clave: una sospecha bien documentada puede marcar la diferencia.



Escanea este QR y accede a la guía digital



El Colegio de Veterinarios de Madrid y AMVAC lideran un plan para mejorar las condiciones laborales y profesionales del sector de animales de compañía



Presentación de la plataforma Vet4Vets en la feria Iberzoo PROPET.

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid (COLVEMA) y la Asociación Madrileña de Veterinarios de Animales de Compañía (AMVAC) presentaron en la feria Iberzoo PROPET el **Plan de Mejora Laboral y Profesional del Sector Clínico de Animales de Compañía**, una iniciativa estratégica que busca impulsar cambios estructurales para fortalecer el ejercicio profesional de los veterinarios clínicos en España.

El proyecto, iniciado en 2025 y cuyo desarrollo se desplegará durante 2026, tiene como objetivo **analizar en profundidad la situación laboral, económica y organizativa del sector clínico veterinario y definir medidas que permitan mejorar las condiciones profesionales de los veterinarios y la sostenibilidad empresarial de los centros veterinarios.**

La iniciativa se presenta bajo el concepto **VET4VETS (Veterinarios trabajando por veterinarios)** y pretende generar una hoja de ruta compartida para todo el ecosistema de la veterinaria de animales de compañía: profesionales, clínicas, asociaciones científicas, industria, universidades e instituciones profesionales.

Un sector en crecimiento con retos laborales importantes

En los últimos años, la presencia de animales de compañía en los hogares españoles ha experimentado un crecimiento notable. Según los datos más recientes del sector, en España viven ya **más de 30 millones de mascotas**, una cifra que refleja el profundo cambio en la relación entre las personas y los animales. Los animales de compañía

se han convertido en un miembro más de muchas familias, lo que ha incrementado la demanda de servicios veterinarios y ha reforzado el papel de los veterinarios clínicos como profesionales sanitarios esenciales para garantizar la salud, el bienestar animal y una convivencia responsable en la sociedad.

Sin embargo, a pesar del reconocimiento social de la profesión y del crecimiento del sector, muchos profesionales afrontan **niveles elevados de presión laboral, dificultades de conciliación, trayectorias profesionales poco definidas y retribuciones que no siempre reflejan su nivel de formación y responsabilidad.**

Según explicó **Felipe Vilas**, presidente de COLVEMA, **"la profesión veterinaria goza de un gran prestigio social, pero la realidad laboral de muchos veterinarios clínicos no está a la altura de ese reco-**

nocimiento. Este plan nace para analizar con rigor la situación del sector y construir soluciones que permitan mejorar su futuro”.

Un diagnóstico inédito del sector clínico veterinario

El plan contempla la realización de un **diagnóstico integral del sector clínico veterinario en España**, basado en el análisis de datos económicos y laborales de miles de centros veterinarios.

Entre otros elementos, el estudio incluirá:

- análisis de ingresos, costes y márgenes de las clínicas veterinarias a partir de información financiera y operativa del sector;
- estudio retributivo y funcional de los profesionales veterinarios;
- evaluación de la estructura laboral de miles de centros veterinarios;
- análisis de precios y costes de los principales servicios clínicos;
- identificación de tendencias estratégicas que están transformando el sector.

El proyecto también incorporará **comparaciones con países de referencia de la Unión Europea**, con el objetivo de situar el modelo español en el contexto internacional y detectar oportunidades de mejora.

Veterinarios, empresas y sociedad: una visión integral

Además del análisis económico y profesional del sector, el plan estudiará también **la percepción que tienen los propietarios de mascotas sobre las clínicas veterinarias y sus profesionales**, mediante encuestas realizadas en España y en otros países europeos.

Asimismo, se analizará la situación y las oportunidades de desarrollo del **seguro veterinario**,



José Antonio San Segundo, Felipe Vilas y Pedro Ruf en la presentación de Vet4Vets a los medios de comunicación.

un ámbito que podría contribuir a mejorar el acceso a los servicios clínicos y la sostenibilidad de las clínicas.

Para **Pedro Ruf**, vicepresidente de AMVAC, **“es fundamental abordar este reto desde una visión global del sector. Mejorar las condiciones profesionales de los veterinarios también implica reforzar la sostenibilidad de los centros veterinarios y construir un modelo profesional más equilibrado”**.

Un proyecto impulsado por todo el ecosistema veterinario

Para garantizar una visión amplia y representativa, el proyecto contará con un **Consejo Asesor** que reúne a instituciones y organizaciones clave del ámbito veterinario, entre ellas el Consejo General de Colegios Veterinarios de España, colegios profesionales como Barcelona y Valencia, AVEPA, la representación empresarial a través de CEVE, la asociación empresarial de la industria de sanidad y nutrición animal que lidera Veterindustria, la Conferencia de Decanos, plataformas profesionales como VetsUnidos y VetWarriors.

El plan contará además para su elaboración con la colaboración de los consultores **Pere Mercader** (director de estudios veterinarios VMS) y **José Ramón Escribano** (fundador del Hospital VETSIA y

ex presidente de AMVAC) y con el apoyo metodológico del **Grupo de Empresas Análisis e Investigación**, especializado en estudios estratégicos y reputación corporativa.

Su fundador y presidente, **José María San Segundo Encinar**, destacó que **“este proyecto permitirá disponer por primera vez de un análisis riguroso y basado en datos sobre la realidad económica, laboral y profesional del sector clínico veterinario en España, lo que facilitará identificar palancas de mejora y construir propuestas sólidas para su futuro”**.

Gran encuesta nacional

El Colegio de Veterinarios de Madrid (COLVEMA) y AMVAC, entidades promotoras del proyecto Vet4Vets, han puesto en marcha el lanzamiento de una gran encuesta nacional dirigida a los profesionales de todos los ámbitos de ejercicio veterinario.

Tu participación es muy importante para asegurar la máxima representatividad posible.

La encuesta es confidencial y solo requiere unos minutos.

Participa aquí:



Gracias por tu colaboración.



Renovado el acuerdo de prácticas para estudiantes de Veterinaria con la Universidad Complutense

Más de 400 alumnos han participado en el programa en los últimos cuatro cursos, con 425 entidades colaboradoras adheridas

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid (Colvema) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM) renovaron su **Convenio de Cooperación Educativa**, consolidando un modelo de colaboración que en los últimos cuatro cursos ha permitido que más de 400 estudiantes del Grado en Veterinaria realicen prácticas curriculares y extracurriculares en 425 empresas y entidades adheridas.

Este amplio abanico facilita a los estudiantes una aproximación real a la **diversidad de salidas profesionales de la veterinaria**,

desde la práctica clínica hasta ámbitos emergentes del sector.

La mayoría de estas estancias formativas se desarrollan en el **ámbito de los animales de compañía**. Les siguen los centros especializados en équidos y otras entidades como laboratorios, servicios de urgencias, protectoras, especialistas ambulantes o perfiles vinculados al marketing y la gestión del sector veterinario.

Durante el acto de firma, celebrado en el Rectorado de la UCM, el presidente de Colvema, Felipe Vilas, destacó que “la conexión en-

tre universidad y ejercicio profesional es esencial para garantizar una **preparación completa y ajustada a la realidad del sector**. Este convenio permite a los estudiantes integrarse en entornos profesionales diversos, conocer las exigencias del día a día y afrontar con mayor solvencia su incorporación al mercado laboral”.

Asimismo, reconoció “**el compromiso de los profesionales colegiados en Madrid, que abren sus centros a la formación práctica de las nuevas generaciones**. Es un motivo de orgullo que la profesión cuente con una red de colaboración tan sólida y cohesionada”.

El convenio tendrá una vigencia inicial de cuatro años, prorrogables por otros cuatro, y actualiza el marco de colaboración conforme a la normativa vigente en materia de prácticas académicas externas y Seguridad Social.

Las prácticas se gestionan a través de la Oficina de Orientación Profesional de Colvema en la Facultad de Veterinaria de la UCM y contemplan un proyecto formativo individualizado para cada estudiante, con tutorización académica y profesional, fomentando la interacción entre alumnos y el mundo empresarial.



De izquierda a derecha: Lázaro López, secretario de Colvema; María Concepción García, vicerrectora de Formación Permanente, Empleabilidad y Emprendimiento de la UCM; Joaquín Goyache, rector de la UCM; Felipe Vilas, presidente de Colvema; y Consuelo Serres, decana de la Facultad de Veterinaria de la UCM.

El Colegio de Veterinarios de Madrid reafirma su compromiso con la investigación apoyando los premios de la XII Jornada VETINDOC - 10º PhDay Complutense 2026



La vicedecana de Posgrado, Manuela Fernández; la vicepresidenta de COLVEMA, Ana Pérez; la decana de la Facultad de Veterinaria, Consuelo Serres y el director de la Escuela de Doctorado, Fernando Gascón; con los premiados

El Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid patrocinó los premios de la **XII Jornada VETINDOC - 10º PhDay Complutense 2026**, celebrada en el Salón de Actos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, con el objetivo de reconocer los mejores trabajos de investigación desarrollados por doctorandos y doctorandas del ámbito veterinario.

El acto contó con la intervención de la decana de la Facultad de Veterinaria, **Consuelo Serres**; la vicepresidenta del Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid, **Ana Pérez**; el director de la Escuela de Doctorado, Fernando Gascón; y la vicedecana de Posgrado, Ordenación Académica y Relaciones Institucionales, **Manuela Fernández**.

La vicepresidenta de COLVEMA, **Ana Pérez**, felicitó a los premiados y puso en valor la calidad de los trabajos presentados en esta edición, destacando que "cada año sorprende más el nivel de las

investigaciones desarrolladas por los doctorandos y doctorandas".

Durante su intervención, Pérez subrayó que para el Colegio este acto tiene una especial importancia porque contribuye a la **visibilización de la investigación veterinaria**, una tarea que, según recordó, debe ir acompañada también de una mayor capacidad de comunicación por parte de la profesión.

"La investigación veterinaria no solo amplía las fronteras del conocimiento, sino que también ofrece respuestas concretas a desafíos que afectan directamente a la sociedad. Desde el Colegio queremos estar al lado de quienes, desde la universidad y desde la ciencia, contribuyen a fortalecer el futuro de nuestra profesión", señaló.

Premios VETINDOC 2026

• En la categoría de **comunicaciones orales**, el primer premio, dotado con **550 euros**, fue concedido

a **Laura de Urbina Fuentes** por el trabajo "*Desarrollo y evaluación de una vacuna de mRNA encapsulada en nanopartículas lipídicas frente a *Leishmania infantum**", dirigido por **Gustavo Domínguez Bernal, Abel Martínez Rodrigo y Alicia Mas Zubiri**.

• El segundo premio de esta modalidad, dotado con **350 euros**, recayó en **Natalia Velasco Jiménez** por el trabajo "*Toxoplasmosis ovina: el perfil transcriptómico de la placenta indica una disrupción inmunomediada y funcional previa al aborto temprano*", dirigido por **Luis Miguel Ortega Mora, María del Pilar Horcajo Iglesias y Rafael Calero Bernal**.

• En la categoría de **comunicaciones en póster**, el primer premio, dotado con **350 euros**, fue para **Pedro Vázquez Ortego** por el trabajo "*Modulación epigenética hepática en el lechón ibérico: efecto combinado de la estación durante la gestación y suplementación con antioxidantes en la madre*", bajo la dirección de **Cristina Óvilo Martín y María Muñoz Muñoz**.

• El segundo premio, dotado con **150 euros**, fue concedido a **Santiago Rodríguez Gómez** por el trabajo "*Maduración por afinidad de un anticuerpo recombinante para la detección de trazas de sésamo en alimentos*", dirigido por **Teresa García Lacarra, Aina García García y María del Rosario Martín de Santos**.

• Asimismo, el premio al mejor reel de Instagram, dotado con **100 euros**, fue otorgado a **Patricia Olmeda García** por el trabajo "*¿Sabes cómo las heces de Lola podrían ayudar a otro perro?*", dirigido por **Ángel Sainz Rodríguez, Alejandra Villaescusa Fernández y Mercedes García-Sancho Téllez**.

PEDRO J. GARCIA

Veterinario clínico y poeta

“Las vivencias de un veterinario clínico son muy intensas y dejan una huella indeleble”



¿Cómo surge escribir tu libro de poemas "Cicatrices de Tinta"?

La idea nace de las charlas que he tenido con amigas de la universidad, que desembocaron en el convencimiento de que lo que escribo merece la pena estar disponible y que otras personas puedan leerlo.

¿Qué reacción te gustaría provocar en el lector?

Me gustaría que lo sacase de la rutina diaria y se parase a pensar en las guerras, en las personas sin hogar, en los animales, en las ausencias, el amor, en la vida. También me gustaría sumar mi grano de arena para que la sociedad conozca la realidad de la profesión veterinaria, ya que hacemos una gran labor que casi nunca se reconoce ni se valora como es debido.

Una clínica es un lugar en el que surgen emociones muy intensas ¿hasta qué punto crees que lo vivido en la consulta nos marca como personas?

Las vivencias de un veterinario clínico son muy intensas y dejan una huella indeleble. Tanto es así que los que ejercemos en clínica amamos nuestra profesión hasta tal punto que elegimos cada día seguir desarrollando la medicina aún sabiendo que tendríamos

menos responsabilidad y mejor sueldo en cualquier otro sector. Por otra parte, somos la profesión con más índice de abandono, depresión y suicidio. En mi opinión debería ponerse el foco en desarrollar herramientas para disminuir todo lo posible los factores relacionados con estrés crónico, Burnout, desconexión laboral, minusvaloración, etc y potenciar las virtudes y las experiencias gratificantes del sector.

¿Crees que la sociedad entiende la complejidad de nuestro trabajo?

No. La sociedad está en proceso de cambio pero nos falta mucho. En muchas ocasiones sufrimos agresiones, amenazas, malos modales de clientes que creen que pagar te da derecho a todo, con mucha frecuencia se nos acusa de querer sacar el dinero engrosando la factura, pero la realidad es que tratamos con pacientes que no hablan, que llevan mucho tiempo sin haberse hecho una revisión, que en ocasiones son agresivos, que pueden tener miedo, que pueden tener tantas patologías como el ser humano y que además las diferencias entre especies y razas pueden complicar los diagnósticos y tratamientos.

Nosotros tratamos de dar el diagnóstico y establecer un tratamien-

to en base a la ciencia y la ética porque somos médicos veterinarios, para ello necesitamos hacer pruebas y realizar procedimientos, usar fármacos u hospitalizar. No somos dioses, por tanto, no podemos hacer milagros, aunque de vez en cuando parezca que los hemos hecho en algún caso concreto.

¿Puede la vocación convertirse también en una trampa cuando se normalizan jornadas, cargas emocionales o condiciones difíciles de soportar?

Parece ser que sí. Lo peor es que es una lucha interna, porque constantemente hay comentarios y críticas a quienes quieren hacer respetar su jornada de trabajo por los propios compañeros. También es bastante frecuente que alguien te acuse de falta de vocación cuando le explicas que tiene que abonar los costos de tus servicios o los de algún compañero/a. Por otro lado, la remuneración es bajísima. Somos una profesión con una nota de corte altísima, con una duración del grado de los más extensos, con la obligación de estar continuamente formándose y con unos costos de formación elevados, con la responsabilidad de las vidas que están a tu cargo, y sin embargo, somos la profesión reglada con los sueldos más bajos.

UNA SOLA SALUD

El Tratado de Pandemias, la crisis del hantavirus y la profesión veterinaria

ALBERTO CIQUE MOYA

Coronel Veterinario

Jefe de la Sección de Veterinaria del Servicio de Sanidad de la Guardia Civil

Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España

Introducción

La arquitectura de la salud pública mundial está sufriendo una transformación histórica. Tras las lecciones identificadas por la COVID-19 se hizo patente la necesidad de desarrollar, preparación y respuesta ante emergencias sanitarias, de ahí surgió la necesidad de impulsar un 'Tratado de Pandemias' que hiciera frente tanto a los desafíos como a las amenazas biológicas. En el núcleo

de este tratado se reconoce de manera explícita que la salud humana, animal y ambiental son interdependientes: el enfoque One Health (Una Sola Salud). Este paradigma ya no es una opción teórica, sino una necesidad operativa frente a amenazas donde la interfaz humano-animal-medioambiente es el escenario crítico de origen.

La justificación de este tratado y de la urgencia del enfoque multidisciplinar se evidencia en crisis

biológicas recurrentes y de naturalezas muy distintas, aunque fundamentalmente de carácter zoonótico, como la crisis del hantavirus, que demuestra cómo las interacciones cada vez más agresivas con el medioambiente impactan directamente en la salud humana a través de la fauna silvestre. O la degradación de los sistemas de salud pública y asistenciales, como consecuencia de conflictos armados o desastres naturales, que presumiblemente



te están detrás de la recurrente aparición del virus ébola en la República Democrática del Congo (RDC), donde las dinámicas de salto zoonótico inicial a partir de murciélagos frugívoros y posterior transmisión comunitaria, intensificada en zonas con sistemas de salud frágiles, expone la vulnerabilidad global ante virus de alta letalidad.

Ambos escenarios, aunque geográficamente distantes y con mecanismos de transmisión dispares, comparten la misma raíz: son zoonosis cuyo control exige una vigilancia epidemiológica que empiece mucho antes de que el primer paciente humano llegue al hospital. Es más, es preciso atajarlas allí donde se estén produciendo. De ahí la necesidad de potenciar el Tratado de Pandemias en un mundo globalizado, donde una crisis local a miles de kilómetros de nuestro entorno puede alcanzar nuestro territorio en cuestión de horas o días. Razón por la cual destaca la importancia de la preparación en el nivel nacional, pero también sin duda en el regional y en el local. En este sentido, la Estrategia de Salud Pública, incardinada en la Estrategia de Seguridad Nacional, es una clara demostración de esa necesidad de preparación a través de la potenciación, entre otros aspectos, de los sistemas de vigilancia epidemiológica, destacándose en el nivel regional, el Plan de Preparación y Respuesta frente a Emergencias Sanitarias de la Comunidad de Madrid (CAM)¹. De hecho, podría decirse, a la espera de una lectura detallada de sus contenidos, que el plan de la CAM actúa como la traducción operativa de las directrices del Tratado de Pandemias, diseñando redes de alerta temprana, laboratorios de diagnóstico rápido y protocolos de contención adaptados a un entorno urbano, periurbano y rural interconectado.

“La actual crisis del hantavirus constituye el ejemplo más reciente de cómo las amenazas biológicas emergentes requieren respuestas que trasciendan la visión clínica o asistencial tradicional. Esta situación evidencia que la prevención solo es efectiva mediante una gestión coordinada que integre la vigilancia epidemiológica, la sanidad animal, la salud pública y el medioambiente.”

En este engranaje que une lo internacional con lo nacional y lo regional que demuestra una capilaridad institucional que busca la eficiencia, la profesión veterinaria emerge como un pilar insustituible. Los veterinarios no solo actúan en la sanidad animal tradicional; son los profesionales encargados de la vigilancia epidemiológica en fauna silvestre y ganadera, el control de vectores, la seguridad alimentaria y la investigación biomédica. Sin la integración activa de las ciencias veterinarias en los comités de alerta y en el diseño de planes, la estrategia de “Una Salud” queda desprovista de su base predictiva, limitando la salud pública a una postura meramente reactiva ante la enfermedad humana.

El tratado de Pandemias en el contexto actual

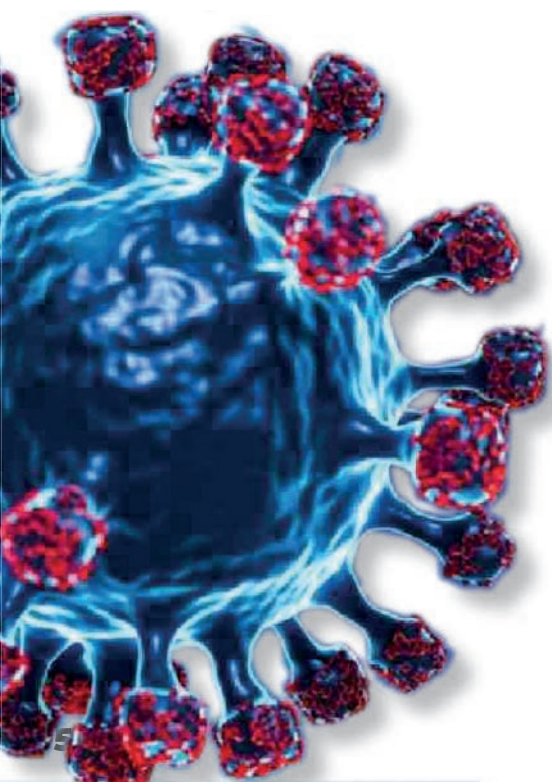
La actual expansión de enfermedades zoonóticas emergentes, como la crisis generada por el hantavirus que estamos sufriendo, pone nuevamente de manifiesto que la salud humana, animal y ambiental constituyen un sistema profundamente interdependiente. La transmisión de este tipo de agentes patógenos, estrechamente vinculada a factores ecológicos, cambios en los ecosistemas, movimientos de fauna

silvestre y presión antrópica sobre el medio natural, unido al tratamiento informativo que se hace, evidencia la necesidad de adoptar el enfoque «Una Salud» como eje estratégico de prevención y respuesta frente a amenazas biológicas. En este contexto, la profesión veterinaria, junto con el resto de las profesiones sanitarias, adquiere un papel esencial no solo en la vigilancia epidemiológica y el control sanitario de reservorios animales, sino también en la detección temprana, evaluación del riesgo y coordinación multidisciplinar ante posibles brotes con capacidad epidémica o pandémica. Precisamente, el Tratado de Pandemias impulsado por la Organización Mundial de la Salud y del que España es firme garante, reconoce progresivamente esta necesidad de integración, aunque persisten desafíos para consolidar de manera efectiva la participación veterinaria dentro de los sistemas globales de preparación y respuesta frente a futuras emergencias sanitarias.

A este respecto, el Tratado de Pandemias tiene como objetivo mejorar la preparación global ante futuras pandemias, incluyendo las que tienen carácter zoonótico. Para esa gestión, la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera que el enfoque «Una Salud» es la vía más eficaz para reforzar la colaboración internacional, la

equidad y la resiliencia a futuras amenazas sanitarias globales al reconocer la interconexión entre la salud humana, animal y ambiental, toda vez que las últimas emergencias declaradas de salud pública de importancia internacional han tenido un origen animal, a lo que se añade evidentemente, las alarmas generadas en torno al virus gripe, en especial el debido al virus H5N1, o la actual crisis del Hantavirus a la que los medios de comunicación están dedicando todo su foco^{2,3,4}.

Los objetivos del tratado son que la comunidad internacional, liderada por la OMS, que no mandada, sea capaz de mejorar su capacidad de detección mediante el fortalecimiento de los sistemas de vigilancia epidemiológica que generen una alarma y respuesta temprana; la garantía al acceso universal y equitativo a las vacunas, a los medicamentos y a las pruebas diagnósticas; así como un mayor apoyo a la transferencia de tecnología y conocimientos, además del establecimiento de un mecanismo de financiación que permita responder eficientemente frente a estas situaciones⁵.



Ahondando en este sentido, en el mundo sin fronteras en el que vivimos, del que Europa es un ejemplo paradigmático, la coordinación internacional es clave para hacer frente a las amenazas transfronterizas con potencial o no de propagación a otros países. Así, la Unión Europea, a través de la Autoridad de Preparación y Respuesta ante Emergencias Sanitarias (HERA), tiene la responsabilidad de hacer frente a las amenazas biológicas, fundamentalmente las asociadas a patógenos con potencial pandémico, así como las amenazas químicas, radiológicas, nucleares y las derivadas de la resistencia a los antibióticos, que puedan poner en peligro la vida o dañar gravemente la salud de la población europea⁶.

Desde una aproximación convergente, la capacidad de identificar estas amenazas permitirá establecer las líneas estratégicas de investigación, tanto en salud humana como en sanidad animal para potenciar la investigación básica y finalista en contramedidas sanitarias, detección e identificación, así como de materiales de protección y equipamiento sanitario para mejorar la capacidad de preparación y respuesta frente a este tipo de amenazas, pero indiscutiblemente también, para potenciar la resiliencia de la población⁷.

La profesión veterinaria no es ajena a esta necesidad de preparación. De hecho, la Asociación Mundial Veterinaria, consciente de su papel fundamental en la lucha contra las zoonosis con potencial carácter pandémico, se ofreció a participar a finales de 2023, durante la 7ª reunión del Órgano de Negociación Intergubernamental de la OMS (ONI - INB por sus siglas en inglés), en la redacción del proyecto de un convenio, acuerdo u otro instrumento internacional de la OMS sobre pre-

vención, preparación y respuesta frente a pandemias incidiendo en la importancia del enfoque "Una Salud" para prevenir pandemias y promover la salud pública tal cual establece el artículo 5 del tratado. Sin olvidar que esta aproximación «no es una carga adicional, sino el mejor enfoque para luchar contra las pandemias, y una herramienta fundamental para lograr el desarrollo sostenible, tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados»^{8,9,10}.

El Tratado de Pandemias en síntesis

Una de las lecciones identificadas, aunque no necesariamente aprendida, de la pandemia por COVID-19, es la necesidad de disponer de un instrumento internacional jurídicamente vinculante que permita gestionar de manera eficiente futuras pandemias, tanto a nivel internacional, como a nivel nacional. Por este motivo, el presidente del Consejo Europeo, Charles Michel, propuso en noviembre de 2020 durante el Foro de París sobre la paz, el desarrollo de un tratado internacional sobre pandemias en el marco de la OMS. El objetivo era establecer un instrumento que sustentase una respuesta global coordinada ante futuras crisis sanitarias. Justificaba esta necesidad al considerar que el mundo no era inmune a una gran pandemia. Por ello, un tratado internacional basado en la movilización colectiva y la solidaridad permitiría a la comunidad internacional anticipar, preparar y gestionar de mejor manera las futuras pandemias¹¹.

Asociada a esta declaración, pocos meses después, la Junta de Seguimiento de la Preparación Mundial (ONI), un organismo de la OMS, consciente del impacto global provocado por el SARS CoV-2



declaró que «vivimos en un mundo desigual, dividido e irresponsable, donde hay diferentes mundos que encaran los desastres desde aproximaciones muy diferentes. Razón por la cual debemos hacer un esfuerzo global de preparación real para disminuir los riesgos y las amenazas que nos rodean, ya que lo que hemos hecho hasta ahora se ha demostrado inoperativo». Esto determinaba la necesidad de plantear un cambio de paradigma para hacer frente a los desafíos que nos atenazan, concluyendo que «Necesitamos un nuevo contrato social mundial para prevenir y mitigar las emergencias sanitarias. El nuevo contrato social debe servir de base al ecosistema mundial de emergencias sanitarias. Debe basarse en los principios de equidad, solidaridad, inclusión y reciprocidad, responsabilidad y transparencia, sostenibilidad y acción»¹².

Derivado de estas declaraciones, en diciembre de 2021, durante el periodo de sesiones de la OMS se acordó que el ONI iniciara la elaboración y negociación de un convenio, acuerdo u otro instrumento internacional sobre prevención, preparación y respuesta ante pandemias. Posteriormente, en marzo de 2023, los países miembros iniciaron las negociaciones sobre un primer proyecto de acuerdo (el denominado borrador preliminar)¹³.

En mayo de 2023, en el marco de la 76ª Asamblea General de la OMS, se presentó el primer informe de situación del proyecto¹⁴. En mayo de 2024 no pudo alcanzarse un consenso definitivo, por lo que se extendió el mandato del ONI para continuar las negociaciones hasta mayo de 2025. Desde entonces, la ONI continuó trabajando en reuniones formales e informales centradas en la prevención de pandemias, la transferencia de tecnología, la financiación sostenible y las relaciones con otros acuerdos internacionales, hacien-

“En este engranaje que une lo internacional con lo nacional y lo regional que demuestra una capilaridad institucional que busca la eficiencia, la profesión veterinaria emerge como un pilar insustituible.”

do hincapié en la necesidad de combatir la desinformación sobre el proceso y en que el acuerdo no cedería la soberanía nacional a la OMS y en la necesidad de combatir la desinformación sobre el proceso¹⁵.

Durante la decimosegunda ronda de negociaciones, en febrero de 2025, el Director General de la OMS Dr. Tedros Adhanon declaró «Es ahora o nunca», ya que según parecía «el interés y la energía en las negociaciones había disminuido considerablemente tras más de cuatro años de discusiones», enfatizando que «Ningún país puede protegerse solo» y la respuesta ante pandemias es responsabilidad de todos los países, situación que puede que se complique por el abandono de los Estados Unidos (y en menor medida de Argentina) de la OMS y su desvinculación del tratado (hecho que ha sido destacado por el presidente de la OMS en la crisis que estamos sufriendo)¹⁶. Esto era debido a que eran muchos los intereses geopolíticos, económicos, sociales, etc. que se oponían al tratado, a lo que se sumaban campañas de «desinformación» interesadas que buscaban generar un estado de opinión en contra de éste aprovechando el anonimato que confieren las redes sociales^{17,18}.

Esta situación se agravaba ante las posiciones encontradas en relación con el acceso a patógenos y el reparto de beneficios en un mundo interconectado (PABS, *Pathogen Access and Benefit-Sharing System*), convertido en uno de los principales puntos de fricción entre países desarrollados

y países en desarrollo. De hecho, mientras algunos Estados defendían mecanismos obligatorios de cesión de muestras biológicas y de intercambio rápido de información genética, otros reclamaban garantías jurídicas claras sobre el acceso equitativo a vacunas, tratamientos, diagnósticos y tecnologías derivadas de dichos materiales biológicos.

De ahí la necesidad de una acción concreta para reforzar la equidad, la integridad y la solidaridad, planteándose por parte de algunos actores implicados en las negociaciones, la necesidad de una «votación democrática para resolver las diferencias en lugar de seguir diluyendo el texto» y la necesidad de que incluya «obligaciones legales para compartir tecnología y eliminar las barreras de propiedad intelectual».

En abril de 2025, durante la 13ª ronda de negociaciones del ONI, el futuro del tratado parecía verse abocado al fracaso, pero en un cambio de rumbo, los países miembros de la OMS alcanzaron un acuerdo histórico tras más de tres años de negociaciones. Aunque menos ambicioso que lo inicialmente propuesto, al dejar varios compromisos sin concreción, pendientes de desarrollo reglamentario posterior, especialmente los relacionados con el sistema PABS, la transferencia de tecnología, la financiación sostenible y los mecanismos de propiedad intelectual, el tratado aprobado buscaba garantizar una respuesta global, equitativa y coordinada ante futuras pandemias. El texto

final suavizaba compromisos clave como el reparto de beneficios, la transferencia de tecnología y la financiación, dejando su implementación a futuro, debiendo ser aprobado por los 192 países miembros de la OMS y ratificado posteriormente por al menos 60 países para entrar en vigor¹⁹.

Un año después, en mayo de 2026, el tratado permanece en una fase de implementación incompleta y condicionada por la falta de consenso sobre el desarrollo operativo del mecanismo PABS. Las conversaciones técnicas y diplomáticas sobre el reparto de beneficios derivados del acceso a patógenos se encuentran prácticamente estancadas debido a las diferencias existentes sobre²⁰:

- La obligatoriedad o voluntariedad de compartir tecnologías y conocimientos.
- La capacidad de los países en desarrollo para acceder de forma rápida y equitativa a vacunas y contramedidas médicas.
- El papel de la propiedad intelectual en situaciones de emergencia sanitaria internacional.
- Los mecanismos de financiación que permitan sostener el sistema de preparación y respuesta.

De este modo, aunque el tratado representa un avance político relevante, su efectividad real continúa dependiendo de acuerdos posteriores que todavía no han sido plenamente alcanzados, especialmente en lo relativo al equilibrio entre soberanía nacional, seguridad sanitaria global y reparto equitativo de beneficios.

El Tratado de Pandemias y la profesión veterinaria

El Tratado de Pandemias tiene implicaciones importantes para la profesión veterinaria debido a

que las enfermedades de los animales están en el núcleo de la necesidad del tratado.

Lo anterior conlleva que el tratado considere explícitamente el papel de los servicios veterinarios en la prevención y manejo de pandemias, máxime cuando el tratado incide en el enfoque «Una Salud», tal cual se recoge en los artículos 4 y 5 al reconocer que la interacción humana con la fauna de vida libre, los animales de granja y las mascotas puede ser un factor en la transmisión de patógenos; adquiriendo así una especial relevancia derivada de las condiciones inadecuadas de los alojamientos o, incluso, como consecuencia del comercio ilegal, pero también en aspectos relacionados con el bienestar animal. Aspectos que sin ninguna duda son competencia de la profesión veterinaria²¹.

El artículo 4, relativo a la prevención y vigilancia de pandemias, enfatiza en la necesidad de que los países desarrollen sus capacidades para rastrear y frenar la propagación de enfermedades entre animales y personas. Lo que pasa por fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica, aunque a algunos pudiera sorprenderles se relaciona de manera directa con la Estrategia de Seguridad Nacional y con la Estrategia de Salud Pública.

Las equivalencias existentes entre las estrategias citadas, aunque tengan una visión antropocéntrica, no parecen contemplar de una manera directa el papel de los veterinarios para atajar los brotes de enfermedad cuando se están gestando, al olvidar, o al menos considerar de manera ajena, el interfaz humano animal²².

De hecho, la estrategia de Salud Pública 2022, al igual que el tratado de pandemias en el que se está trabajando, establece un marco referencial para la mejora

de la salud individual y colectiva, siempre partiendo de la base de que parece que el sistema sanitario está focalizado en la enfermedad y no tanto en la prevención, siendo sus objetivos^{23,24}:

- Fortalecer la salud pública para mejorar la salud gracias al impulso de la investigación e innovación, así como potenciar la comunicación en el ámbito de la salud pública.
- Modernizar la vigilancia epidemiológica para así incrementar la capacidad de respuesta frente a emergencias sanitarias de manera rápida, oportuna y coordinada en los niveles local, regional y nacional, fomentando la colaboración internacional.
- Mejorar la salud y el bienestar a través de estilos de vida y entornos generadores de salud, seguros y sostenibles.
- Promover la salud y la equidad en salud a lo largo de la vida.

La modernización de la vigilancia epidemiológica se relaciona con la instauración de la Red Estatal de Vigilancia en Salud Pública para el fortalecimiento de la coordinación multisectorial favoreciendo la integración de los aspectos relativos a la salud humana sanidad animal y medio ambiente. Así, en el artículo 14 se incide en que los sistemas de vigilancia utilizarán e incorporarán la información de interés para la vigilancia de la salud pública procedente de diferentes fuentes, incluida la relacionada con la ganadería o con la vida animal silvestre, incluida la relacionada con el cambio climático; pero también, aunque no esté claramente definido, con la información relacionada con el comercio legal, pero también ilegal, de especies animales, donde se demuestra vital la colaboración de la profesión veterinaria con los Cuerpos y Fuerzas de Seguridad^{25,26}.



UNA SOLA SALUD

Por otro lado, un aspecto no contemplado de manera explícita en el tratado es que no hace distinción del origen de un brote de enfermedad, ya sea natural, intencionado o accidental. La importancia del origen, lejos de ser anecdótica, resulta clave porque los patrones epidemiológicos de diseminación pueden resultar afectados por éste y, fundamentalmente, por el tiempo de generación de la alarma en virtud de la eficacia de los sistemas de vigilancia epidemiológica.

El fortalecimiento de los sistemas de vigilancia y alerta temprana basados en el enfoque «Una Salud», tal cual preconiza el tratado de pandemias, permitirá agilizar la respuesta antes de que el brote se transforme en epidémico o, peor aún, en pandémico. Esta integración parece que conllevará una mayor inversión en investigación sanitaria, mejorando las capacidades de detección e identificación.

En relación con el citado artículo 5 se hace hincapié en que las «Partes» se comprometen a fomentar el enfoque «Una Salud» de una manera coherente, integrada, coordinada y colaborativa, respetando las legislaciones nacionales e internacionales. Asimismo, adoptarán medidas para identificar y abordar los factores que favorecen la aparición y desarrollo de brotes de enfermedad con potencial pandémico derivados de la interacción entre el ser humano, los animales y el medio ambiente, incorporando esas medidas en los planes de preparación y respuesta, según la disponibilidad de recursos. A este respecto, es importante destacar que en prácticamente toda la normativa nacional sanitaria cada vez es mayor la integración del concepto «Una Salud» en sus aspectos prácticos, pasando de la aplicación del concepto a su desarrollo

e integración en los protocolos y procedimientos de actuación²⁷.

Ese reconocimiento literal del enfoque «Una Salud» que recalca la interconexión entre la salud humana, la salud animal y el medioambiente para la lucha contra las pandemias, especialmente las zoonosis, no tiene un desarrollo conceptual claro y determinado, ya que el tratado podría promover ese enfoque en la gestión de las amenazas sanitarias, reconociendo la importancia de la colaboración multidisciplinar de las profesiones sanitarias, entre las que se incluye la profesión veterinaria. Desde esta aproximación, su desarrollo operativo continúa siendo desigual entre países y organizaciones.

en particular, o en el hantavirus, entre otros posibles escenarios epidémicos, para corroborar esta afirmación.

Por otro lado, y a modo de ejemplo, esa necesaria integración de los servicios de salud animal y humana puede determinar la necesidad de establecer marcos regulatorios comunes, así como estructuras organizativas que permitan disponer de canales de comunicación efectiva. Solo hay que pensar en el brote del Virus del Nilo Occidental de Nueva York de 1999 ya que si hubiera habido integración y comunicación entre los diferentes actores implicados probablemente la respuesta hubiera sido diferente²⁸.



Desarrollar el enfoque «Una Salud» llevaría aparejada fortalecer la participación e integración de los veterinarios en los equipos de planificación, preparación y respuesta de los brotes de enfermedades transmisibles de origen animal. Esto permitiría una mayor y mejor integración de los servicios veterinarios en los protocolos de salud pública y, por ende, en la vigilancia de enfermedades que puedan representar una amenaza epidémica y/o pandémica. Solo hay que pensar en el virus gripe en general y, en el virus H5N1

Además, el artículo 5 incide en la necesaria participación de todos los actores implicados en su desarrollo e implementación, así como en la necesidad de fomentar programas conjuntos de formación en la interfaz entre los seres humanos, los animales y el medio ambiente con el fin de fomentar competencias, capacidades y aptitudes complementarias y pertinentes, de conformidad con el enfoque «Una Salud» que está en el núcleo del proyecto de tratado. Para ello, resultará clave aprovechar herramientas de ayuda a la

decisión basados en Tecnologías Emergentes Disruptivas. Esta necesidad resulta prioritaria ya que para poder responder con eficacia a los retos derivados de la gestión de una epidemia o una pandemia resulta necesario que el personal esté formado y entrenado en planificación y gestión de una emergencia. A este respecto, que los veterinarios tengan acceso a esta formación, será clave para dar una respuesta integral e integrada.

Esa formación permitiría, desde una aproximación generalista, crear y fortalecer mecanismos de colaboración multisectorial más eficientes, promoviéndose el establecimiento de sistemas de comunicación y coordinación más

ción y respuesta ante pandemias. Incidiendo en el artículo 7 en la formación de los trabajadores de la salud y asistenciales, pero no de otros profesionales sanitarios, aunque pudiera entrar en una contradicción conceptual al no tener en cuenta a los veterinarios dentro de este grupo a pesar de lo contemplado en el artículo 5. De hecho, en la Propuesta de Acuerdo de la OMS sobre Pandemias se mencionaba la necesidad de mantener «los servicios de salud esenciales de calidad y las funciones esenciales de salud pública durante las pandemias Una Salud», no contemplando los servicios de salud pública de manera específica a pesar de la importancia que tienen en la gestión

“ Estamos ante una oportunidad única para situar la prevención en el centro de la gobernanza global. El éxito del Tratado de Pandemias de la OMS y de planes operativos como el de la Comunidad de Madrid dependerá de que se supere la fragmentación actual y se reconozca formalmente a la profesión veterinaria como un actor sanitario de primer orden.”

eficaces entre los servicios veterinarios, las autoridades de salud pública, las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad y los organismos internacionales que permitieran operar en plataformas comunes de información y en protocolos de actuación conjunta²⁹.

Sin embargo, desde una lectura interesada, parecería que los artículos 6 y 7 entrarían en contradicción conceptual con el enfoque Una Salud al referirse a los sistemas de salud. Así, en el artículo 6 se hace referencia a la necesidad de fortalecer y mantener un sistema de salud resiliente, en particular la atención primaria de salud, para la prevención, prepara-

y control de enfermedades. Esta omisión es particularmente relevante en el caso de las zoonosis, como el ébola, el SARS CoV-1, la gripe aviar o, por qué no, el hantavirus, cuya vigilancia y control requieren un enfoque interdisciplinar, máxime cuando se trata de enfermedades zoonóticas³⁰.

Desde otra aproximación, el tratado de pandemias aprobado facilitará la cooperación transnacional en el ámbito veterinario al estar sustentada por la Organización Mundial de Sanidad Animal, entre otras redes de carácter internacional, asegurando que los recursos y conocimientos se compartan de manera más eficiente. Llevando

más allá la necesaria integración entre las redes de alerta humanas, las de veterinaria y las de medio natural que obviamente se verán favorecidas por un entorno de financiación más estable y necesario que apoyará el desarrollo de las infraestructuras veterinarias en los países en desarrollo, permitiéndose así una respuesta más efectiva frente a brotes de origen zoonótico (pero sin ninguna duda, también eficaz frente a enfermedades de alto impacto económico), a merced de la potenciación de las capacidades de laboratorio en los diferentes niveles de respuesta.

Otro aspecto que podría resaltar-se en una lectura interesada del tratado de pandemias es que está centrado en la Salud Humana y, aunque menciona la importancia de la colaboración multidisciplinar de las profesiones sanitarias en el ámbito de la salud pública, la mayoría de los esfuerzos en la prevención de pandemias se han centrado prioritariamente en esta, «olvidándose», si así se pudiera expresar, de la necesidad de establecer acciones preventivas en las zoonosis que tienen un impacto directo sobre las personas. A este respecto, la no inclusión directa de recursos y responsabilidades, a pesar de fundamentarse en el enfoque «Una Salud», conllevará una disminución de los esfuerzos de prevención en las fases iniciales de generación de un brote de enfermedad, cuando aún es posible controlar su extensión sin un gran impacto y, por tanto, su impacto sobre la población.

Esa no inclusión expresa de la profesión veterinaria, salvo que se contemple en una lectura interesada lo de «trabajadores de la salud» anteriormente citados, determina que no se contemple la mención de los veterinarios en los equipos que participan en el desarrollo de estrategias de preparación y respuesta, así como





en el proceso de toma de decisiones, por supuesto no específicamente asistenciales; ya sea en el nivel local, regional, nacional y, por supuesto, en el internacional. De este modo, se podría asegurar que las políticas y medidas adoptadas estén alineadas con las necesidades y capacidades del sector veterinario. Esa exclusión puede determinar que se generen respuestas fragmentadas o insuficientes ante brotes de origen zoonótico.

Aportaciones “potenciales” de la profesión veterinaria al Tratado de Pandemias

La Federación Europea de Veterinarios, consciente de la necesidad de reforzar la cooperación interdisciplinar en crisis sanitarias en el marco del tratado de pandemias bajo el enfoque Una Salud, publicó un documento donde exponía los aportes que la profesión veterinaria podía hacer para mejorar nuestra capacidad de respuesta en este ámbito destacando la importancia del veterinario en el establecimiento de planes de contingencia y redes

de vigilancia. Entre las cuales destacan^{30,31}:

- Colaborar en la prevención y control de zoonosis aportando sus conocimientos relacionados con el control de brotes de enfermedades transmisibles, la instauración efectiva de cuarentenas y control de movimientos, así como potenciando la bioseguridad.
- Aportar su experiencia en la detección temprana de brotes de enfermedad gracias a la monitorización, vigilancia y herramientas avanzadas de diagnóstico y en la instauración de programas de inmunoprofilaxis masiva.
- Capacidad de trabajo colaborativo para integrarse en grupos multidisciplinares para desarrollar planes de contingencia que permitan la coordinación efectiva de respuestas a crisis sanitarias.
- Aprovechar su capacidad de comunicar mensajes precisos para lograr la cooperación de los ciudadanos.

A efectos de fortalecer la capacitación y recursos veterinarios en los países en desarrollo resulta necesario fortalecer las relaciones entre la Organización Mundial de la Salud con la Organización Mundial de Sanidad Animal, así como otras organizaciones relacionadas³². De esta manera se favorecerá no solo el intercambio de información epidemiológica clave, sino que se favorecerá la creación de equipos multidisciplinares que permitan dar una respuesta más efectiva en brotes de zoonosis. Esta integración de profesionales sanitarios determina potenciar las capacidades de respuesta en los diferentes niveles organizativos con una economía de medios más eficaz y eficiente

Para alcanzar este objetivo el tratado debe incluir mecanismos de financiación específicos para fortalecer las capacidades veterinarias a nivel regional o nacional,

fundamentalmente en aquellos países con bajos recursos. Esto, desde una aproximación veterinaria, es clave, ya que cuanto más preparados estén, mayor será la protección frente a brotes potencialmente pandémicos.

Una vez aprobado el tratado, el trabajo no se ha terminado ya que aún queda un recorrido significativo para alcanzar su plena operatividad una vez que 60 países completen su ratificación. De hecho, alcanzar un acuerdo de mínimos durante la 78ª Asamblea General Ordinaria de la OMS fue posible extrayendo los aspectos más discutidos del cuerpo del tratado ante la falta de consenso definitivo la falta de consenso sobre el desarrollo del sistema PABS continúa ralentizando la plena operatividad del tratado, especialmente en lo relativo al acceso a muestras biológicas, intercambio de datos genómicos, transferencia tecnológica y reparto equitativo de beneficios.

Asimismo, la ausencia de acuerdos concretos sobre financiación y propiedad intelectual mantiene abiertas importantes incertidumbres sobre la capacidad real del tratado para garantizar una respuesta verdaderamente equitativa ante futuras pandemias³³.

Conclusión

La actual crisis del hantavirus constituye el ejemplo más reciente de cómo las amenazas biológicas emergentes requieren respuestas que trasciendan la visión clínica o asistencial tradicional. Esta situación evidencia que la prevención solo es efectiva mediante una gestión coordinada que integre la vigilancia epidemiológica, la sanidad animal, la salud pública y el medioambiente.

Estamos ante una oportunidad única para situar la prevención en el centro de la gobernanza

global. El éxito del Tratado de Pandemias de la OMS y de planes operativos como el de la Comunidad de Madrid dependerá de que se supere la fragmentación actual y se reconozca formalmente a la profesión veterinaria como un actor sanitario de primer orden. Solo protegiendo la interfaz humano-animal y comprendiendo la salud en su origen, podremos transformar la incertidumbre biológica en un modelo

de resiliencia capaz de proteger a toda la sociedad.

Asimismo, esta crisis pone de manifiesto que la gestión sanitaria no puede limitarse a los recursos técnicos; requiere también estrategias de comunicación transparentes y basadas en la evidencia para combatir la desinformación y fomentar la confianza institucional. En este escenario, la integración definitiva de los veterinarios en los órganos de decisión y en

la comunicación del riesgo no es solo una cuestión de justicia corporativa, sino una exigencia de seguridad nacional. Los profesionales sanitarios debemos estar preparados para actuar en estos entornos complejos donde la protección de la población es el objetivo prioritario, haciendo honor al espíritu del lema tradicional de nuestra profesión: **Hygia pecoris, salus populi** («La salud del ganado es la salud del pueblo»).

Notas

Todas las búsquedas de internet se realizaron el 13 de mayo de 2026

- 1 COMUNIDAD DE MADRID (2026). La Comunidad de Madrid estrena un Plan pionero en España de Preparación y Respuesta frente a Emergencias de Salud Pública. Comunidad de Madrid [pág. web] 30 de abril de 2026. Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/notas-prensa/2026/04/30/comunidad-madrid-estrena-plan-pionero-espana-preparacion-respuesta-frente-emergencias-salud-publica>
- 2 VELÁSQUEZ G. (2022) ¿Qué está en juego con el Tratado Internacional de Pandemias? Instituto de Salud Global [pág. web]. Disponible en: <https://www.isglobal.org/-/un-tratado-internacional-contras-las-pandemias-negociado-en-una-oms-mas-fuerte>
- 3 PÉREZ-RAMÍREZ E, IGLESIAS I, ALVAR J, CASAS I. (2023) ¿Podría la gripe aviar A(H5N1) causar una nueva pandemia? An RANM. 140(02): 194-201. DOI: 10.32440/ar.2023.140.02.rev08
- 4 RIVERO GARCÍA A. (2025) ¿Estamos preparados para una nueva pandemia? La amenaza de la gripe aviar H5N1. Gaceta Médica [pág. web]. Disponible en: <https://gacetamedica.com/investigacion/preparados-pandemia-amenaza-gripe-aviar-h5n1/>
- 5 CONSEJO EUROPEO (2024) Un acuerdo internacional sobre la prevención y preparación ante pandemias. Consejo Europeo [pág. web]. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/coronavirus-pandemic/pandemic-treaty/>
- 6 COMISIÓN EUROPEA. (2022) Unión Europea de la Salud: la HERA presenta la lista de las tres mayores amenazas para la salud contra las que debemos prepararnos. Comisión Europea [pág. web]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/press-corner/api/files/document/print/es/ip_22_4474/IP_22_4474_ES.pdf
- 7 COMISIÓN EUROPEA (2020) Medicamentos asequibles, accesibles y seguros para todos: la Comisión presenta una Estrategia Farmacéutica para Europa. Comisión Europea [pág. web]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/es/ip_20_2173/IP_20_2173_ES.pdf
- 8 ANIMAL'S HEALTH (2023) La Asociación Mundial Veterinaria ofrece sus aportaciones en el acuerdo de la OMS frente a pandemias. Animal's Health [pág. web]. Disponible en: <https://www.animalshealth.es/profesionales/asociacion-mundial-veterinaria-ofrece-aportaciones-acuerdo-oms-frente-pandemias>
- 9 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2024) Órgano de Negociación Intergubernamental para redactar y negociar un convenio, acuerdo u otro instrumento internacional de la OMS sobre prevención, preparación y respuesta frente a pandemias. 77ª Asamblea Mundial de la Salud. 27 de mayo de 2024. Organización Mundial de la Salud [pág. web]. Disponible en: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA77/A77_10-sp.pdf
- 10 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2025). Intergovernmental Negotiating Body to draft and negotiate a WHO convention, agreement or other international instrument on pandemic prevention, preparedness and response Proposal for the WHO Pandemic Agreement. World Health [pág. web] Disponible en: <https://healthpolicy-watch.news/wp-content/uploads/2025/04/WHO-Pandemic-Agreement-Text-agreed-by-21-February.pdf>
- 11 CONSEJO EUROPEO (2020) Comunicado de prensa del presidente Charles Michel sobre un tratado internacional sobre pandemias. Consejo Europeo [pág. web] Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2020/12/03/press-release-by-president-charles-michel-on-an-international-treaty-on-pandemics/>
- 12 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2021) From Worlds Apart to a World Prepared: Global Preparedness Monitoring Board report 2021. Geneva: World Health [pág. web] Disponible en: https://www.gpmb.org/docs/librariesprovider17/default-document-library/gpmb-annual-report-2021.pdf?sfvrsn=44d10dfa_9
- 13 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2020) La Asamblea Mundial de la Salud acuerda poner en marcha un proceso para elaborar un acuerdo mundial histórico sobre prevención, preparación y respuesta frente a pandemias. Organización Mundial de la Salud [pág. web] Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/01-12-2021-world-health-assembly-agrees-to-launch-process-to-develop-historic-global-agreement-on-pandemic-prevention-preparedness-and-response>
- 14 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2024) 76.ª Asamblea Mundial de la Salud – Actualización diaria: 24 de mayo de 2024. Organización Mundial de la Salud [pág. web] Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/24-05-2023-seventy-sixth-world-health-assembly---daily-update--24-may-2023>

UNA SOLA SALUD

- 15 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2024) *Twelfth Meeting of the Intergovernmental Negotiating Body to draft and negotiate a WHO Convention, Agreement or Other International Instrument on Pandemic Prevention, Preparedness and Response. Agenda item 4 – A/INB/12/4*. World Health Organization [pág. web] Disponible en: https://apps.who.int/gb/inb/pdf_files/inb12/A_inb12_4-en.pdf
- 16 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2025) *Thirteenth meeting of the Intergovernmental Negotiating Body to draft and negotiate a WHO convention, agreement or other international instrument on pandemic prevention, preparedness and response. Agenda item 6 – A/INB/13/4*. World Health Organization [pág. web] Disponible en: https://apps.who.int/gb/inb/pdf_files/inb13/A_inb13_4-en.pdf
- 17 LEIS MONTERO E. (2024) *¿Qué es el llamado “tratado pandémico” de la Organización Mundial de la Salud?* Chequeado.com [pág. web] Disponible en: <https://chequeado.com/el-explicador/que-es-el-llamado-tratado-pandemico-de-la-organizacion-mundial-de-la-salud/>
- 18 CULLINAN K. (2025). *With 10 Days of Talks Left, It’s ‘Now or Never’ for Pandemic Agreement*. Health Policy Watch [pág. web] Disponible en: <https://healthpolicy-watch.news/with-10-days-of-talks-left-its-now-or-never-for-pandemic-agreement/>
- 19 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2025) *WHO Member States conclude negotiations and make significant progress on draft pandemic agreement*. World Health Organization [pág. web] Disponible en: <https://www.who.int/news/item/16-04-2025-who-member-states-conclude-negotiations-and-make-significant-progress-on-draft-pandemic-agreement>
- 20 BLANCO PR (2026). *Bloqueo del tratado de pandemias en la OMS en plena crisis del hantavirus*. Diario El País (edición digital) 11 de mayo de 2026. Disponible en: <https://elpais.com/planeta-futuro/2026-05-11/un-brote-de-hantavirus-sorprende-a-un-mundo-que-sigue-debatiendo-como-hacer-frente-a-la-proxima-pandemia.html>
- 21 SOPHIE M. (2025). *The Pandemic Treaty: A critical moment for animal welfare*. World Federation for Animals [pág. web] Disponible en: <https://wfa.org/the-pandemic-treaty-a-critical-moment-for-animal-welfare/>
- 22 KARESH WB, DOBSON A, LLOYD-SMITH JO, LUBROTH J, DIXON MA ET AL (2012) *Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories*. Lancet 380: 1936–45.
- 23 LA MONCLOA (2022) *El Consejo Interterritorial del SNS aprueba la Estrategia de Salud Pública 2022*. Nota de prensa [pág. web] Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/sanidad14/Paginas/2022/220622-estrategia-salud-publica.aspx>
- 24 RAMÓN LÓPEZ F. (2022) *La Asociación Mundial Veterinaria ofrece sus aportaciones en el acuerdo de la OMS frente a pandemias*. Animal’s Health [pág. web]. Disponible en: <https://www.animalshealth.es/profesionales/nueva-estrategia-salud-publica-papel-deben-jugar-veterinarios>
- 25 HUANG Y, JIANG S, DAMINOVA N, KUMAH E. (2024) *Integrating animal welfare into the WHO pandemic treaty: a thematic analysis of civil society perspectives and comparison with treaty drafting* Front. Vet. Sci. 11:1421158. doi: 10.3389/fvets.2024.1421158
- 26 REAL DECRETO 568/2024, de 18 de junio, por el que se crea la Red Estatal de Vigilancia en Salud Pública (Boletín Oficial del Estado, número 148, de 19 de junio de 2024, páginas 70985 a 71007).
- 27 MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES, UNIÓN EUROPEA Y COOPERACIÓN – MINISTERIO DE SANIDAD (2025). *Estrategia Española de Salud Global 2025-2030* Ministerio De Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación – Ministerio de Sanidad. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/areas/calidadAsistencial/estrategias/saludMental/docs/Estrategia_de_Salud_Global_2025-2030.pdf
- 28 NASH D, MOSTASHARI F, FINE A, MILLER J, O’LEARY D, ET AL. (2001) *The Outbreak of West Nile Virus Infection in the New York City Area in 1999*. N Engl J Med 344:1807-1814 DOI: 10.1056/NEJM200106143442401
- 29 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2024) *Novena reunión reanudada del Órgano de Negociación Intergubernamental para redactar y negociar un Convenio, Acuerdo u otro Instrumento Internacional de la OMS sobre Prevención, Preparación y Respuesta frente a Pandemias. Punto 2 del orden del día provisional A/INB/9/3 Rev.1*. Organización Mundial de la Salud [pág. web] Disponible en: https://apps.who.int/gb/inb/pdf_files/inb9/A_inb9_3Rev1-sp.pdf
- 30 FEDERATION OF VETERINARIANS OF EUROPE (2024) *The contribution of the veterinary profession to pandemic preparedness FVE/2024/pp/001*. Federation of Veterinarians of Europe [pág. web] Disponible en: <https://fve.org/cms/wp-content/uploads/001-FVE-template-Pandemic-Preparedness-final-1.pdf>
- 31 JIMENEZ J. (2024) *La Federación de Veterinarios de Europa (FVE) ha publicado un documento con recomendaciones para mejorar la respuesta ante futuros brotes de enfermedades transfronterizas*. Animals health [pág. web] Disponible en: <https://www.animalshealth.es/profesionales/veterinaria-europea-da-claves-afrontar-futuras-pandemias-desde-one-health>
- 32 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2023) *Quadripartite Collaboration for One Health (FAO, UNEP, WHO and WOA) Comments to the 16 October version of the Pandemic Agreement*. World Health Organization [pág. web] Disponible en: https://apps.who.int/gb/inb/pdf_files/INB7-written-statements/Quadripartite-Collaboration-for-One-Health.pdf
- 33 NACIONES UNIDAS (2025). *Los países finalizan un acuerdo histórico sobre pandemias*. Naciones Unidas [pág. web]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2025/04/1538081>

Imagen médica en veterinaria e investigación

DAVID PÉREZ-BENITO¹, MARÍA DE LA JARA FELIPE MAESTRE¹,
PATRICIO LÓPEZ EXPÓSITO¹, JUAN JOSÉ VAQUERO^{1,2}

¹ Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Bioingeniería, Leganés

² Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón, Madrid

Introducción: por qué la imagen médica es clave en veterinaria e investigación

La imagen médica se ha convertido en una herramienta esencial en la veterinaria moderna y en la investigación biomédica. Su valor no se limita a confirmar un diagnóstico: permite localizar lesiones, valorar la extensión de una enfermedad, planificar intervenciones, monitorizar la respuesta a un tratamiento y documentar la evolución de un paciente de forma objetiva. En animales, donde la exploración clínica puede verse limitada por la especie, el comportamiento, el tamaño o la imposibilidad de expresar síntomas, la imagen aporta una ventana directa al interior del organismo y ayuda a tomar decisiones con mayor seguridad.

En la práctica clínica veterinaria, la radiografía fue durante décadas la técnica de referencia para estudiar huesos, tórax y abdomen. Con el desarrollo de la ecografía, la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la medicina nuclear, el diagnóstico por imagen ha evolucionado desde una visión principalmente anatómica hacia una evaluación más completa, capaz de integrar

estructura, función y fisiología^[1]. Esta evolución ha cambiado la forma de abordar muchas enfermedades: hoy no sólo interesa saber si existe una masa o una fractura, sino también si el tejido está vascularizado, si infiltra estructuras vecinas, si presenta actividad metabólica o si responde al tratamiento prescrito.

La veterinaria presenta además una particularidad que la diferencia de la medicina humana: la enorme diversidad de pacientes. Un protocolo adecuado para un

te en especies exóticas, animales de producción o modelos experimentales de pequeño tamaño.

En investigación, las técnicas de imagen tienen un papel igualmente decisivo. Permiten estudiar procesos biológicos en animales vivos de forma no invasiva y repetida en el tiempo. Esto resulta muy valioso en estudios longitudinales, en los que el mismo animal puede ser evaluado antes, durante y después de una intervención. De este modo se reduce la variabilidad entre individuos, se obtiene

“El desarrollo de la imagen médica veterinaria ha transformado la práctica clínica: permite mirar más allá de la exploración externa, confirmar sospechas, descubrir lesiones ocultas, planificar procedimientos y seguir la evolución de un paciente con criterios objetivos.”

perro no siempre sirve para un gato, un caballo, un ave, un reptil o un ratón de laboratorio. Las diferencias anatómicas, fisiológicas y de comportamiento condicionan la elección de la técnica, el posicionamiento, los parámetros de adquisición, la necesidad de sedación o anestesia y la interpretación de los hallazgos. Esta variedad exige flexibilidad y conocimiento específico, especialmen-

te en especies exóticas, animales de producción o modelos experimentales de pequeño tamaño. se contribuye al uso responsable de animales de experimentación, alineándose con los principios de reducción y refinamiento^[2].

El objetivo de este artículo es revisar las principales modalidades de imagen utilizadas en veterinaria y en investigación, explicando sus fundamentos, aplicaciones y limitaciones con un lenguaje cla-



Figura 1. Ecosistema de imagen veterinaria.

ro, pero manteniendo la precisión necesaria. No se pretende presentar una comparación competitiva entre técnicas, sino mostrar que cada modalidad responde a preguntas distintas. La elección adecuada depende del problema clínico o científico, del paciente, de los recursos disponibles y de la información que se necesita obtener.

Fundamentos generales para elegir una técnica de imagen

La elección de una modalidad de imagen debe partir de una pregunta concreta: qué se necesita saber y con qué grado de precisión. No todas las técnicas ofrecen el mismo tipo de información. Algunas muestran muy bien la anatomía; otras permiten estudiar el flujo sanguíneo o la

actividad metabólica; y otras se orientan a procesos celulares o moleculares. Por ello, resulta útil distinguir entre imagen anatómica, funcional y molecular, aunque en la práctica estas categorías se solapan cada vez más.

La imagen anatómica describe la forma, el tamaño, la posición y la relación espacial de órganos y tejidos. Radiografía, ecografía, tomografía computarizada y resonancia magnética pertenecen a este grupo. La radiografía ofrece una proyección bidimensional rápida; la ecografía muestra cortes dinámicos en tiempo real; la tomografía computarizada reconstruye volúmenes a partir de rayos X; y la resonancia magnética aporta un contraste excepcional de tejidos blandos. Estas técnicas son indispensables para localizar lesiones, valorar fracturas, detectar masas, estudiar cavidades corporales o planificar cirugías.

La imagen funcional añade información sobre cómo trabaja un órgano o sistema. Ejemplos claros son el Doppler ecográfico, que permite estudiar flujos sanguíneos; TC (Tomografía Computarizada) RM (Resonancia Magnética), que valoran perfusión y vascularización; o determinadas secuencias de resonancia que analizan difusión, movimiento del agua o actividad cerebral. Este tipo de información es especialmente útil cuando la alteración funcional aparece antes que el cambio anatómico visible.

La imagen molecular va un paso más allá y permite visualizar procesos biológicos a escala celular o molecular. PET (Tomografía por emisión de positrones o positron emission tomography por sus siglas en inglés), SPECT (single-photon emission computed tomography o tomografía computarizada de emisión monofotónica) y algunas aplicaciones

avanzadas de RM, ecografía u óptica utilizan trazadores o sondas que se acumulan según el metabolismo, la expresión de receptores, la inflamación, la hipoxia o la actividad enzimática. Su interés es enorme en oncología, neurología, cardiología e investigación preclínica, aunque su uso clínico veterinario todavía está limitado por disponibilidad, coste, infraestructura y requisitos de radioprotección.

Además del tipo de información, deben considerarse varios criterios técnicos. La resolución espacial indica la capacidad para diferenciar estructuras pequeñas. Es crucial en animales de pequeño tamaño y en modelos de investigación, donde una lesión de pocos milímetros puede tener relevancia. La TC suele ofrecer excelente detalle óseo y anató-

mico; la RM destaca en tejidos blandos; la ecografía depende de la frecuencia del transductor, la ventana acústica y la experiencia del operador. La imagen nuclear sin embargo sacrifica resolución espacial a cambio de gran sensibilidad funcional.

La resolución temporal describe la capacidad de captar procesos rápidos. Es fundamental en estudios cardíacos, respiratorios o vasculares. La ecografía es especialmente ventajosa porque permite ver el movimiento en tiempo real. En cambio, la RM y la PET suelen requerir adquisiciones más largas, aunque existen técnicas rápidas y sistemas de sincronización con respiración o electrocardiograma que mejoran la calidad en estudios dinámicos.

También pesan factores prácticos: coste, disponibilidad, dura-

ción de la exploración, necesidad de sedación o anestesia y seguridad. Radiografía y ecografía son rápidas, relativamente económicas y ampliamente disponibles. La TC es más costosa, pero rápida y muy útil en urgencias y planificación quirúrgica. La RM y la imagen molecular requieren más tiempo, equipamiento especializado y, con frecuencia, anestesia general. En cuanto a seguridad, la radiografía, TC, PET y SPECT emplean radiación ionizante, por lo que deben aplicarse bajo criterios justificados, y de protección radiológica.

Por último, la especie condiciona la elección. En pequeños animales, casi todas las modalidades son técnicamente posibles. En equinos, el tamaño limita el acceso a TC y RM de cuerpo completo, aunque existen equipos adapta-

COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE IMAGEN VETERINARIA

Resumen orientativo de características prácticas y diagnósticas

TÉCNICA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	COSTE	DURACIÓN DEL ESTUDIO	PORTABILIDAD	RADIACIÓN IONIZANTE	ANESTESIA / SEDACIÓN
 CT	Alta, especialmente para hueso, pulmón y anatomía 3D	Alto	Corta: minutos, aunque depende del protocolo	Baja-media: generalmente fijo; existen CT móviles, pero son menos comunes	Sí, dosis mayor que radiografía convencional	Frecuente: sedación o anestesia, sobre todo en pequeños animales, exóticos o estudios largos
 Imagen molecular PET, SPECT, gammagrafía	Baja anatómicamente; alta sensibilidad funcional/metabólica	Muy alto	Larga: desde decenas de minutos hasta horas, incluyendo captación del trazador	Muy baja	Sí, por radiofármacos	Frecuente: sedación o anestesia para evitar movimiento durante la adquisición
 Ecografía	Media-alta; dependiente del operador, frecuencia de la sonda y profundidad	Bajo-medio	Corta-media: minutos	Muy alta: equipos portátiles y de mano	No	Normalmente no; puede requerirse sedación si el animal no colabora o en procedimientos guiados
 Resonancia Magnética MRI	Muy alta para tejidos blandos, sistema nervioso, músculo y articulaciones	Muy alto	Larga: normalmente decenas de minutos	Muy baja: equipos grandes y fijos	No	Casi siempre anestesia o sedación profunda, porque requiere inmovilidad prolongada

Figura 2. Comparativa de técnicas de imagen veterinaria.

dos para extremidades o estudios en estación. En animales de producción se priorizan técnicas portátiles, rápidas y coste-efectivas. En animales exóticos y de laboratorio, el tamaño, el estrés, la anestesia y la resolución requerida son determinantes.

Radiografía: técnica básica y de primera línea

La radiografía continúa siendo una de las técnicas más utilizadas en veterinaria^[3,4]. Su permanencia no se debe a falta de alternativas, sino a una combinación muy difícil de igualar: rapidez, bajo coste relativo, disponibilidad, facilidad de implementación y utilidad clínica inmediata. En muchos pacientes es la primera prueba de imagen, especialmente en traumatología,

tórax y abdomen. También es frecuente en animales grandes gracias a equipos portátiles que permiten trabajar en campo, establos o explotaciones ganaderas.

Su fundamento se basa en el uso de rayos X, una radiación electromagnética capaz de atravesar el tejido. Al iluminar el animal con un tubo de rayos X, los distintos tejidos atenúan el haz en diferente medida según su densidad y composición. El hueso y el metal absorben más radiación; el aire absorbe muy poca; los tejidos blandos atenúan la radiación en valores intermedios entre aire y hueso. Esta diferencia de absorción genera una imagen bidimensional, normalmente en tonos de grises, que representa la proyección de la estructura tridimensional.

La simplicidad aparente de la radiografía no debe confundirse

con ausencia de complejidad. La imagen final depende de la energía del haz, la exposición, la distancia, la geometría, el posicionamiento, la presencia de movimiento y la calidad del detector. La digitalización ha mejorado mucho el flujo de trabajo y permite ajustar contraste y brillo después de la adquisición para obtener la imagen óptima, y el soporte digital facilita el archivo y la comparación de estudios. Sin embargo, una imagen mal posicionada o adquirida con una proyección inadecuada no puede corregirse y por lo tanto podría inducir errores diagnósticos.

En tórax, la radiografía es fundamental para valorar la silueta cardíaca, los pulmones, el mediastino, la pleura y la pared torácica. Permite detectar patrones pulmonares, neumonías, edema, derrames pleurales, neumotórax,

ANATOMÍA vs FUNCIÓN vs METABOLISMO

Esquema conceptual de la información que aportan las técnicas de imagen

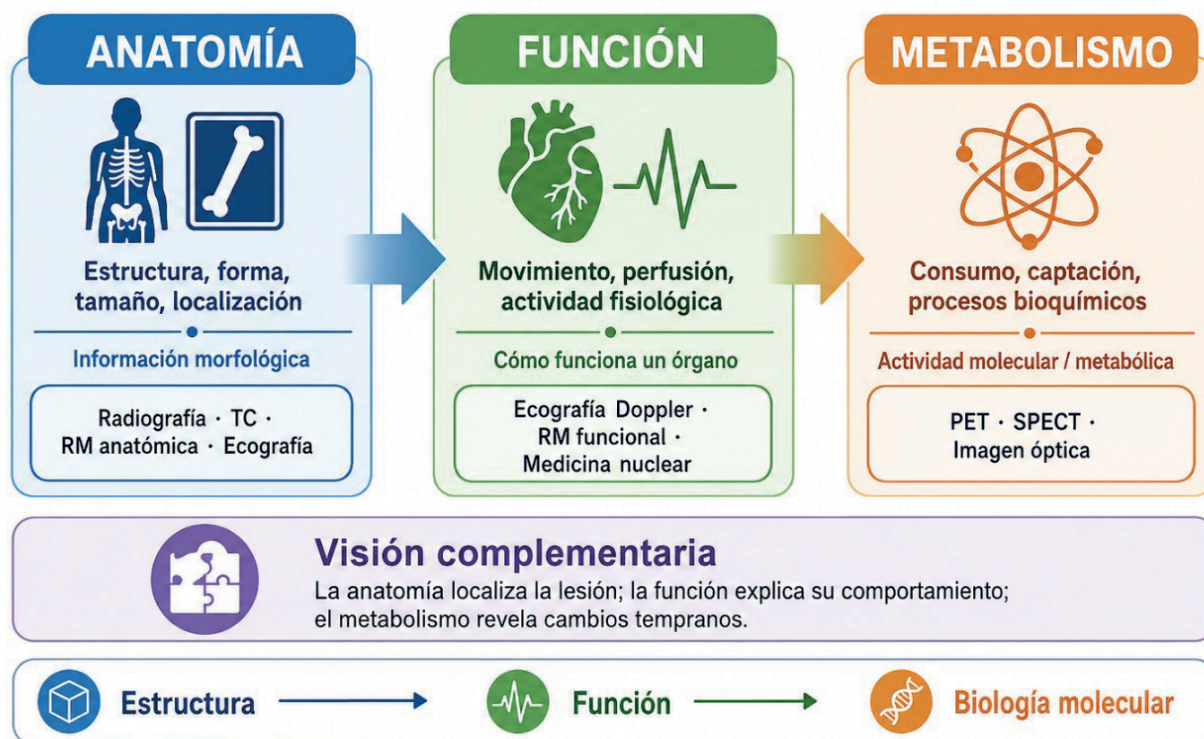


Figura 3. Diferencias del tipo de información en función de la modalidad utilizada.

masas, colapso traqueal o signos compatibles con metástasis. Aunque la TC es más sensible para lesiones pequeñas, la radiografía sigue siendo esencial por su rapidez y disponibilidad, especialmente en urgencias respiratorias.

En abdomen, la radiografía ayuda a valorar tamaño y posición de órganos, presencia de gas, cuerpos extraños, obstrucciones, cálculos urinarios, líquido libre o pérdida de detalle seroso. Muchas alteraciones abdominales requieren ecografía para caracterizar mejor tejidos blandos, pero la radiografía ofrece una visión global rápida. En reproducción, también se utiliza al final de la gestación para contar fetos cuando los esqueletos están mineralizados y valorar posibles problemas relacionados con el parto.

En el sistema musculoesquelético, la radiografía es probablemente la modalidad inicial más importante. Permite diagnosticar fracturas, luxaciones, displasias, deformidades, artrosis, lesiones óseas proliferativas o líticas y alteraciones del crecimiento. Es

Por eso suelen ser necesarias al menos dos proyecciones ortogonales. Además, la capacidad para diferenciar tejidos blandos es limitada, especialmente en abdomen. La radiografía tampoco proporciona información funcional directa y utiliza radiación ionizante, aunque las dosis suelen ser bajas si el procedimiento está bien justificado y optimizado.

A pesar de estas limitaciones, la radiografía mantiene un valor extraordinario. Es rápida, robusta y versátil. En un contexto de medicina veterinaria real, donde el tiempo, el coste, el acceso y el bienestar del animal son factores decisivos, sigue siendo una técnica de primera línea y una puerta de entrada a exploraciones más avanzadas.

Ecografía: imagen en tiempo real y herramienta versátil

La ecografía es, junto con la radiografía, una de las técnicas más extendidas en veterinaria^[3,4].

“El futuro de la imagen veterinaria dependerá de mejorar el acceso, formar especialistas, estandarizar protocolos, validar biomarcadores y utilizar con prudencia herramientas como la inteligencia artificial.”

indispensable para controlar la consolidación de fracturas, comprobar implantes ortopédicos y documentar la evolución tras cirugía.

Las limitaciones son bien conocidas. La principal es la superposición: una radiografía comprime en una sola imagen todas las estructuras atravesadas por el haz.

Su principal fortaleza es la posibilidad de obtener imágenes en tiempo real sin utilizar radiación ionizante. Esto la convierte en una herramienta segura, repetible y muy útil en sujetos jóvenes, gestantes, críticos o sometidos a seguimientos frecuentes. Además, los equipos pueden ser portátiles, lo que permite su uso en consulta, quirófano, urgencias, campo,

explotaciones ganaderas o laboratorios de investigación.

Su fundamento se basa en ultrasonidos: cuando las ondas sonoras de alta frecuencia emitidas por un transductor atraviesan los tejidos, se reflejan parcialmente en las interfaces entre estructuras con diferente impedancia acústica. Los ecos que regresan al transductor se transforman en señales eléctricas y después en imágenes. Las estructuras líquidas, como vejiga o quistes simples, suelen verse negras (o “anecoicas”); los tejidos blandos aparecen en escala de grises; y el gas o el hueso generan reflexiones intensas y sombras acústicas que dificultan la visualización de estructuras que hay detrás de ellos.

La frecuencia del transductor es un elemento clave. Las altas frecuencias ofrecen mejor resolución espacial, pero penetran menos; las frecuencias bajas penetran más profundamente, pero con menor detalle. Por ello, en animales pequeños o estructuras superficiales se emplean transductores de mayor frecuencia, mientras que en animales grandes o exploraciones abdominales profundas se usan frecuencias menores. En investigación con pequeños animales, existen sistemas de biomicroscopía por ultrasonidos que alcanzan resoluciones muy elevadas, útiles para estudiar embriones, vasos pequeños, tumores o corazón de roedores.

El modo B, o bidimensional, es la base de la ecografía clínica. Permite valorar morfología de órganos, presencia de líquido, masas, cambios de ecogenicidad, grosor de paredes y relaciones anatómicas. El Doppler añade información sobre flujo sanguíneo. El Doppler color muestra dirección y presencia de flujo, mientras que el Doppler espectral permite medir velocidades y patrones hemodi-



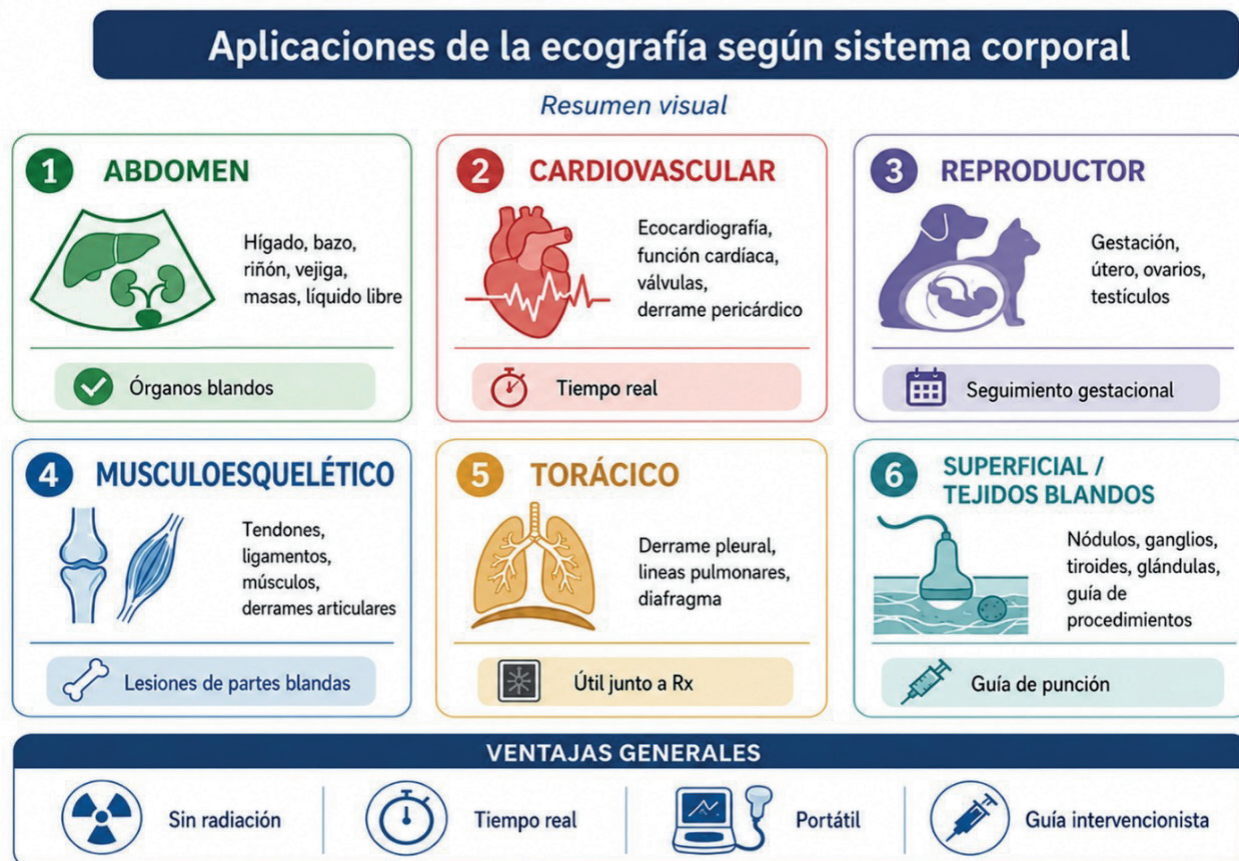


Figura 4. Aplicaciones y ventajas de la imagen de ultrasonidos.

námicos. Estas herramientas son imprescindibles en cardiología, estudios vasculares, hipertensión pulmonar, *shunts*, masas vascularizadas y seguimiento de procesos inflamatorios o tumorales.

La ecografía de contraste ha ampliado sus posibilidades utilizando microburbujas u otros agentes que permanecen principalmente en el espacio vascular y modifican la señal ecográfica. Esto permite estudiar perfusión, vascularización y patrones de realce en lesiones hepáticas, esplénicas, renales o tumorales. En investigación, las microburbujas pueden emplearse para analizar angiogénesis, respuesta a terapias antiangiogénicas o cambios microvasculares. También se han desarrollado contrastes dirigidos a dianas moleculares, aunque su

uso sigue siendo más experimental que clínico.

Otra técnica complementaria es la elastografía, que estima la rigidez de los tejidos. Un tejido más rígido puede sugerir fibrosis, inflamación crónica, lesión tendinosa o determinadas masas, aunque la interpretación depende del órgano, la especie y el contexto. En medicina musculoesquelética, especialmente en caballos y pequeños animales, la ecografía permite valorar tendones, ligamentos, músculos y algunas articulaciones, detectar roturas fibrilares, hematomas, fibrosis o evolución de la cicatrización.

En abdomen, la ecografía es una técnica de primera elección. Permite examinar hígado, bazo, riñones, vejiga, tracto gastroin-

testinal, páncreas, adrenales y cavidad peritoneal. Ayuda a detectar masas, inflamación, líquido libre, obstrucciones, alteraciones urinarias y cambios compatibles con enfermedades sistémicas. En reproducción, permite confirmar gestación, valorar viabilidad fetal, estudiar útero y ovarios, diagnosticar piometra, quistes o muerte embrionaria, y monitorizar ciclos reproductivos. En grandes animales, es indispensable para el manejo reproductivo bovino y equino.

La ecocardiografía permite evaluar cámaras cardíacas, grosor de paredes, función contráctil, válvulas y flujos intracardíacos, y es gran utilidad en enfermedad valvular mitral, cardiomiopatías, malformaciones congénitas, derrame pericárdico o hipertensión pulmonar. Ninguna otra técnica

ofrece con tanta accesibilidad una evaluación dinámica del corazón en tiempo real.

La ecografía también guía procedimientos. Biopsias, punciones, drenajes, cistocentesis, aspirados de masas o colocación de catéteres pueden realizarse con mayor precisión y seguridad al visualizar la aguja y las estructuras vecinas. En urgencias, protocolos ecográficos rápidos permiten detectar líquido libre, derrame pericárdico, alteraciones pulmonares o distensión vesical en pocos minutos.

Sus limitaciones principales son la experiencia del operador y la dificultad para atravesar gas o hueso. La obesidad, el movimiento, el dolor, la conformación del animal o una mala ventana acústica reducen la calidad. Aun así, por su seguridad, coste, portabilidad y capacidad di-

námica, la ecografía es una de las modalidades más valiosas tanto en clínica veterinaria como en investigación longitudinal.

Tomografía computarizada (TC): precisión anatómica y estudio tridimensional

La tomografía computarizada, o TC, representa un salto importante respecto a la radiografía convencional. Ambas utilizan rayos X, pero la TC adquiere múltiples proyecciones alrededor del paciente y, mediante algoritmos de reconstrucción, genera cortes transversales del cuerpo. A partir de estos cortes se obtienen imágenes en planos axial, sagital y coronal, así

como reconstrucciones tridimensionales. La gran ventaja es la eliminación de la superposición de estructuras, una de las principales limitaciones de la radiografía.

Durante el estudio, el tubo de rayos X y los detectores giran alrededor del animal. El sistema registra cómo se atenúa la radiación al atravesar los tejidos y convierte esa información en valores de densidad. En clínica se utilizan unidades Hounsfield, que permiten diferenciar aire, grasa, tejidos blandos, agua, hueso o material metálico. Esta capacidad cuantitativa facilita comparaciones, mediciones y seguimiento de lesiones. En equipos modernos, la adquisición es muy rápida, lo que reduce el tiempo de anestesia y resulta especialmente útil en urgencias.

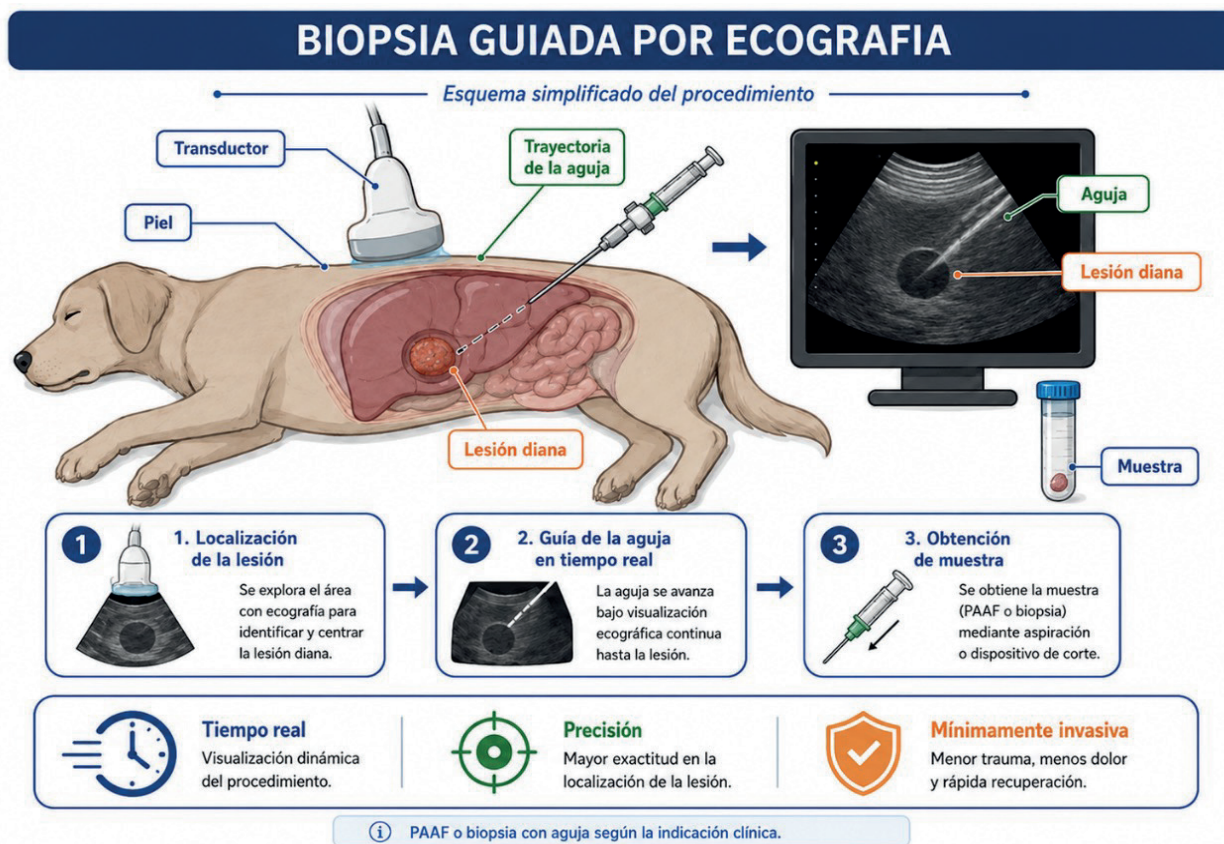


Figura 5. Utilidad de los ultrasonidos para intervenciones.

En investigación con pequeños animales se utilizan sistemas micro-CT, capaces de alcanzar resoluciones del orden de decenas de micras. Generalmente emplean geometría de haz cónico, con una fuente de foco pequeño y detectores de área que capturan un volumen completo en cada rotación. Esta tecnología permite estudiar hueso trabecular, cráneo, dientes, pulmones, implantes, biomateriales y modelos de enfermedad con gran detalle. Aunque la TC no es una técnica molecular en sentido estricto, puede combinarse con otras modalidades funcionales para proporcionar referencia anatómica precisa.

Una de sus aplicaciones veterinarias más frecuentes es el estudio del cráneo, cavidad nasal, senos paranasales, bullas timpánicas, órbitas, mandíbula y dientes. Estas regiones tienen una anatomía compleja y la radiografía puede resultar insuficiente. La TC permite valorar masas nasales, procesos inflamatorios crónicos, traumatismos craneofaciales, enfermedad dental avanzada, otitis media, alteraciones maxilofaciales y malformaciones. En oncología, es especialmente útil para delimitar tumores, valorar invasión ósea y planificar cirugía o radioterapia.

En tórax, la TC ofrece una sensibilidad superior a la radiografía para detectar nódulos pulmonares pequeños, metástasis, consolidaciones, atelectasias, enfermedad bronquial o lesiones mediastínicas. Esto la convierte en una herramienta clave para la estadificación tumoral y seguimiento terapéutico. En abdomen, el uso de contraste intravenoso permite caracterizar masas, estudiar vasos, detectar realce tumoral, necrosis, inflamación o alteraciones urinarias. En muchos casos, la TC complementa a la ecografía cuando la anatomía es compleja o se necesita una planificación quirúrgica precisa.

El sistema musculoesquelético es otra de sus grandes áreas de aplicación. La TC permite detectar fracturas complejas, lesiones articulares, luxaciones, deformidades, enfermedad vertebral, lesiones líticas o proliferativas y alteraciones óseas sutiles. Las reconstrucciones 3D son particularmente útiles en cirugía ortopédica, maxilofacial, torácica o reconstructiva, porque facilitan comprender la anatomía, planificar abordajes, diseñar guías quirúrgicas o incluso producir modelos mediante impresión 3D.

La angio-TC amplía el campo de aplicación al sistema vascular. Mediante contraste intravenoso se puede estudiar anatomía arterial y venosa, anomalías congénitas, trombos, *shunts* portosistémicos, vascularización tumoral o relación de una masa con grandes vasos. Los estudios dinámicos, aunque más exigentes, aportan información sobre perfusión y realce temporal de tejidos.

Sus ventajas son claras: alta resolución anatómica, rapidez, ausencia de superposición, reconstrucción multiplanar, posibilidad de cuantificación y excelente visualización ósea y pulmonar. Sus limitaciones también deben considerarse. Utiliza radiación ionizante en dosis superiores a la radiografía; requiere sedación o anestesia para evitar movimiento; el coste es mayor; y el contraste de tejidos blandos, aunque útil, suele ser inferior al de la RM. Además, los medios de contraste pueden estar contraindicados o requerir precaución en pacientes con determinadas alteraciones renales o hemodinámicas.

En investigación, la TC permite medir volúmenes tumorales, densidad ósea, consolidación de fracturas, integración de implantes, cambios pulmonares o evolución de lesiones de forma repetida.

Su precisión, rapidez y capacidad cuantitativa la convierten en una herramienta fundamental para estudios preclínicos y traslacionales.

Resonancia magnética (RM): excelencia en tejidos blandos y sistema nervioso

La resonancia magnética es una técnica avanzada especialmente valiosa por su excelente contraste de tejidos blandos y por no utilizar radiación ionizante^[5]. Es una modalidad central en neurología, musculoesquelético, oncología y estudios preclínicos. A diferencia de la TC, que se basa en la atenuación de rayos X, la RM utiliza un campo magnético intenso, gradientes de campo magnético y pulsos de radiofrecuencia para generar señales procedentes principalmente de los protones del agua y la grasa de los tejidos.

De forma simplificada, los protones del organismo se alinean parcialmente con el campo magnético principal. Cuando se aplica un pulso de radiofrecuencia, estos protones absorben energía y modifican su estado, se “excitan”. Al volver al equilibrio, disipan el exceso de energía, se “relajan”, en forma de señales de radiofrecuencia que son captadas por antenas o bobinas. Esa señal de relajación es diferente dependiendo del tejido de donde procedan, determinando así el contraste de la imagen. Este proceso de “excitación-relajación” de los protones se puede hacer de diferentes maneras denominadas “secuencias”, y por ello, la RM no produce una única imagen, sino múltiples tipos de imagen según el protocolo utilizado.

Las secuencias T1 muestran muy bien la anatomía y la grasa, y son

Comparación de imagen torácica en veterinaria

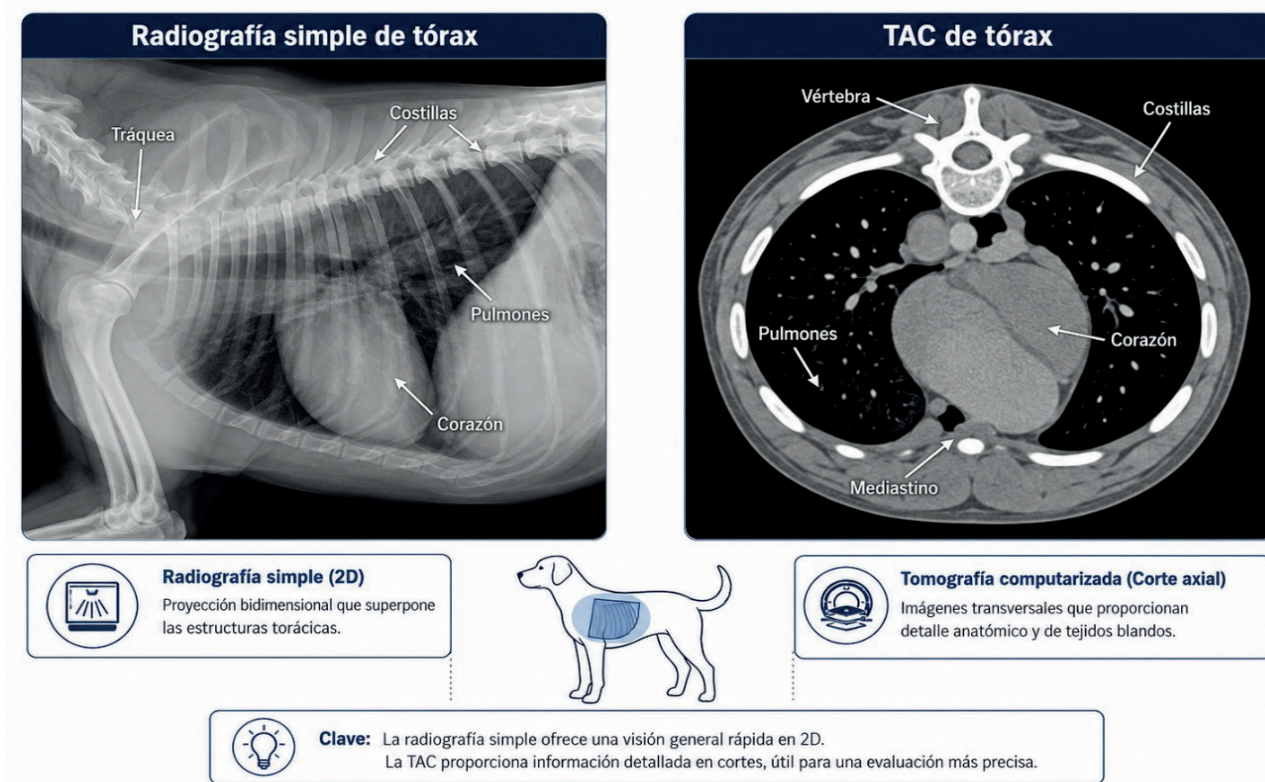


Figura 6. En la imagen radiológica todas las estructuras se solapan en una imagen 2D, y que la tomografía es una imagen 3D y el sujeto puede analizarse rodaja a rodaja.

útiles antes y después de administrar contraste. Las secuencias T2 resaltan líquidos y facilitan identificar edema, inflamación, quistes o lesiones con alto contenido acuoso. La secuencia STIR suprime la señal de la grasa y ayuda a detectar edema en hueso, músculo y tejidos blandos. FLAIR atenúa la señal del líquido cefalorraquídeo y es especialmente útil en encéfalo y médula para revelar lesiones que podrían quedar enmascaradas por el líquido. La difusión, por su parte, estudia el movimiento microscópico del agua y puede aportar información sobre la celularidad, isquemia o determinados procesos inflamatorios.

La RM permite además aplicaciones funcionales y cuantitativas. La espectroscopia puede estu-

diar metabolitos en tejidos; la perfusión valora aporte sanguíneo; la RM dinámica con contraste analiza realce y permeabilidad; y en investigación se emplean técnicas para estudiar conectividad, función cerebral o cambios microestructurales. Estas posibilidades hacen de la RM una plataforma muy flexible, capaz de integrar información anatómica, funcional y en algunos casos molecular en una misma exploración.

En neurología veterinaria, la RM es la técnica de referencia para estudiar encéfalo y médula espinal. Permite diagnosticar tumores, inflamación, malformaciones, lesiones vasculares, hernias discales, siringomielia, meningoencefalitis, edema, hemorragias o enfermedades degenerativas.

Su capacidad para diferenciar sustancia blanca, sustancia gris, líquido cefalorraquídeo y tejidos circundantes supera claramente a la radiografía y a menudo a la TC, especialmente cuando el problema se localiza en tejidos blandos.

En el sistema musculoesquelético, la RM permite valorar cartílagos, ligamentos, tendones, médula ósea, músculo y partes blandas. Es útil en lesiones deportivas, cojera compleja, patología articular, masas, traumatismos y planificación quirúrgica. En oncología, ayuda a delimitar la extensión local de tumores, valorar invasión de estructuras vecinas, diferenciar edema de tejido tumoral y planificar cirugía, radioterapia o seguimiento. En regiones como cabeza, cuello, columna, pelvis



Comparación visual entre TC y RM en perro

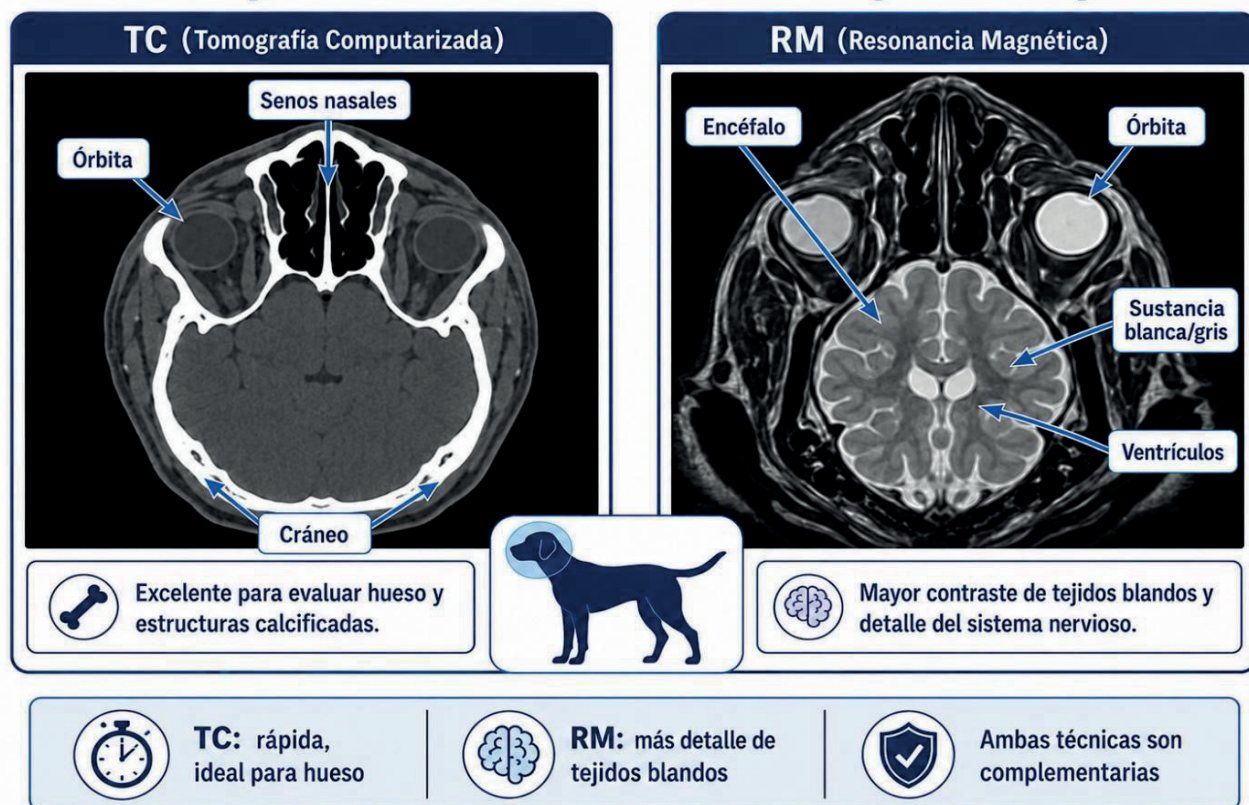


Figura 7. Diferencias del contraste de los tejidos entre la técnica CT y la RM.

o tejidos blandos profundos, su aporte puede ser decisivo.

En investigación preclínica, la RM se utiliza para estudiar modelos de enfermedad neurológica, tumoral, cardiovascular, muscular o inflamatoria. En animales pequeños pueden emplearse equipos de alto campo y bobinas específicas que proporcionan gran detalle anatómico. La posibilidad de repetir exploraciones sin radiación la hace muy adecuada para estudios longitudinales, especialmente cuando se necesita observar progresión de enfermedad, respuesta a terapia o cambios funcionales en el mismo animal.

La RM también tiene limitaciones importantes. Sus exploraciones son más largas que las de TC, por lo que generalmente requie-

ren anestesia general o inmovilización estricta. Es más costosa y menos disponible. Además, la calidad de la imagen depende de una relación compleja entre resolución espacial, tiempo de adquisición y relación señal-ruido: mejorar un parámetro suele exigir sacrificar otro. También existen contraindicaciones o precauciones con implantes metálicos, dispositivos electrónicos, material ferromagnético y monitorización anestésica compatible con RM.

A pesar de estos retos, la RM es insustituible cuando se necesita caracterizar tejidos blandos con detalle. Su ausencia de radiación, su versatilidad de contraste y sus aplicaciones funcionales la convierten en una herramienta de enorme valor clínico y científico.

Medicina nuclear e imagen molecular: funcionalidad, metabolismo y precisión biológica

La medicina nuclear aporta una dimensión distinta al diagnóstico por imagen. Mientras que la radiografía, la TC o la RM muestran principalmente anatomía, las técnicas de imagen molecular (que así también se designan) permiten estudiar procesos fisiológicos, metabólicos y moleculares en funcionamiento^[6]. Esta capacidad es especialmente importante porque muchas enfermedades producen alteraciones funcionales antes de que aparezcan cambios anatómicos evidentes.

El principio común es la administración de un radiotrazador, que es una molécula marcada con un isótopo radiactivo que se distribuye en el organismo según un proceso biológico concreto. La molécula en sí misma participa en una función específica como puede ser metabolismo de glucosa, actividad ósea, función tiroidea, perfusión en tejidos, inflamación, infección o expresión de receptores. El isótopo integrado en esa molécula emite una radiación que se detecta desde el exterior identificando su localización. Esas señales se procesan y se reconstruyen generando una imagen 3D que refleja la distribución de esa función y la variación con el tiempo representando la biología del tejido y no su forma.

La gammagrafía planar, la SPECT y la PET son las modalidades nucleares principales. En gammagrafía, una cámara detecta fotones gamma emitidos por el radiotrazador y produce imágenes bidimensionales. Es una técnica

relativamente sencilla dentro de la medicina nuclear y ha tenido gran utilidad en estudios óseos, tiroideos y de perfusión. En veterinaria, la gammagrafía ósea ha sido especialmente relevante en caballos, donde puede detectar remodelado óseo o lesiones de estrés antes de que sean visibles en radiografía.

La SPECT, o tomografía computarizada por emisión de fotón único, puede entenderse como una evolución tomográfica de la gammagrafía. La cámara gira alrededor del paciente y adquiere múltiples proyecciones que se reconstruyen en tres dimensiones. Para saber de dónde viene cada fotón, se utilizan colimadores físicos que dejan pasar solo la radiación que llega desde ciertas direcciones. Estos colimadores permiten formar la imagen, pero reducen la sensibilidad porque bloquean una parte importante de los fotones. La combinación SPECT/TC mejora mucho la localización anatómica precisa.

La PET, o tomografía por emisión de positrones, utiliza radionúclidos que emiten positrones. Tras recorrer una corta distancia, el positrón se aniquila con un electrón y se generan dos fotones gamma emitidos en direcciones casi opuestas. El equipo detecta ambos fotones en coincidencia y define una línea de respuesta sin necesidad de colimadores físicos. Esta colimación electrónica proporciona mayor sensibilidad que SPECT y facilita una cuantificación más precisa. Por ello, la PET es una de las herramientas más potentes para estudiar metabolismo, receptores, proliferación o respuesta terapéutica.

Los radiotrazadores condicionan mucho la logística. En SPECT se utilizan isótopos como tecnecio-99m, yodo-123 u otros emisores gamma, a menudo con vidas medias compatibles con distribución regional. En PET se emplean isótopos como carbono-11, nitrógeno-13, oxígeno-15 o flúor-18.

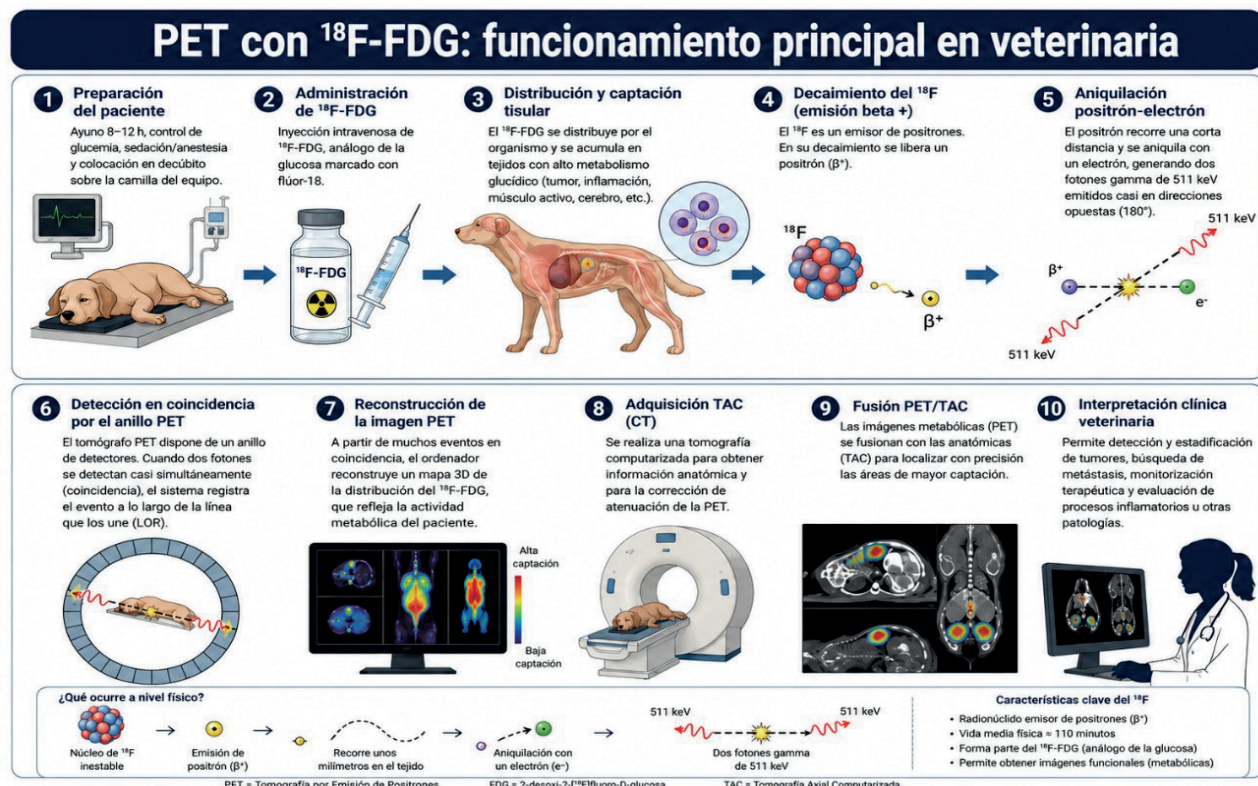


Figura 8. Proceso para la realización de una imagen PET/CT.

Algunos tienen vidas medias muy cortas y requieren ciclotrón cercano y una radiofarmacia especializada para poder realizar la síntesis del trazador in situ. En veterinaria clínica, estas técnicas tienen aplicaciones en oncología, endocrinología, neurología, cardiología, inflamación e infección. Pueden ayudar a detectar tumores, estadificar enfermedad, identificar metástasis, valorar la respuesta al tratamiento o localizar focos funcionales difíciles de ver con imagen anatómica.

Sus limitaciones son relevantes: coste elevado, necesidad de instalaciones autorizadas, radioprotección, gestión de residuos, personal especializado y disponibilidad de radiofármacos. En animales grandes, la geometría de los equipos PET puede ser restrictiva, mientras que gammacámaras o sistemas SPECT más abiertos pueden adaptarse mejor a ciertas indicaciones. Aun así, el valor diferencial de estas técnicas es claro: permiten observar la biología del paciente vivo y anticipar información que la anatomía por sí sola no siempre puede ofrecer.

La multimodalidad (combinación de una técnica de imagen anatómica y otra funcional) ha sido decisiva para que estas técnicas sean más interpretables. Una captación elevada en PET o SPECT puede indicar un foco biológico activo, pero sin una referencia anatómica precisa puede ser difícil saber si corresponde a ganglio, músculo, hueso, tumor o inflamación. La fusión con TC o RM resuelve en gran parte este problema. Además, la TC aporta mapas de atenuación y la RM permite añadir información de tejidos blandos sin radiación adicional. Por ello, los sistemas híbridos son una forma de aumentar la precisión diagnóstica y la confianza en la interpretación.

Desde el punto de vista tecnológico, la diferencia entre SPECT y PET también influye en la forma de diseñar equipos para animales. En SPECT, el colimador determina gran parte del equilibrio entre sensibilidad y resolución: orificios más estrechos mejoran la localización, pero dejan pasar menos fotones; orificios más amplios mejoran la calidad de la imagen, pero reducen detalle. En PET, la resolución depende de factores como el tamaño de los cristales, la distancia recorrida por el positrón antes de aniquilarse, la no colinealidad exacta de los fotones, las interferencias de la dispersión y los eventos aleatorios, y el algoritmo de reconstrucción. Estos detalles explican por qué los equipos para pequeños animales pueden alcanzar resoluciones superiores a las clínicas, pero también por qué suelen estar diseñados para campos de visión reducidos.

Otras modalidades emergentes y complementarias

Además de las modalidades consolidadas, existen técnicas emergentes o complementarias que están ampliando el campo de la imagen veterinaria y preclínica. Muchas tienen todavía una aplicación principalmente experimental, pero algunas empiezan a incorporarse a procedimientos clínicos especializados. Su interés reside en aportar información adicional sobre procesos superficiales, celulares, vasculares o metabólicos, o en guiar intervenciones de forma menos invasiva.

La imagen óptica preclínica incluye fluorescencia y bioluminiscencia. La fluorescencia se basa en sondas capaces de emitir luz tras ser excitadas por una fuente externa^[7]. Puede emplearse para estudiar vascularización tumoral,

inflamación, distribución de fármacos o expresión de marcadores. La bioluminiscencia utiliza luz generada por células o microorganismos modificados que expresan enzimas emisoras de fotones, y es muy útil en modelos de infección, oncología o terapia génica. Ambas técnicas permiten seguimientos longitudinales en animales pequeños, con alta sensibilidad y bajo coste relativo.

Su principal limitación es la penetración de la luz en los tejidos. En animales grandes o lesiones profundas, la señal se atenúa mucho según penetra en el tejido, y la localización espacial es menos precisa que en TC, RM o PET. Por ello, la imagen óptica es especialmente potente en modelos de roedores y otros animales pequeños. En veterinaria clínica, una aplicación en expansión es la cirugía guiada por fluorescencia, con indocianina verde, por ejemplo, para valorar perfusión, delimitar tejidos o mapear ganglios linfáticos centinela en oncología.

La endoscopia avanzada ha evolucionado desde una herramienta visual hacia una plataforma diagnóstica y terapéutica mínimamente invasiva. Las cámaras de alta definición, la endoscopia rígida y flexible, la artroscopia, la laparoscopia y la toracoscopia permiten explorar cavidades, tomar biopsias, extraer cuerpos extraños o realizar tratamientos localizados con menor agresión que la cirugía abierta. Cuando se combina con fluoroscopia, ecografía endoscópica, TC o navegación, puede aumentar la precisión de procedimientos complejos.

La tomografía de coherencia óptica, conocida como OCT, utiliza luz para obtener imágenes de muy alta resolución de estructuras superficiales. Tiene especial interés en oftalmología, dermato-

logía y mucosas, donde permite estudiar capas finas con detalle casi microscópico. La fotoacústica combina luz y ultrasonidos: un pulso luminoso produce una expansión térmica mínima en el tejido, generando ondas acústicas que se detectan con transductores. Esta técnica puede aportar información sobre oxigenación, hemoglobina y vascularización, por lo que resulta prometedora en oncología, inflamación y estudios vasculares.

La termografía registra patrones de temperatura superficial. No es una técnica anatómica específica, pero puede detectar cambios asociados a inflamación, alteraciones vasculares, lesiones musculoesqueléticas o asimetrías térmicas. En caballos, por ejemplo, se ha utilizado como herramienta complementaria en cojeras o lesiones deportivas. Su interpretación exige cautela, porque la temperatura depende del ambiente, el pelaje, la humedad, el ejercicio, la manipulación y otros factores externos.

Estas modalidades no sustituyen a las técnicas principales, sino que amplían el repertorio disponible. Su incorporación dependerá de la validación clínica, la estandarización de protocolos, la facilidad de uso y la demostración de que aportan información relevante para la toma de decisiones. En investigación, ya desempeñan un papel importante en el desarrollo de fármacos, terapias dirigidas, biomateriales y modelos de enfermedad.

Aplicación en investigación veterinaria y traslacional

En investigación veterinaria y biomédica, la imagen permite estudiar enfermedades y terapias de forma no invasiva, repetible y cuantificable. Su papel es

especialmente importante en la medicina traslacional, que busca conectar los hallazgos de laboratorio con aplicaciones clínicas en animales y humanos. Las técnicas de imagen permiten observar procesos dentro de un organismo vivo, en condiciones fisiológicas más cercanas a la realidad que muchos ensayos in vitro.

Una de sus principales ventajas es la posibilidad de realizar estudios longitudinales. En lugar de sacrificar grupos de animales en distintos tiempos para analizar cambios, se puede estudiar al mismo individuo repetidamente. Esto permite seguir el crecimiento de un tumor, la consolidación de una fractura, la evolución de una lesión neurológica, la vascularización de un tejido o la respuesta a un fármaco. El propio animal actúa como su control, lo que reduce variabilidad y mejora la calidad estadística de los datos.

tos innecesarios. Una reciente iniciativa de la Agencia Europea del Medicamento (EMA) ha impulsado el uso de controles virtuales en la investigación preclínica. Estos controles virtuales consisten en modelos de datos que sustituyen a los grupos de animales de control y, mediante el análisis de macrodatos e inteligencia artificial, permiten comparar los resultados del grupo tratado directamente con los registros clínicos digitalizados de los controles, lo que reduce drásticamente el número de animales utilizados.

La imagen también actúa como biomarcador cuantitativo. No se trata solo de observar una lesión, sino de medirla. Volumen tumoral, densidad mineral ósea, grosor de pared, fracción de eyección, captación de radiotrazador, perfusión, difusión o rigidez tisular pueden convertirse en variables objetivas. Estas medidas permiten compa-

“ En investigación veterinaria y biomédica, la imagen permite estudiar enfermedades y terapias de forma no invasiva, repetible y cuantificable. Su papel es especialmente importante en la medicina traslacional, que busca conectar los hallazgos de laboratorio con aplicaciones clínicas en animales y humanos.”

Este enfoque tiene una dimensión ética relevante. Al obtener más información de cada animal, se puede reducir el número total necesario y refinar los procedimientos experimentales. La imagen contribuye así a los principios de las 3R: reemplazo, reducción y refinamiento. Aunque no elimina la necesidad de estudios histológicos o moleculares finales, sí permite diseñar experimentos más eficientes, detectar cambios tempranos y evitar procedimien-

rar grupos, evaluar tratamientos, definir criterios de respuesta y detectar cambios antes de que sean evidentes clínicamente.

En el desarrollo de fármacos, la imagen ayuda a estudiar biodistribución, eficacia, toxicidad y mecanismos de acción. En oncología experimental, por ejemplo, permite evaluar si una terapia reduce volumen tumoral, disminuye metabolismo, altera vascularización o induce necrosis.



En ingeniería de tejidos y biomateriales, facilita analizar integración de implantes, formación de hueso nuevo, degradación de materiales o respuesta inflamatoria. En neurología, permite estudiar progresión de enfermedades, neuroinflamación o efectos de terapias celulares.

Retos actuales: coste, acceso, estandarización e inteligencia artificial

El avance de la imagen veterinaria ha ampliado enormemente las posibilidades diagnósticas, pero también plantea retos. El primero es el coste y el acceso. Radiografía y ecografía están relativamente extendidas, pero TC, RM, PET o SPECT requieren inversiones elevadas, instalaciones adecuadas, mantenimiento, personal especializado y, en medicina nuclear, infraestructura de radioprotección. Esto genera diferencias entre centros de referencia, hospitales universitarios y clínicas pequeñas o rurales.

La disponibilidad condiciona la equidad diagnóstica. Dos animales con la misma enfermedad pueden recibir abordajes distintos según la localización geográfica, los recursos del centro o la capacidad económica del propietario. En investigación ocurre algo similar: no todos los grupos tienen acceso a plataformas de imagen avanzada. La colaboración entre centros, el uso compartido de equipamiento y las redes de investigación pueden ayudar a optimizar recursos.

La formación es otro reto importante. Obtener una imagen no equivale a interpretarla correctamente, es necesario conocer la técnica, ajustar parámetros, reconocer artefactos, entender limitaciones y correlacionar los hallazgos con la clínica. En vete-

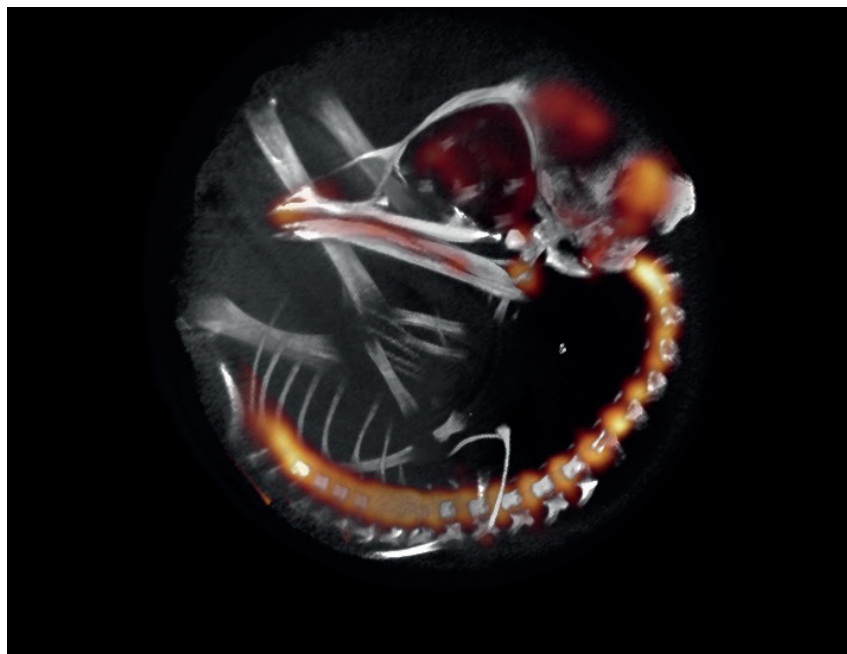


Figura 9. Imagen PET/CT de un embrión de *gallus gallus* en el huevo. En grises se visualiza el tejido óseo en formación, y en color la activación del sistema central y otras estructuras en la cabeza.

rinaria, la variabilidad anatómica entre especies añade complejidad. La formación continuada y la especialización en diagnóstico por imagen son esenciales para evitar errores y aprovechar todo el potencial de las modalidades disponibles.

La estandarización de protocolos también es necesaria. Diferencias en posicionamiento, sedación, parámetros de adquisición, uso de contraste o criterios de medición dificultan comparar resultados entre centros. En investigación, la falta de estandarización puede comprometer la reproducibilidad y validez de biomarcadores. Avanzar hacia protocolos adaptados a especie, tamaño y objetivo clínico o experimental mejoraría la calidad de los estudios y facilitaría bases de datos multicéntricas.

El bienestar animal debe ocupar un lugar central. Muchas técnicas avanzadas requieren sedación o anestesia, con riesgos y costes añadidos. La inmovilización, el estrés, el dolor y el tiempo de

procedimiento deben minimizarse. La decisión de realizar una prueba debe estar justificada por el beneficio esperado y adaptarse al estado del paciente. En investigación, la imagen debe integrarse en diseños que reduzcan daño y maximicen información útil.

La inteligencia artificial abre oportunidades muy interesantes puesto que puede ayudar en la segmentación automática de órganos y lesiones, reducción de ruido, reconstrucción de imágenes, detección de patrones, cuantificación de volúmenes y apoyo al diagnóstico. También puede acelerar el análisis de grandes bases de datos en investigación, pero su uso requiere validación rigurosa, datos representativos de distintas especies y supervisión profesional. La IA no debe sustituir el criterio veterinario, sino actuar como una herramienta de apoyo que mejore eficiencia, reproducibilidad y acceso.

Otro desafío emergente es la gestión de datos. Las técnicas

actuales generan volúmenes de información cada vez mayores: estudios de TC con cientos de cortes, secuencias de RM multiparamétricas, vídeos ecográficos, estudios dinámicos con contraste o imágenes híbridas PET/TC y PET/RM. Almacenar, organizar, anonimizar, compartir y analizar estos datos requiere infraestructuras digitales adecuadas. En investigación, además, es imprescindible conservar metadatos sobre especie, peso, anestesia, parámetros de adquisición, dosis de contraste o radiotrazador y tiempos de adquisición para que los resultados puedan reproducirse.

Finalmente, el desarrollo tecnológico debe ir acompañado de validación. No basta con trasladar protocolos de medicina humana a animales. Las diferencias de tamaño, fisiología, frecuencia cardíaca, respiración, metabolismo y anatomía obligan a adaptar parámetros. Un biomarcador validado en humanos puede no comportarse igual en un perro, un gato, un caballo o un ratón. Por ello, el futuro de la imagen veterinaria requerirá estudios específicos por especie, bases de datos bien anotadas y colaboración entre clínicos, físicos, ingenieros, radiólo-

gos, especialistas en anestesia e investigadores básicos.

Conclusiones

La imagen médica veterinaria es hoy una herramienta indispensable para comprender, diagnosticar y tratar enfermedades en animales, así como para avanzar en la investigación biomédica. Su desarrollo ha transformado la práctica clínica: permite mirar más allá de la exploración externa, confirmar sospechas, descubrir lesiones ocultas, planificar procedimientos y seguir la evolución de un paciente con criterios objetivos. También ha cambiado la investigación, al permitir estudiar procesos vivos de forma longitudinal y de una forma menos invasiva.

Ninguna modalidad es universalmente superior. La clave está en elegir la técnica en función de la pregunta clínica o científica. Una fractura simple no requiere la misma aproximación que un tumor infiltrativo, una enfermedad neurológica, una alteración cardíaca o un estudio de respuesta a una terapia experimental. En muchos casos, la mejor estrategia es combinar información anatómica, funcional y molecular. Esta integración permite comprender mejor la enfermedad, seleccionar trata-

mientos y evaluar la respuesta de forma más precisa.

En veterinaria, la imagen tiene además un valor particular por la diversidad de especies y contextos. Debe adaptarse al tamaño, anatomía, comportamiento y situación clínica de cada animal. En investigación, su contribución ética y científica es notable: reduce variabilidad, permite diseños longitudinales, mejora la cuantificación y favorece el uso responsable de animales. En medicina comparada, las enfermedades espontáneas de animales de compañía ofrecen modelos valiosos para comprender patologías humanas y desarrollar terapias más efectivas.

El futuro de la imagen veterinaria dependerá de mejorar el acceso, formar especialistas, estandarizar protocolos, validar biomarcadores y utilizar con prudencia herramientas como la inteligencia artificial. La tecnología seguirá avanzando, pero su verdadero valor residirá en aplicarla con criterio, precisión y sensibilidad hacia el bienestar animal. Bien utilizada, la imagen médica no sólo mejora el diagnóstico: ayuda a comprender la enfermedad, personalizar los tratamientos y conectar la veterinaria clínica con la investigación traslacional.

Bibliografía

1. Application of Advanced Imaging Modalities in Veterinary Medicine: A Review doi: 10.2147/VMRR.S367040 (https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9166686/?utm_source=).
2. In Vivo Imaging in Pharmaceutical Development and Its Impact on the 3Rs DOI: 10.1093/ilar/ilw019 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28053073/>
3. Imaging techniques in Veterinary Medicine. Part I: Radiography and Ultrasonography. DOI:10.1016/j.ejro.2021.100382 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352047721000629?utm_source=)
4. Imaging techniques in veterinary medicine. Part II: Computed tomography, magnetic resonance imaging, nuclear medicine. DOI: 10.1016/j.ejro.2022.100467 (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36570419/>)
5. The development of brain magnetic resonance approaches in large animal models for preclinical research doi: 10.1093/af/vfz024 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6951960/>
6. Veterinary Nuclear Medicine. Scintigraphical Methods - review DOI:10.2754/avb199968040231 <https://actavet.vfu.cz/68/4/0231/>
7. In vivo fluorescence imaging: success in preclinical imaging paves the way for clinical applications DOI:10.1186/s12951-022-01648-7 https://link.springer.com/article/10.1186/s12951-022-01648-7?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article

Edición genética en porcino: una herramienta clave para enfermedades humanas y animales

JOAQUÍN GADEA, CELIA PIÑEIRO-SILVA, SERGIO NAVARRO-SERNA, M^a DOLORES BARCELÓ, ARMANDO QUINTERO, SARA CRESPO, RAFAEL MARTÍNEZ Y CARMEN MATÁS

Departamento de Fisiología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Murcia

Introducción

Imagina poder corregir un error en el ADN de un animal, como si se tratara de editar una letra mal escrita en un texto. Esto es exactamente lo que permite la edición genética, y los cerdos (*Sus scrofa*) se han convertido en protagonistas de esta revolución científica.

El cerdo es un modelo animal muy valioso en investigación biomédica debido a sus similitudes con los seres humanos, tanto en el plano genético como en el anatómico y fisiológico¹. Estas características hacen que muchos

La llegada de la tecnología CRISPR/Cas ha revolucionado el proceso de generación de animales genéticamente modificados. Esta herramienta permite la edición precisa, rápida y eficiente de genes, superando ampliamente los métodos tradicionales. Gracias a ella, los cerdos se han convertido en un recurso esencial para la investigación básica, el estudio de enfermedades humanas y el desarrollo de xenotrasplantes en el ámbito biomédico².

Sin embargo, la edición genética no se limita al laboratorio. También tiene aplicaciones en produc-

te porcina clásica o la influenza porcina³⁻⁵. Esto abre nuevas posibilidades para mejorar la salud animal, la eficiencia productiva y el bienestar de los cerdos en granjas y sistemas de producción.

En este contexto, la edición genética en cerdos representa una de las herramientas más prometedoras para conectar la investigación experimental con aplicaciones prácticas en medicina y producción animal.

En este artículo se revisan las bases metodológicas de la edición genética en porcino, así como sus principales aplicaciones y los retos futuros. Asimismo, se incluye la experiencia del grupo de investigación en Fisiología de la Reproducción de la Universidad de Murcia en este campo.

“Analogía fácil: editar el genoma es como corregir una letra mal escrita en un texto, donde un solo cambio puede alterar todo el significado de una palabra o frase.”

¿En qué consiste la edición genética?

La edición genética permite realizar cambios precisos en el ADN de los organismos, modificando, eliminando o añadiendo pares de bases en regiones concretas del genoma. Entre las distintas herra-

estudios realizados en cerdos **tengan una mayor capacidad de trasladarse a la práctica clínica**, además de complementar los modelos experimentales tradicionales basados en roedores.

ción animal, ya que permite crear animales más resistentes o menos susceptibles a enfermedades víricas de gran importancia, tales como el síndrome respiratorio reproductivo porcino (PRRS), la pes-

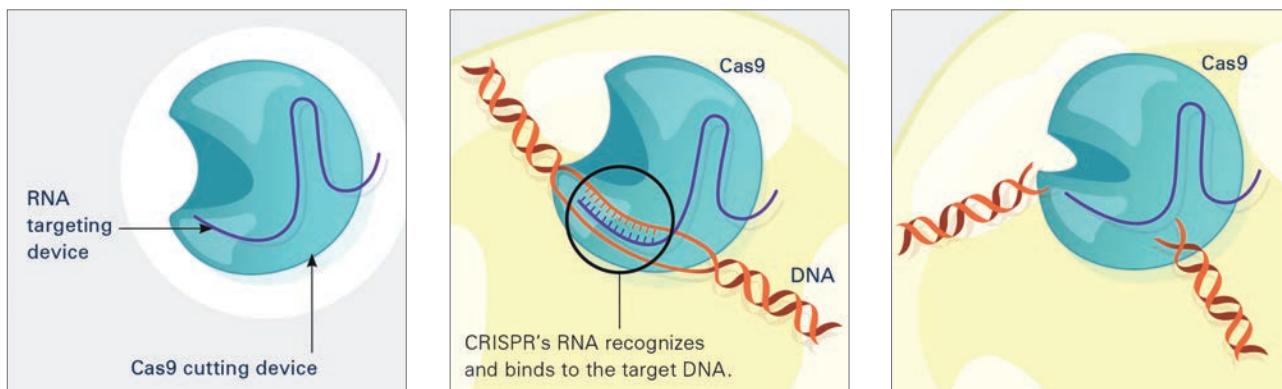


Figura 1. Representación esquemática del sistema CRISPR/Cas9. A. Se muestran los dos componentes del sistema CRISPR: una enzima llamada Cas9 capaz de cortar una doble cadena de ADN y una pequeña cadena de ARN programada para buscar una secuencia de ADN específica. B. El sistema CRISPR/Cas9 localiza la secuencia de ADN objetivo. C. La enzima Cas9 corta ambas cadenas del ADN. Fuente: National Institute of General Medical Sciences. <https://nigms.nih.gov/image-gallery/7036>

mientas disponibles, la tecnología CRISPR/Cas9 se ha convertido en la más utilizada debido a su precisión, rapidez y relativa facilidad de uso, lo que ha revolucionado la generación de animales genéticamente modificados.

El sistema CRISPR/Cas9 se basa en dos componentes fundamentales. Por un lado, una guía de ARN, una pequeña secuencia de unas veinte bases complementaria a la región del ADN que se desea modificar. Por otro, la enzima Cas9, una nucleasa que actúa como "tijeras moleculares" capaces de cortar ambas cadenas de ADN en el punto exacto indicado por la guía (Figura 1).

Una vez producido el corte, la célula activa sus propios mecanismos de reparación del ADN. El más frecuente es la unión de extremos no homólogos (NHEJ), un proceso que puede introducir pequeñas inserciones o deleciones en el sitio de corte (Figura 2). Estas modificaciones pueden alterar el marco de lectura del gen, provocando cambios en la proteína codificada o incluso su pérdida completa de función.

Conviene recordar que las proteínas están formadas por cadenas de aminoácidos codificadas

por tripletes de bases (codones). Cuando se altera el marco de lectura, cambia la secuencia de codones, lo que puede generar proteínas defectuosas o truncadas. Este mecanismo explica cómo

de los efectos derivados de su ausencia. Además, no implica la introducción de ADN de otras especies, por lo que estos animales no se consideran transgénicos.

“CRISPR/Cas9 es una herramienta que permite cortar y modificar el ADN con una precisión nunca antes alcanzada, como si se editara una palabra dentro de un texto.”

pequeñas modificaciones en el ADN pueden tener efectos biológicos significativos.

Tipos de modificaciones: knock-out y knock-in

Dependiendo del resultado buscado, la edición genética puede dar lugar a distintos tipos de modificaciones. Los animales knock-out (KO) se generan cuando se introduce una alteración que inactiva un gen, impidiendo la producción de una proteína funcional. Este tipo de modificación es especialmente útil para estudiar la función génica mediante la observación

Un ejemplo relevante es el de los cerdos resistentes al virus del PRRS. Este virus necesita unirse al receptor CD163 para infectar las células. Cuando este receptor se elimina o modifica mediante edición genética, el virus no puede entrar en la célula, lo que confiere resistencia al animal⁶.

Por su parte, los animales knock-in (KI) se generan cuando se introduce una secuencia específica de ADN en el genoma mediante un mecanismo de reparación más preciso, conocido como recombinación dirigida por homología (HDR, Figura 2). Esta estrategia permite corregir mutaciones, introducir cambios concretos o añadir nuevas funciones.



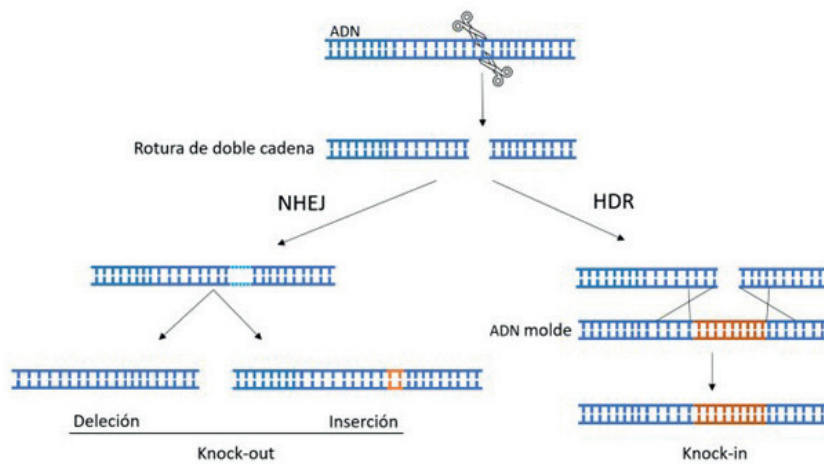


Figura 2. Esquema de la actuación del sistema CRISPR/Cas9 y la posibilidad de generación de knock-out y knock-in, mediante los sistemas de reparación celular de los cortes en el ADN mediante la unión de extremos no homólogos (NHEJ) y recombinación dirigida por homología (HDR).

Un animal knock-in solo se considera transgénico si el ADN introducido procede de otra especie. En caso contrario, se trata de una modificación dirigida dentro del propio genoma.

Un ejemplo de esta aproximación es la introducción del gen UCP1 de origen murino en cerdos, por lo tanto, un animal transgénico, que mejora la regulación de la temperatura corporal, reduce la acumulación de grasa y aumenta el porcentaje de magro de la canal ⁷.

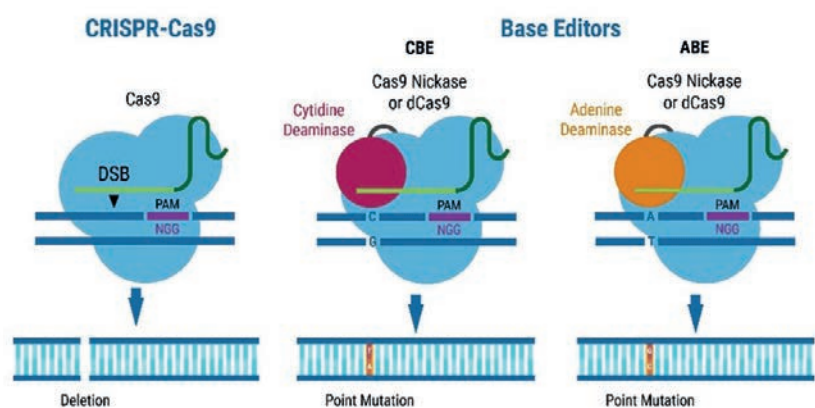
Nuevas herramientas: editores de bases

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías que permiten una edición aún más precisa. Entre ellas destacan los editores de pares de bases (Figura 3), que permiten modificar nucleótidos individuales sin necesidad de generar roturas en la doble hélice del ADN.

Estas herramientas reducen el riesgo de errores durante la reparación y son especialmente útiles para corregir mutaciones pun-

tuales. Su aplicación en modelos porcinos de enfermedades humanas y en futuras terapias génicas representa una de las líneas más prometedoras del campo.

Mediante la implementación de esta tecnología, hemos logrado la generación de embriones porcinos editados en el gen GJB2. Este modelo podría servir en el futuro para avanzar en el estudio y tratamiento de la sordera congénita humana asociada a la alteración de la proteína Conexina 26 ⁸.



Reproduced via license: Creative Commons Attribution 4.0 International

Figura 3. Sistema CRISPR /Cas9 y editores de bases. Fuente: www.labroots.com

¿Cómo se genera un cerdo editado genéticamente?

La generación de un cerdo editado genéticamente es un proceso dirigido que comienza con la obtención de un embrión en el que se han introducido modificaciones específicas en su ADN, ya sea mediante la eliminación, adición o cambio de secuencias concretas. Una vez editados, estos embriones son transferidos al aparato reproductor de una cerda receptora, con el objetivo de obtener una camada de lechones portadores de la modificación genética y que transmitirán a su descendencia, siguiendo las leyes de Mendel.

Existen dos estrategias principales para introducir dichos cambios en el genoma. La primera consiste en la edición directa de ovocitos o embriones en fases muy tempranas del desarrollo, generalmente en estadio de cigoto. El segundo método implica la edición de células somáticas en cultivo, seguida de la generación de embriones mediante técnicas de clonación por transferencia nuclear.

En la edición directa, los componentes del sistema CRISPR/Cas

deben introducirse en el interior del ovocito o del embrión temprano para que puedan alcanzar el núcleo y modificar el ADN. Para ello, se emplean distintas técnicas como la microinyección, la electroporación o la lipofección de ovocitos o cigotos.

La microinyección es un procedimiento que permite la introducción directa de los componentes del sistema CRISPR/Cas en el interior del ovocito antes de la fecundación o en el cigoto mediante sistemas de micromanipulación bajo microscopio (Figura 4). Si bien se trata de una técnica altamente precisa, es importante destacar que requiere de equipamiento especializado, así como de personal con alta capacitación y experiencia, ya que se considera un procedimiento laborioso.



Figura 4. Microinyección de un ovocito maduro porcino. Imagen: Grupo Fisiorep. Universidad de Murcia®

Como alternativa, la electroporación permite tratar grupos de ovocitos o embriones simultáneamente mediante pulsos eléctricos que generan poros transitorios en la membrana celular, facilitando la entrada del material de edición (Figura 5). Por su parte, la lipofección utiliza vesículas lipídicas (liposomas) para transportar los componentes de edición al interior de la célula. Estas metodologías resultan más rápidas y menos exigentes desde el punto de vista técnico, lo que supone una ventaja en términos de eficiencia y productividad.

Una limitación significativa de la edición directa es que no todos los embriones son modificados de manera uniforme, por lo que pueden generarse embriones con mosaicismos, entendido como la presencia de células genéticamente distintas dentro del mismo organismo.

Ciertamente, la principal ventaja de este enfoque estriba en que los embriones generados son genéticamente idénticos a la célula editada, lo que evita el mosaicismos y garantiza la uniformidad genética. No obstante, es pertinente mencionar que se trata de una técnica más compleja y con me-

“ El cerdo es el modelo animal más parecido al humano en tamaño, fisiología y genómica que los roedores.”

Nuestro grupo de investigación se ha centrado en la implementación y optimización de dichas técnicas de modificación directa de ovocitos y cigotos y su aplicación a diversos tipos y números de genes⁹⁻¹³.

La segunda estrategia implica la edición de células somáticas en cultivo, normalmente fibroblastos fetales, la selección de aquellas que presentan la modificación deseada y su utilización como donantes de núcleo en un proceso de clonación (transferencia nuclear de células somáticas, SCNT). En este caso, el núcleo de la célula editada se transfiere a un ovocito previamente enucleado, que posteriormente se activa para iniciar el desarrollo embrionario.

nor eficiencia en la producción de embriones viables, lo que limita su aplicación práctica.

Independientemente de la estrategia empleada para la obtención de animales modificados genéticamente, los embriones editados pueden ser cultivados *in vitro* hasta alcanzar el estadio idóneo para su transferencia a una cerda receptora. Para garantizar el éxito de la gestación, es imperativo sincronizar adecuadamente el estado del embrión con el ciclo reproductivo de la hembra receptora.

La transferencia embrionaria puede llevarse a cabo mediante técnicas quirúrgicas, ya sean laparotomías o laparoscopias, o bien de manera no quirúrgica



Figura 5. Detalle del proceso de electroporación de ovocitos porcinos. Imagen: Grupo Fisiorep. Universidad de Murcia®

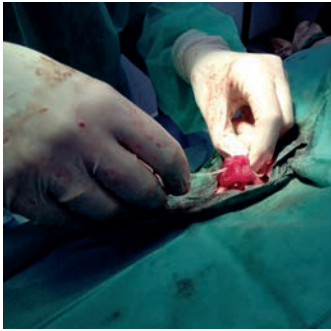


Figura 6. Transferencias embrionarias quirúrgicas y no quirúrgicas a cerdas receptoras. Imagen: Grupo Fisiorep. Universidad de Murcia®.

(Figura 6). Este paso es de suma importancia, ya que la viabilidad de los embriones puede verse comprometida por los procesos de manipulación y edición previos, así como por la correcta adaptación al entorno uterino que determinarán el establecimiento y mantenimiento de la gestación.

Aplicaciones de los cerdos editados genéticamente

Actualmente, los cerdos editados genéticamente tienen aplicaciones en tres grandes ámbitos: la investigación básica, la biomedicina y la producción animal (Figura 7). Su versatilidad, sumada a su notable similitud con el ser humano, los ha posicionado como una herramienta fundamental en diversas disciplinas científicas.

Investigación básica

En el ámbito de la investigación básica, la edición genética ha permitido profundizar en el conocimiento de los mecanismos que regulan la expresión génica y el desarrollo de los organismos.

Por ejemplo, se han desarrollado modelos porcinos para investigar el desarrollo embrionario y la formación de órganos durante las primeras etapas de la vida. La inactivación de genes espe-

cíficos ha facilitado una mejor comprensión de su función en la organogénesis, proporcionando información adicional que complementa los datos obtenidos en modelos tradicionales, como el ratón ¹⁴.

En este contexto, nuestro grupo ha contribuido generando modelos porcinos mediante la inactivación del gen TPC2 ⁹, implicado en

la regulación de la señalización intracelular del calcio. Este modelo permitirá avanzar en el conocimiento de procesos celulares fundamentales y complementar estudios realizados en otros sistemas experimentales.

Aplicaciones en biomedicina

El campo de la biomedicina es, sin duda, uno de los que más se ha beneficiado del desarrollo de la edición genética en cerdos. Sus aplicaciones principales incluyen el desarrollo de modelos de enfermedad humana, el avance en xenotrasplantes y la producción de productos biológicos.

Modelos de enfermedades humanas

Los cerdos editados genéticamente facilitan la reproducción de enfermedades humanas con gran precisión, lo que permite el estudio de su progresión y el desarrollo de nuevas terapias. A diferencia de los modelos murinos, presentan una mayor similitud anatómica y fisiológica con el ser humano, lo que mejora la traslación de los resultados a la práctica clínica.

En cardiología, estos modelos se emplean para el estudio de enfermedades como la cardiomiopatía o la aterosclerosis, permitiendo además la aplicación de técnicas diagnósticas similares a las utilizadas en pacientes humanos, tales como la resonancia magnética o el cateterismo.

En oncología, los modelos porcinos han demostrado una no-

“La edición genética acelera la investigación biomédica, permitiendo modelos fieles de enfermedades humanas.”

table utilidad para el estudio del desarrollo tumoral y la evaluación de nuevas terapias. Su mayor tamaño permite analizar la progresión de los tumores y probar intervenciones quirúrgicas y tratamientos de forma más realista que en modelos de pequeño tamaño.

En neurología, las similitudes estructurales y funcionales entre el sistema nervioso central de los humanos y los cerdos han facilitado el desarrollo de modelos de enfermedades como la distrofia muscular, el Parkinson y el Alzheimer. Esto ha permitido estudiar dichas patologías y buscar nuevas estrategias terapéuticas.

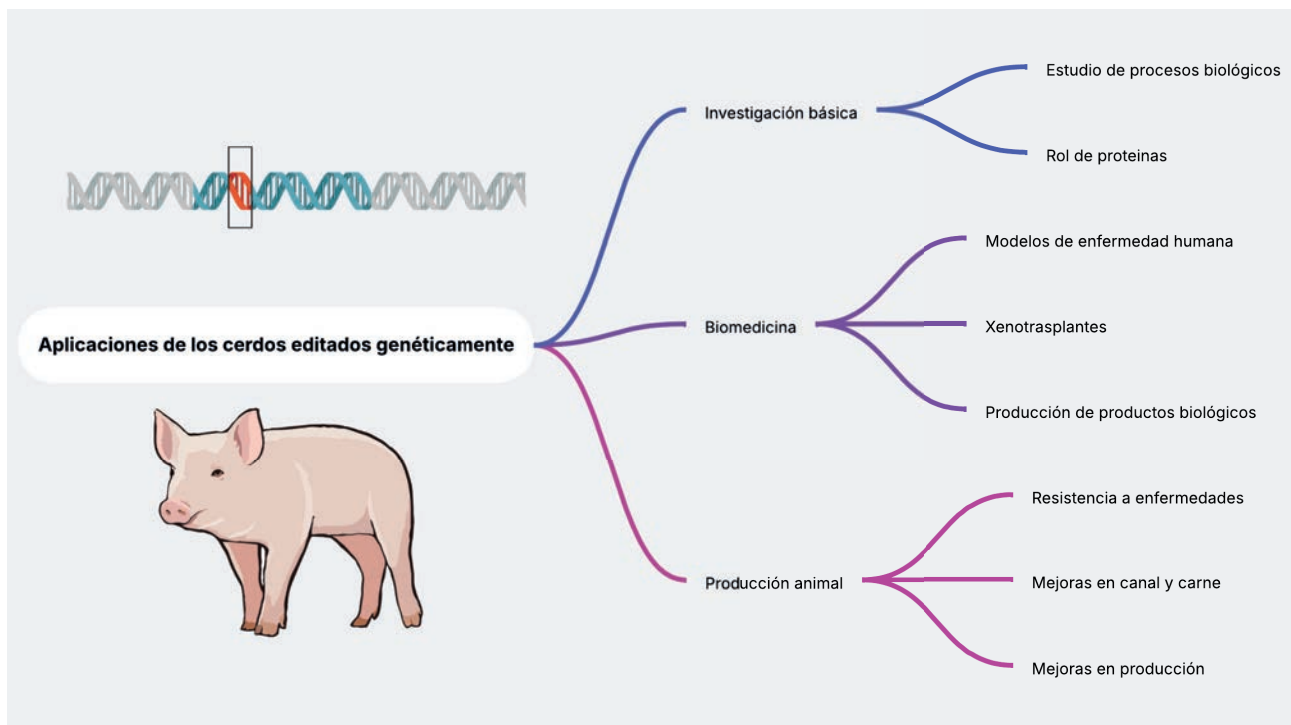


Figura 7.- Aplicaciones de los cerdos editados genéticamente.

En la actualidad, nuestro grupo está trabajando en la generación de modelos porcinos para enfermedades neuromusculares y neurodegenerativas, así como en modelos de sordera congénita. El objetivo principal es la creación de modelos relevantes para patologías humanas y avanzar hacia su aplicación clínica.

Xenotrasplantes

Una de las aplicaciones más prometedoras de la edición genética en cerdos es su uso en xenotrasplantes, es decir, como donantes de órganos para humanos. Este enfoque busca dar respuesta a la escasez de órganos disponibles para trasplante, un problema de gran relevancia en la medicina actual.

Para lograr este objetivo, es necesario modificar genéticamente a los cerdos con el fin de reducir el rechazo inmunológico y mejorar la compatibilidad con el organismo humano. Este procedimiento implica la eliminación de genes

responsables del rechazo hiperauto y la introducción de genes humanos implicados en procesos como la coagulación o la respuesta inflamatoria.

Se han logrado avances significativos, incluyendo trasplantes experimentales en primates y casos clínicos en humanos, lo que ha marcado el inicio de una nueva era en el campo de la medicina.

En este campo, nuestro grupo ha logrado la edición simultánea de embriones porcinos de varios genes implicados en el rechazo inmunológico y el tamaño corporal¹², demostrando el potencial de estas tecnologías para el desarrollo de modelos porcinos aplicables a xenotrasplantes.

Producción de productos biológicos

Otra aplicación relevante es el uso de cerdos como biorreactores vivos para la producción de proteínas de interés biomédico. Mediante edición genética, estos

animales pueden producir en su leche o en otros tejidos proteínas humanas, como factores de coagulación o albúmina.

Este enfoque podría ofrecer una alternativa más eficiente y escalable a los métodos tradicionales de producción de fármacos. Sin embargo, a pesar de los avances logrados, estas aplicaciones aún se encuentran en fases tempranas y deben superar importantes desafíos técnicos y regulatorios antes de su implantación clínica.

Un ejemplo es la línea de cerdos GalSafe, en la cual se eliminó el gen GGTA1, responsable de producir el azúcar alfa-1,3-galactosa en las células del cerdo. Como resultado, estos animales carecen de un antígeno implicado en reacciones alérgicas y en el rechazo inmunológico, lo que amplía significativamente sus posibles aplicaciones tanto en el ámbito biomédico como en el alimentario. Estos animales fueron aprobados por la FDA en Estados Unidos en 2020.



Aplicaciones en el sector productivo

La edición genética ofrece un gran potencial en el ámbito de la producción animal, ya que permite mejorar características de interés zootécnico de forma precisa y dirigida. Entre sus aplicaciones más relevantes, cabe destacar la resistencia a enfermedades y la optimización de características productivas, con implicaciones directas sobre la rentabilidad, el bienestar animal y la sostenibilidad de las explotaciones.

“ En producción animal, la edición puede crear animales resistentes a enfermedades, reduciendo antibióticos y mejorando bienestar.”

Resistencia a enfermedades

Una de las aplicaciones más prometedoras de la edición genética es la generación de animales con resistencia genética frente a enfermedades infecciosas. A diferencia de las estrategias tradicionales, basadas en vacunación, tratamientos farmacológicos o las medidas de bioseguridad, la modificación genética permite intervenir directamente en los mecanismos que los patógenos utilizan para infectar al hospedador.

En el ámbito del porcino, la resistencia al PRRS se erige como el paradigma más avanzado. Tal y como se ha descrito con anterioridad, el virus requiere de un proceso de unión al receptor CD163 para lograr la infección de las células. La supresión o modificación de este receptor a través de la edición genética impide la infección, generando animales completamente resistentes. Este enfoque no solo mitiga las pérdidas económicas asociadas a

la enfermedad, sino que también contribuye a reducir el uso de antibióticos y a mejorar el bienestar animal.

Además del PRRS, se están investigando estrategias similares para otras enfermedades víricas de gran impacto, como la influenza porcina o la peste porcina clásica. En este sentido, nuestro grupo ha generado animales con doble mutación en los genes CD163 y TMPRSS2, que determinan la resistencia simultánea al PRRS y a la influenza porcina¹⁵. Estos

avances abren nuevas posibilidades para el estudio y control de las enfermedades víricas.

Mejoras en la producción

Más allá de la sanidad, la edición genética permite optimizar las características productivas con un grado de precisión difícilmente alcanzable mediante los programas de selección tradicionales.

Uno de los objetivos prioritarios es mejorar la eficiencia alimentaria y la composición corporal. La modificación de genes implicados en el metabolismo puede dar lugar a animales con mayor proporción de tejido magro y menor acumulación de grasa, lo que incrementa el valor comercial de la canal.

La edición genética también puede contribuir al bienestar animal al eliminar características indeseables. Un ejemplo es la supresión de genes asociados al olor sexual en machos, lo que permitiría evitar la castración quirúrgica.

En resumen, estas herramientas ofrecen la posibilidad de avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles. La generación de animales que utilicen los nutrientes de manera más eficiente —por ejemplo, que utilicen mejor el fósforo de la dieta— contribuye a reducir la excreción de compuestos contaminantes y, en consecuencia, el impacto medioambiental de la producción porcina.

Marco regulatorio: un factor determinante

No todos los animales genéticamente modificados son equivalentes desde el punto de vista técnico ni regulatorio. Resulta fundamental diferenciar entre animales editados genéticamente y animales transgénicos, ya que sus implicaciones legales, sociales y comerciales son sustancialmente distintas.

En la actualidad, muchas legislaciones restringen el uso y la comercialización de organismos transgénicos. Sin embargo, existe un debate creciente sobre la necesidad de establecer marcos regulatorios diferenciados para los animales editados genéticamente, especialmente en aquellos casos en los que las modificaciones no implican la introducción de ADN exógeno y podrían asemejarse a mutaciones naturales.

En Estados Unidos, la FDA ha autorizado el cerdo GalSafe (GGTA1 KO) y, más recientemente, la línea de cerdos CD163 KO, resistente al PRRS. En la Unión Europea, el debate sobre las nuevas técnicas genómicas (NGT) en el ámbito vegetal ya se ha iniciado con la revisión de estas técnicas. No obstante, en el caso de los animales, la regulación continúa siendo restrictiva e incluye a estos animales dentro del

marco normativo de los organismos modificados genéticamente (OMG), lo que limita significativamente su desarrollo y potencial aplicación. No obstante, recientemente, un informe de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) afirma que las técnicas de edición genética (no transgénesis) tienen un riesgo equivalente al de la cría natural de animales domésticos ¹⁶.

La evolución de este marco regulatorio será un factor determinante para definir en qué medida estas tecnologías podrán trasladarse desde el ámbito experimental a la práctica clínica y productiva, condicionando no solo su implementación, sino también su aceptación social y su viabilidad económica.

Conclusiones y perspectivas de futuro

El uso de cerdos genéticamente editados se ha consolidado como una de las herramientas más prometedoras y versátiles en la investigación biomédica actual. Gracias al desarrollo de tecnologías como CRISPR/Cas9 y otras metodologías emergentes, es posible generar modelos porcinos con un grado de precisión genética sin precedentes, lo que ha acelerado de forma notable los avances en investigación básica, medicina traslacional y biotecnología.

A lo largo de este trabajo se han revisado las principales aplicaciones de estos modelos, que abarcan desde el estudio de la función génica hasta la modelización de enfermedades humanas complejas, incluyendo su uso en xenotrasplantes y en la producción de compuestos biológicos de interés médico. Este amplio espectro de aplicaciones sitúa al cerdo como

“¿Por qué la edición genética importa al veterinario? Los veterinarios serán actores clave en la implementación de animales editados genéticamente: en reproducción, sanidad, bioseguridad y bienestar.”

un modelo clave en la intersección entre la investigación experimental y la práctica clínica.

En este escenario, la contribución de grupos de investigación nacionales, como el nuestro, demuestra que es posible desarrollar líneas de trabajo competitivas en ámbitos altamente especializados, como los modelos de enfermedades neuromusculares, la sordera hereditaria o la generación de embriones editados para xenotrasplantes. Estos avances ponen de manifiesto la importancia de las redes colaborativas internacionales y del uso estratégico de tecnologías innovadoras.

De cara al futuro, el campo de la edición genética continuará evolucionando rápidamente. La aparición de nuevas herramientas, como los editores de bases y los editores *prime*, permite introducir modificaciones aún más precisas en el genoma sin necesidad de generar roturas de doble cadena. Esto podría reducir los efectos no deseados (*off-target*), disminuir el mosaicismo y mejorar la seguridad de estas técnicas. Asimismo, el desarrollo de modelos porcinos humanizados amplía las posibilidades para el estudio de enfermedades, la validación de terapias avanzadas y el desarrollo de nuevos fármacos.

En conjunto, los cerdos editados genéticamente están llamados a desempeñar un papel cada vez más relevante tanto en la medicina del futuro como en la producción animal. En el ámbi-

to productivo, el desarrollo de líneas genéticas resistentes a enfermedades, como en el caso del PRRS, representa una de las aplicaciones con mayor potencial a corto y medio plazo, con un impacto directo sobre la sanidad animal, la reducción del uso de antimicrobianos y la sostenibilidad de las explotaciones. El progreso en este campo dependerá no solo del avance tecnológico, sino también de la capacidad para integrar conocimientos multidisciplinares y de la existencia de marcos regulatorios y de financiación que permitan trasladar estos desarrollos desde el laboratorio hasta su aplicación real en biomedicina y producción animal.

Agradecimientos:

A todas las personas e instituciones que con su trabajo y apoyo han permitido el desarrollo de esta línea de investigación, a la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia por financiar los proyectos 22065/PI/22, 22545/PDC/24; 3031/GERM/25 y FSRM/10.13039/100007801.

Referencias

1. Joshi, K., T. Katam, A. Hegde, et al., *Pigs: Large Animal Preclinical Cancer Models*. World J Oncol, 2024. 15(2): p. 149-168.
2. Navarro-Serna, S., C. Piñeiro-Silva, R. Romar, et al., *Generation of Gene Edited Pigs, in Sustainable Agriculture Reviews 57: Animal Biotechnology for Livestock Production 2*, V.K. Yata, A.K. Mohanty, and E. Lichtfouse, Editors. 2022, Springer International Publishing: Cham. p. 71-130.
3. Burkard, C., T. Opriessnig, A.J. Mileham, et al., *Pigs Lacking the Scavenger Receptor Cysteine-Rich Domain 5 of CD163 Are Resistant to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus 1 Infection*. J Virol, 2018. 92(16).
4. Kwon, T., B.L. Artiaga, C.D. McDowell, et al., *Gene editing of pigs to control influenza A virus infections*. Emerg Microbes Infect, 2024: p. 2387449.
5. Crooke, H., S. Schwindt, S.L. Fletcher, et al., *DNAJC14 gene-edited pigs are resistant to classical pestivirus-es*. Trends in Biotechnology, 2025.
6. Nesbitt, C., L. Galina Pantoja, B. Beaton, et al., *Pigs lacking the SRCR5 domain of CD163 protein demonstrate heritable resistance to the PRRS virus and no changes in animal performance from birth to maturity*. Front Genome Ed, 2024. 6: p. 1322012.
7. Zheng, Q., J. Lin, J. Huang, et al., *Reconstitution of UCP1 using CRISPR/Cas9 in the white adipose tissue of pigs decreases fat deposition and improves thermogenic capacity*. Proc Natl Acad Sci U S A, 2017. 114(45): p. E9474-E9482.
8. Piñeiro-Silva, C., P. Bermejo-Álvarez, F.J. García-Purriños, et al., *Generation of GJB2 Gene-Edited Porcine Embryos as a Model for Human Congenital Deafness via CRISPR/Cas9 and Cytosine base editors*. PRE-PRINT (Version 1) available at Research Square 2025.
9. Navarro-Serna, S., A. Hachem, A. Canha-Gouveia, et al., *Generation of Nonmosaic, Two-Pore Channel 2 Biallelic Knockout Pigs in One Generation by CRISPR-Cas9 Microinjection Before Oocyte Insemination*. CRISPR J, 2021. 4(1): p. 132-146.
10. Navarro-Serna, S., M. Dehesa-Etxebeste, C. Piñeiro-Silva, et al., *Generation of Calpain-3 knock-out porcine embryos by CRISPR-Cas9 electroporation and intracytoplasmic microinjection of oocytes before insemination*. Theriogenology, 2022. 186: p. 175-184.
11. Piñeiro-Silva, C., S. Navarro-Serna and J. Gadea. *Generación de embriones porcinos editados para la resistencia simultánea a los virus de PRRS e influenza porcina*. in XX Jornadas sobre Producción Animal 2023. Zaragoza. Spain Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).
12. Navarro-Serna, S., C. Pineiro-Silva, I. Fernandez-Martin, et al., *Oocyte electroporation prior to in vitro fertilization is an efficient method to generate single, double, and multiple knockout porcine embryos of interest in biomedicine and animal production*. Theriogenology, 2024. 218: p. 111-118.
13. Pineiro-Silva, C. and J. Gadea, *Optimization of lipofection protocols for CRISPR/Cas9 delivery in porcine zona pellucida intact oocytes: A study of coincubation duration and reagent efficacy*. Theriogenology, 2024. 230: p. 121-129.
14. Sheets, T.P., K.E. Park, C.H. Park, et al., *Targeted Mutation of NGN3 Gene Disrupts Pancreatic Endocrine Cell Development in Pigs*. Sci Rep, 2018. 8(1): p. 3582.
15. Piñeiro-Silva, C., A. Quintero Montero, M.D. Barceló, et al. *Generation of CD163 and TMPRSS2 Double-Knock-out Pigs for Enhanced Resilience to PRRS and Swine Influenza Using CRISPR/Cas9 Technology*. . in 16th European Symposium of Porcine Health Management. 2025. Bern (Switzerland).
16. EFSA GMO Panel (Efsa Panel on Genetically Modified Organisms), J. Casacuberta, F. Barro, et al., *New developments in biotechnology applied to animals: An assessment of the adequacy and sufficiency of current EFSA guidance for animal risk assessment*. EFSA J, 2025. 23(8): p. e9566.

Organoides animales: una herramienta emergente para investigación en el marco *One Health*

INÉS GARCÍA-RODRÍGUEZ¹, LUCÍA BARRADO-GIL¹, COVADONGA ALONSO¹, MIGUEL ÁNGEL CUESTA-GEIJO¹

¹ Dpto. de Biotecnología, INIA-CSIC, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ctra. de la Coruña Km 7.5, 28040 Madrid, Spain

MIGUEL ÁNGEL CUESTA GEIJO (Autor de correspondencia)

Un nuevo escenario sanitario global

El cambio climático y la globalización están transformando profundamente el panorama sanitario mundial. En las últimas décadas, la aparición de enfermedades emergentes que afectan tanto a animales como a humanos ha puesto de manifiesto su impacto no solo en la salud pública, sino también en la producción ganadera y en los ecosistemas. En este contexto, el enfoque *One Health* se ha consolidado como un marco clave, al evidenciar que la salud humana, animal y ambiental están estrechamente interconectadas⁽¹⁾.

Sin embargo, afrontar estos retos no depende únicamente de nuevos enfoques conceptuales, sino también de herramientas experimentales que permitan comprender mejor las enfermedades y desarrollar estrategias eficaces de control. En este sentido, los organoides animales se han posicionado como una tecnología con un gran potencial.

Los organoides animales permiten mejorar la modelización de enfermedades *in vitro*, comprender las infecciones zoonóticas, estudiar la toxicología de contaminantes ambientales, profundizar en el conocimiento de la resistencia a antibióticos en diferentes especies y optimizar las estrategias de cría de ganado (Figura 1).

¿Qué son los organoides y qué aportan a la investigación veterinaria?

Los organoides son estructuras tridimensionales generadas a partir de células madre que reproducen, en condiciones de laboratorio, características fundamentales de los órganos de los que proceden⁽²⁾. A diferencia de los cultivos tradicionales, estos modelos conservan parte de la arquitectura tisular y de las interacciones celulares, lo que los hace más representativos de la realidad biológica⁽³⁾.

Su desarrollo se basa en el aislamiento de células madre, ya sean adultas o pluripotentes, y su cultivo en matrices tridimensionales con factores de crecimiento específicos que imitan el entorno del órgano original (Figura 2)⁽⁴⁻⁶⁾. Aunque muchas de estas técnicas se han desarrollado inicialmente en modelos humanos y murinos^(5,7), en los últimos años se han adaptado a un número creciente de especies animales.

Modelización de enfermedades: del laboratorio a la clínica veterinaria

Una de las principales aplicaciones de los organoides en veterinaria es la modelización de enfermedades. Estos sistemas permiten estudiar procesos patológicos en tejidos específicos sin necesidad de utilizar animales vivos, lo que supone una ventaja tanto ética como experimental.

Por ejemplo, se han desarrollado organoides intestinales en perros

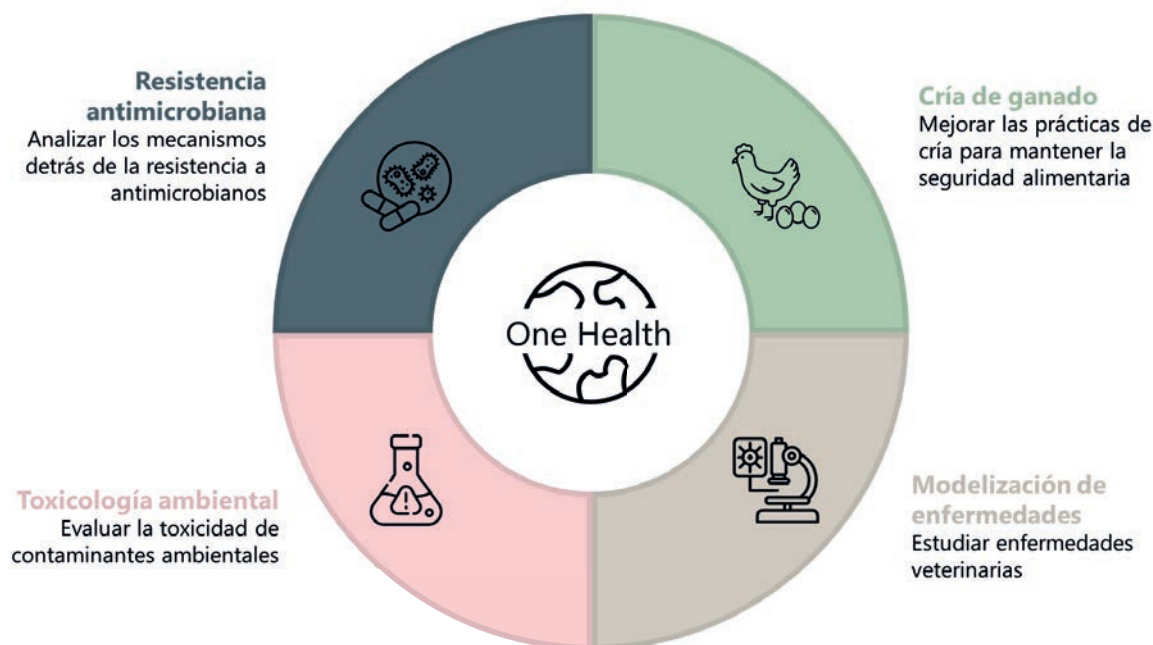


Figura 1. Aplicabilidad de los organoides animales en las diferentes áreas englobadas en el concepto *One Health*.

para investigar enfermedades inflamatorias crónicas, como la enfermedad inflamatoria intestinal, generando organoides de animales sanos y enfermos que permiten caracterizar la enfermedad y evaluar fármacos potenciales⁽⁸⁻¹⁰⁾. Asimismo, se han generado organoides tumorales de animales de compañía que permiten evaluar la respuesta a diferentes tratamientos^(11,12). Este tipo de modelos facilita estudios más controlados y reproducibles, y favorece enfoques más individualizados en medicina veterinaria.

Enfermedades infecciosas y zoonosis

El campo en el que los organoides han experimentado un desarrollo más notable es el de las enfermedades infecciosas. En especies de producción como el cerdo, se han utilizado organoides respiratorios e intestinales para estudiar infecciones virales y bacterianas, permitiendo analizar la respuesta del tejido y los mecanismos de patogenicidad⁽¹³⁻¹⁹⁾.

En otras especies, como aves⁽²⁰⁾, bovinos⁽²¹⁾ o felinos⁽²²⁾, estos modelos también han demostrado su utilidad para investigar patógenos de relevancia sanitaria. La posibilidad de trabajar con tejidos específicos de cada especie supone una ventaja importante para comprender la interacción entre el hospedador y el patógeno.

Este enfoque resulta especialmente relevante en el estudio de zoonosis. Dado que muchas enfermedades emergentes en humanos tienen origen animal⁽²³⁾, los organoides permiten analizar cómo un patógeno se comporta en diferentes especies y ayudan a comprender los mecanismos de transmisión entre ellas⁽²⁴⁾.

Resistencia a antimicrobianos y evaluación de nuevos tratamientos

La resistencia a los antimicrobianos es un problema creciente en medicina veterinaria⁽²⁵⁾. En este contexto, los organoides ofrecen

una plataforma útil para evaluar la eficacia de tratamientos en un entorno más representativo del tejido real.

Estos modelos permiten analizar no solo la respuesta del patógeno, sino también el efecto del tratamiento sobre el tejido del hospedador y las interacciones huésped-microbio. Su uso en especies animales aún es limitado en comparación con los modelos humanos; sin embargo, diversos estudios han demostrado su utilidad para modular infecciones bacterianas^(26, 27).

Toxicología ambiental y salud animal

Los contaminantes ambientales, como metales pesados, pesticidas o compuestos industriales, tienen un impacto directo sobre la salud animal⁽²⁸⁾. Los organoides son especialmente útiles en estudios toxicológicos, ya que permiten analizar los efectos de compuestos en distintos órga-

“Una de las principales aplicaciones de los organoides en veterinaria es la modelización de enfermedades. Estos sistemas permiten estudiar procesos patológicos en tejidos específicos sin necesidad de utilizar animales vivos, lo que supone una ventaja tanto ética como experimental.”

nos, evaluar toxicidad durante el desarrollo y modelar procesos carcinogénicos. Por ejemplo, los organoides intestinales y hepáticos expresan enzimas clave implicadas en el metabolismo de xenobióticos, como el citocromo P450⁽²⁹⁾.

Sin embargo, su aplicación en toxicología ambiental en animales aún es limitada. Un ejemplo es el uso de organoides testiculares porcinos para estudiar la toxicidad del di(2-etilhexil) ftalato (DEHP), un contaminante ambiental que altera el sistema endocrino, observándose un aumento de la actividad autofágica tras la exposición de estos organoides al mismo⁽³⁰⁾. Su aplicación en otras especies animales podría mejorar la evaluación de riesgos en producción ganadera y en fauna silvestre, contribuyendo también a la seguridad alimentaria.

Cría de ganado y mejora genética

Los organoides animales ofrecen también aplicaciones relevantes

en el ámbito de la producción y la mejora ganadera. Por un lado, permiten estudiar la fisiología de tejidos reproductivos y analizar factores que afectan a la fertilidad⁽³¹⁾. Por otro lado, ofrecen la posibilidad de relacionar características genéticas con respuestas funcionales, lo que podría ser útil en programas de selección⁽³²⁾.

En el campo de la reproducción, se han generado organoides de endometrio equino, para analizar su respuesta a hormonas externas^(33,34), así como organoides de oviducto en diversas especies, bovinos, porcinos, equinos, felinos y caninos⁽³⁵⁾. Respecto a la biología testicular, los modelos desarrollados en primates y cerdos han permitido evaluar la toxicidad de fármacos y estudiar el desarrollo gonadal^(30,36), mientras que en bovino se han obtenido organoides con capacidad de producir testosterona, consolidándose como modelos *in vitro* de endocrinología reproductiva masculina⁽³⁷⁾.

Más allá de la biología reproductiva, los organoides animales

muestran un potencial creciente en la selección genética. Su combinación con datos genómicos permitiría identificar animales con características deseables, como resistencia a enfermedades o eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes⁽³⁸⁾. Asimismo, estos modelos permiten estudiar el impacto de factores ambientales sobre el rendimiento productivo, facilitando la adaptación de la industria ganadera a entornos cambiantes⁽³⁹⁾.

Limitaciones actuales y perspectivas futuras

A pesar del enorme potencial de los organoides animales como modelos experimentales dentro del enfoque *One Health*, todavía existen limitaciones importantes que condicionan su aplicación y desarrollo. Entre los principales desafíos se encuentran la limitada escalabilidad y la fuerte dependencia de manipulación manual, lo que dificulta su integración en plataformas automatizadas⁽⁴⁰⁾. Además, la variabilidad entre lotes y los problemas de reproducibilidad entre laboratorios siguen siendo obstáculos relevantes, lo que puede comprometer la comparación de resultados entre laboratorios^(6,41). Para abordar estas limitaciones, se están impulsando iniciativas orientadas a la estandarización de protocolos, una mayor transparencia en la comunica-

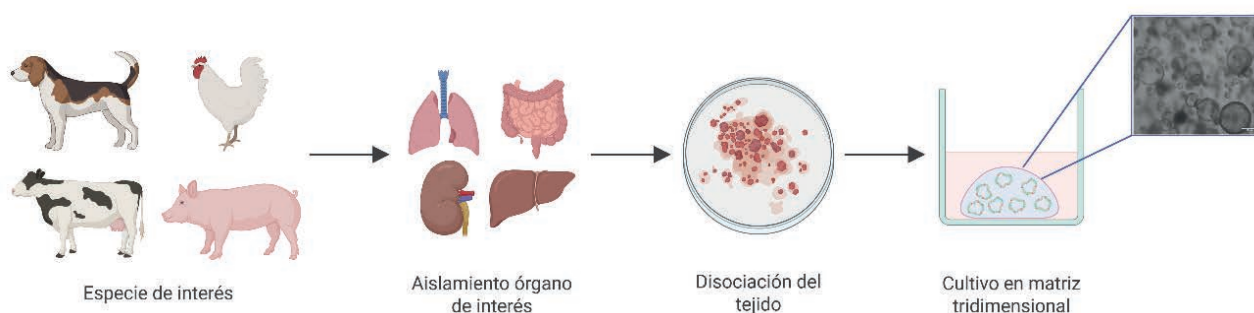


Figura 2. Esquema representativo del proceso de generación de organoides

ción de métodos y el seguimiento sistemático de la estabilidad fenotípica en cultivos a largo plazo.

Otra limitación clave es la aún insuficiente complejidad fisiológica de muchos organoides actuales. La ausencia de componentes vasculares e inmunitarios reduce su capacidad para reproducir fielmente las condiciones *in vivo*, especialmente en estudios relacionados con inflamación o enfermedades sistémicas^(42, 43). En este sentido, la incorporación de vascularización funcional y de células del sistema inmune representa una prioridad para mejorar la relevancia biológica de estos modelos. Tecnologías emergentes como los sistemas microfluídicos y los *organ-on-a-chip* ofrecen soluciones prometedoras al permitir la introducción de flujo que favorece la maduración y organización tisular⁽⁴⁴⁾.

Asimismo, aunque los organoides han demostrado valor predictivo en medicina humana, su validación clínica en el ámbito veterinario sigue siendo muy limitada^(45, 46). La falta de estudios que correlacionen las respuestas de organoides con resultados clínicos en animales reduce su aplicabilidad translacional.

“A medida que esta tecnología avance, es previsible que contribuya de forma significativa a mejorar la comprensión de las enfermedades, el desarrollo de tratamientos y la gestión de los riesgos sanitarios en un mundo cada vez más interconectado.”

De cara al futuro, será fundamental ampliar la diversidad taxonómica de los organoides, ya que la mayoría de los modelos actuales se han desarrollado en mamíferos. La extensión a otras especies, incluidas aves, peces o reptiles, permitirá una comprensión más completa de los procesos biológicos y patológicos en distintos contextos ecológicos. Este avance requerirá un mayor conocimiento de la biología del desarrollo y de las células madre en dichas especies⁽⁴⁷⁾.

Finalmente, los organoides ofrecen un marco especialmente prometedor para estudiar el impacto de factores ambientales, como el cambio climático, sobre la salud animal y la susceptibilidad a enfermedades. Su capacidad para modelar condiciones controladas permitirá avanzar desde estudios

observacionales hacia enfoques más mecanísticos.

Conclusión

En la actualidad, los organoides animales representan una herramienta en expansión con un gran potencial para la investigación veterinaria. Su capacidad para reproducir características clave de los tejidos, junto con su aplicación en múltiples especies, los convierte en un recurso valioso dentro del enfoque *One Health*.

A medida que esta tecnología avance, es previsible que contribuya de forma significativa a mejorar la comprensión de las enfermedades, el desarrollo de tratamientos y la gestión de los riesgos sanitarios en un mundo cada vez más interconectado.

Bibliografía

1. Adisasmito WB, Almuhairei S, Behravesh CB, Bilivogui P, Bukachi SA, Casas N, Becerra NC, Charron DF, Chaudhary A, Ciacci Zanella JR, Cunningham AA, Dar O, Debnath N, Dungu B, Farag E, Gao GF, Hayman DTS, Khaita M, Koopmans MPG, Machalaba C, Mackenzie JS, Markotter W, Mettenleiter TC, Morand S, Smolenskiy V, Zhou L. 2022. One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. *PLoS Pathogens* 18.
2. Corró C, Novellasdemunt L, Li VW. 2020. A brief history of organoids. *Am J Physiol Cell Physiol* 319:151–165.
3. Huang Y, Huang Z, Tang Z, Chen Y, Huang M, Liu H, Huang W, Ye Q, Jia B. 2021. Research Progress, Challenges, and Breakthroughs of Organoids as Disease Models. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 9.
4. Lehmann R, Lee CM, Shugart EC, Benedetti M, Charo RA, Gartner Z, Hogan B, Knoblich J, Nelson CM, Wilson KM. 2019. Human organoids: A new dimension in cell biology. *Molecular Biology of the Cell* 30:1129–1137.
5. Sato T, Vries RG, Snippert HJ, Van De Wetering M, Barker N, Stange DE, Van Es JH, Abo A, Kujala P, Peters PJ, Clevers H. 2009. Single Lgr5 stem cells build crypt-villus structures in vitro without a mesenchymal niche. *Nature* 459:262–265.
6. Jensen KB, Little MH. 2023. Organoids are not organs: Sources of variation and misinformation in organoid biology. *Stem Cell Reports* 18:1255–1270.

7. Eiraku M, Watanabe K, Matsuo-Takasaki M, Kawada M, Yonemura S, Matsumura M, Wataya T, Nishiyama A, Muguruma K, Sasai Y. 2008. Self-Organized Formation of Polarized Cortical Tissues from ESCs and Its Active Manipulation by Extrinsic Signals. *Cell Stem Cell* 3:519–532.
8. Chandra L, Borcharding DC, Kingsbury D, Atherly T, Ambrosini YM, Bourgois-Mochel A, Yuan W, Kimber M, Qi Y, Wang Q, Wannemuehler M, Ellinwood NM, Snella E, Martin M, Skala M, Meyerholz D, Estes M, Fernandez-Zapico ME, Jergens AE, Mochel JP, Allenspach K. 2019. Derivation of adult canine intestinal organoids for translational research in gastroenterology. *BMC Biology* 17.
9. Ambrosini YM, Park Y, Jergens AE, Shin W, Min S, Atherly T, Borcharding DC, Jang J, Allenspach K, Mochel JP, Kim HJ. 2020. Recapitulation of the accessible interface of biopsy-derived canine intestinal organoids to study epithelial-luminal interactions. *PLoS ONE* 15.
10. Kramer N, Pratscher B, Meneses AMC, Tschulen W, Walter I, Swoboda A, Kruitwagen HS, Schneeberger K, Penning LC, Spee B, Kieslinger M, Brandt S, Burgener IA. 2020. Generation of Differentiating and Long-Living Intestinal Organoids Reflecting the Cellular Diversity of Canine Intestine. *Cells* 9.
11. Abugomaa A, Elbadawy M, Yamamoto H, Ayame H, Ishihara Y, Sato Y, Yamawaki H, Kaneda M, Usui T, Sasaki K. 2022. Establishment of a direct 2.5D organoid culture model using companion animal cancer tissues. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 154.
12. Elbadawy M, Usui T, Mori T, Tsunedomi R, Hazama S, Nabeta R, Uchide T, Fukushima R, Yoshida T, Shibutani M, Tanaka T, Masuda S, Okada R, Ichikawa R, Omatsu T, Mizutani T, Katayama Y, Noguchi S, Iwai S, Nakagawa T, Shinohara Y, Kaneda M, Yamawaki H, Sasaki K. 2019. Establishment of a novel experimental model for muscle-invasive bladder cancer using a dog bladder cancer organoid culture. *Cancer Science* 110:2806–2821.
13. Jiang C, Li L, Xue M, Zhao L, Liu X, Wang W, Feng L, Liu P. 2022. Long-Term Expanding Porcine Airway Organoids Provide Insights into the Pathogenesis and Innate Immunity of Porcine Respiratory Coronavirus Infection. *Journal of Virology* 96.
14. Gerhards NM, Vrieling M, Dresken R, Nguyen-van Oort S, Bordes L, Wells JM, de Swart RL. 2024. Porcine Airway Organoid-Derived Well-Differentiated Epithelial Cultures as a Tool for the Characterization of Swine Influenza A Virus Strains. *Viruses* 16.
15. Bakre AA, Jones LP, Murray J, Reneer ZB, Meliopoulos VA, Cherry S, Schultz-Cherry S, Tripp RA. 2021. Innate Antiviral Cytokine Response to Swine Influenza Virus by Swine Respiratory Epithelial Cells. *Journal of Virology* 95.
16. Li L, Xue M, Fu F, Yin L, Feng L, Liu P. 2019. IFN-Lambda 3 Mediates Antiviral Protection Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus by Inducing a Distinct Antiviral Transcript Profile in Porcine Intestinal Epithelia. *Frontiers in Immunology* 10.
17. Li Y, Yang N, Chen J, Huang X, Zhang N, Yang S, Liu G, Liu G. 2020. Next-Generation Porcine Intestinal Organoids: an Apical-Out Organoid Model for Swine Enteric Virus Infection and Immune Response Investigations. *Journal of Virology* 94.
18. Yin L, Chen J, Li L, Guo S, Xue M, Zhang J, Liu X, Feng L, Liu P. 2020. Aminopeptidase N Expression, Not Interferon Responses, Determines the Intestinal Segmental Tropism of Porcine Deltacoronavirus. *Journal of Virology* 94.
19. Luo H, Zheng J, Chen Y, Wang T, Zhang Z, Shan Y, Xu J, Yue M, Fang W, Li X. 2020. Utility Evaluation of Porcine Enteroids as PDCoV Infection Model in vitro. *Frontiers in Microbiology* 11.
20. Nash TJ, Morris KM, Mabbott NA, Vervelde L. 2021. Inside-out chicken enteroids with leukocyte component as a model to study host–pathogen interactions. *Communications Biology* 4.
21. Alfajaro MM, Kim J-Y, Barbé L, Cho E-H, Park J-G, Soliman M, Baek Y-B, Kang M-I, Kim SH, Kim G-J, Park S-I, Pendu JL, Cho K-O. 2019. Dual Recognition of Sialic Acid and αGal Epitopes by the VP8* Domains of the Bovine Rotavirus G6P[5] WC3 and of Its Mono-reassortant G4P[5] RotaTeg Vaccine Strains. *Journal of Virology* 93.
22. Tekes G, Ehmann R, Boulant S, Stanifer ML. 2020. Development of feline ileum-and colon-derived organoids and their potential use to support feline coronavirus infection. *Cells* 9:1–15.
23. Rahman MT, Sobur MA, Islam MS, Levy S, Hossain MJ, Zowalaty MEE, Rahman AMMT, Ashour HM. 2020. Zoonotic diseases: Etiology, impact, and control. *Microorganisms* 8:1–34.
24. García-Rodríguez I, García-Dorival I, Alonso C, Cuesta-Geijo MÁ. 2026. Animal organoids as transformative platforms for viral infections and zoonotic cross-species viral research. *J Virol* e02197-25.
25. Graham DW, Bergeron G, Bourassa MW, Dickson J, Gomes F, Howe A, Kahn LH, Morley PS, Scott HM, Simjee S, Singer RS, Smith TC, Storrs C, Wittum TE. 2019. Complexities in understanding antimicrobial resistance across domesticated animal, human, and environmental systems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1441:17–30.

26. Beaumont M, Blanc F, Cherbuy C, Egidy G, Giuffra E, Lacroix-Lamandé S, Wiedemann A. 2021. Intestinal organoids in farm animals. *Vet Res* 52:33.
27. Madsen O, Rikkers RSC, Wells JM, Bergsma R, Kar SK, Taverne N, Taverne-Thiele AJ, Ellen ED, Woelders H. 2024. Transcriptomic analysis of intestinal organoids, derived from pigs divergent in feed efficiency, and their response to *Escherichia coli*. *BMC Genomics* 25:173.
28. Imai T, Ishigamori R, Naruse M, Ochiai M, Maru Y, Hippo Y, Totsuka Y. 2024. Bridging toxicological properties of environmental chemicals between animals and humans using healthy organoid systems. *The Journal of Toxicological Sciences* 49:425–434.
29. Caipa Garcia AL, Arlt VM, Phillips DH. 2022. Organoids for toxicology and genetic toxicology: applications with drugs and prospects for environmental carcinogenesis. *Mutagenesis* 37:143–154.
30. Sakib S, Uchida A, Valenzuela-Leon P, Yu Y, Valli-Pulaski H, Orwig K, Ungrin M, Dobrinski I. 2019. Formation of organotypic testicular organoids in microwell culture. *Biology of Reproduction* 100:1648–1660.
31. Kawasaki M, Goyama T, Tachibana Y, Nagao I, Ambrosini YM. 2022. Farm and Companion Animal Organoid Models in Translational Research: A Powerful Tool to Bridge the Gap Between Mice and Humans. *Frontiers in Medical Technology* 4.
32. Kar SK, Wells JM, Ellen ED, te Pas MFW, Madsen O, Groenen MAM, Woelders H. 2021. Organoids: a promising new in vitro platform in livestock and veterinary research. *Veterinary Research* 52.
33. Thompson RE, Meyers MA, Gad A, Bouma GJ, Magee C, Pukazhenthil BS, Hollinshead FK. 2023. Equine endometrial organoids treated with embryo-derived mesenchymal stem cell-secreted extracellular vesicles as a treatment for endometritis. *Journal of Equine Veterinary Science* 125:104751.
34. Thompson RE, Meyers MA, Pukazhenthil BS, Hollinshead FK. 2022. Evaluation of growth, viability, and structural integrity of equine endometrial organoids following cryopreservation. *Cryobiology* 104:56–62.
35. Lawson EF, Ghosh A, Blanch V, Gruben CG, Aitken RJ, Lim R, Drury HR, Baker MA, Gibb Z, Tanwar PS. 2023. Establishment and characterization of oviductal organoids from farm and companion animals. *Biology of Reproduction* 108:854–865.
36. Sakib S, Yu Y, Voigt A, Ungrin M, Dobrinski I. 2019. Generation of Porcine Testicular Organoids with Testis Specific Architecture using Microwell Culture. *JoVE* e60387.
37. Cortez J, Leiva B, Torres CG, Parraguez VH, De los Reyes M, Carrasco A, Peralta OA. 2022. Generation and Characterization of Bovine Testicular Organoids Derived from Primary Somatic Cell Populations. *Animals* 12.
38. Harlizius B, Mathur P, Knol EF. 2020. Breeding for resilience: New opportunities in a modern pig breeding program, p. S150–S154. In *Journal of Animal Science*. Oxford University Press.
39. Clark EL, Archibald AL, Daetwyler HD, Groenen MAM, Harrison PW, Houston RD, Kühn C, Lien S, Macqueen DJ, Reecy JM, Robledo D, Watson M, Tuggle CK, Giuffra E. 2020. From FAANG to fork: application of highly annotated genomes to improve farmed animal production. *Genome Biology* 21.
40. Kim D, Lim H, Youn J, Park T-E, Kim DS. 2024. Scalable production of uniform and mature organoids in a 3D geometrically-engineered permeable membrane. *Nature Communications* 15:9420.
41. Zhao Z, Chen X, Dowbaj AM, Sljukic A, Bratlie K, Lin L, Fong ELS, Balachander GM, Chen Z, Soragni A, Huch M, Zeng YA, Wang Q, Yu H. 2022. Organoids. *Nature Reviews Methods Primers* 2:94.
42. Lee HN, Choi YY, Kim JW, Lee YS, Choi JW, Kang T, Kim YK, Chung BG. 2021. Effect of biochemical and biomechanical factors on vascularization of kidney organoid-on-a-chip. *Nano Convergence* 8:35.
43. Recaladin T, Steinacher L, Gjeta B, Harter MF, Adam L, Kromer K, Mendes MP, Bellavista M, Nikolaev M, Lazzaroni G, Krese R, Kilik U, Popovic D, Stoll B, Gerard R, Bscheider M, Bickle M, Cabon L, Camp JG, Gjorevski N. 2024. Human organoids with an autologous tissue-resident immune compartment. *Nature* 633:165–173.
44. Ashammakhi N, Nasiri R, Barros NR de, Tebon P, Thakor J, Goudie M, Shamloo A, Martin MG, Khademhosseini A. 2020. Gut-on-a-chip: Current progress and future opportunities. *Biomaterials* 255:120196.
45. Kopper JJ, Iennarella-Servantez C, Jergens AE, Sahoo DK, Guillot E, Bourgois-Mochel A, Martinez MN, Allenspach K, Mochel JP. 2021. Harnessing the Biology of Canine Intestinal Organoids to Heighten Understanding of Inflammatory Bowel Disease Pathogenesis and Accelerate Drug Discovery: A One Health Approach. *Frontiers in Toxicology* 3.
46. Csukovich G, Kramer N, Pratscher B, Gotic I, Freund P, Hahn R, Himmler G, Brandt S, Burgener IA. 2023. Neutralising Effects of Different Antibodies on *Clostridioides difficile* Toxins TcdA and TcdB in a Translational Approach. *IJMS* 24:3867.
47. Swevers L, Denecke S, Vogelsang K, Geibel S, Vontas J. 2021. Can the mammalian organoid technology be applied to the insect gut? *Pest Management Science* 77:55–63.

Ganadería, biodiversidad y patógenos: el tridente sanitario de los ecosistemas ibéricos

ALBERTO PERELLO*

* Premio Colegio de Veterinarios de Madrid de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España

En los últimos años, las enfermedades emergentes han puesto de manifiesto la gran interconexión existente entre la salud animal, humana y ambiental. Este enfoque multidisciplinar, conocido como One Health, sitúa a la profesión veterinaria en una posición clave para entender y gestionar los procesos ecológicos que influyen en la aparición y circulación de patógenos.

En este contexto se enmarca el trabajo del investigador predoctoral del IREC Alberto Perelló, distinguido con el Premio COLVEMA 2025 de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España, y financiado por los proyectos EcoEpi y BioGraz. Su investigación aborda una cuestión especialmente relevante: cómo la ganadería extensiva puede influir en la relación entre biodiversidad y enfermedades en los ecosistemas.

El problema global de la emergencia de enfermedades y la ganadería

La pandemia COVID-19 ha puesto en evidencia cómo la degradación de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad pueden influir sobre la emergencia de enfermedades transmisibles. Los cambios en el uso del suelo y la creciente presión humana sobre el medio natural tienen repercusiones so-

bre la biodiversidad, alterando profundamente las comunidades de fauna silvestre. Estos cambios afectan tanto a la distribución de las especies como a la forma en que los patógenos se mantienen y se transmiten.

En el ámbito mundial, el consumo de productos de origen animal se considera una de las principales causas de los efectos negativos para la conservación de los ecosistemas terrestres y la biodiversidad, principalmente porque el aumento de la actividad ganadera

provoca una pérdida significativa de hábitat en zonas tropicales. Se ha relacionado el aumento del número de cabezas de rumiantes domésticos a lo largo del tiempo con el número de brotes de enfermedades infecciosas y un mayor número de especies silvestres amenazadas, vinculando así el ganado, los patógenos y la biodiversidad (Morand, 2020). No obstante, esta relación no es generalizable y depende de cada contexto.



Figura 1. Imagen de ganado vacuno manejado de manera tradicional en extensivo. Fuente: A. Perelló.

Ganadería extensiva: más allá de los aspectos productivos

Las zonas naturales de pastoreo parcialmente modificadas son fuente de recursos para millones de personas y contribuyen a la salud ecológica y social y al bienestar (Godde y colaboradores, 2020; Bremer y colaboradores, 2021). En Europa, estos sistemas ganaderos, lejos de cumplir un papel meramente productivo, desempeñan funciones ecológicas importantes (Figura 1), ya que constituyen una forma de pastoreo regenerativo caracterizado por su elevada riqueza en especies animales y vegetales (Envall y colaboradores, 2021; Konvička y colaboradores, 2021). Por ello, el pastoreo de rumiantes en Europa puede tener un papel ambiental satisfactorio, incluyendo impactos positivos sobre la biodiversidad.

La ganadería extensiva podría ayudar a resolver el conflicto existente entre la necesidad de producir alimentos de origen animal y la de reducir el impacto de la ganadería sobre el ecosistema. Estos sistemas ganaderos contribuyen a la regeneración del suelo, al incremento de su contenido en agua y nitrógeno, y favorecen la riqueza de especies de animales, ya sean mamíferos, aves o invertebrados (Tilman y colaboradores, 2001; Teague y colaboradores, 2016). En climas secos, contribuyen además a la creación y mantenimiento de humedales (Thiere y colaboradores, 2009). En ausencia de estos sistemas agrarios tradicionales, la matorralización del paisaje, la sobreabundancia de ungulados silvestres y el aumento del riesgo de incendios son consecuencias bien documentadas (Derner y colaboradores, 2009; Carpio y colaboradores, 2021).

“ Los resultados de este estudio refuerzan la idea de que la conservación de la biodiversidad, el control de enfermedades y el desarrollo rural no son objetivos independientes, sino procesos profundamente interconectados. ”

Biodiversidad y control de patógenos

Uno de los aspectos más relevantes, y con frecuencia desatendidos, desde el punto de vista veterinario es cómo la biodiversidad influye en la transmisión de enfermedades.

Por un lado, la biodiversidad de una zona puede ser determinante en la emergencia y difusión de patógenos. En ocasiones, una mayor diversidad de especies puede reducir la circulación de patógenos, fenómeno conocido como “efecto dilución”. Esto ocurre porque disminuye la probabilidad de contacto entre hospedadores realmente competentes para transmitir la infección. No obstante, este efecto no es universal y depende del tipo de patógeno y de su forma de transmisión (Dobson, 2004).

Por otro lado, la sobreabundancia de determinados ungulados silvestres, como el jabalí o el ciervo, puede favorecer la persistencia y difusión de enfermedades. En las últimas décadas, el abandono de sistemas ganaderos tradicionales ha contribuido a cambios en el paisaje que han favorecido estos

desequilibrios ecológicos y, por tanto, la mayor circulación de patógenos (Gortázar y colaboradores, 2006; Carpio y colaboradores, 2021; Barroso y Gortázar, 2024).

Aportaciones del trabajo de Perelló y colaboradores

El estudio evalúa la interacción entre el pastoreo de rumiantes, la biodiversidad y la dinámica de patógenos generalistas, abordando así una importante brecha de conocimiento en ecología y epidemiología.

Para ello seleccionaron 18 zonas de estudio representativas de las diferentes biorregiones de la Península Ibérica. Se caracterizaron las comunidades de mamíferos de dichas zonas mediante fototrampeo (Figura 2 y Figura 3) y se estudió el estado sanitario general de la fauna mediante análisis serológicos (detección de anticuerpos) frente a múltiples patógenos de relevancia veterinaria y en salud pública (entre ellos bacterias, como las causantes de la fiebre Q, la tuberculosis o el mal rojo, virus como el causante de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, y



Figura 2. (A) Cámara de fototrampeo en funcionamiento y (B) disposición teórica de una red de fototrampeo de uno de los sitios de estudio (cada punto negro corresponde a la localización de una cámara). Fuente: A. Perelló.

parásitos como *Toxoplasma gondii*). Se utilizó también la adenosin desaminasa como marcador indirecto de activación inmunitaria. El jabalí fue seleccionado como especie centinela de enfermedades debido a sus características ecológicas y su relevancia epidemiológica. Además, el jabalí ocupa una posición central en las comunidades de hospedadores, lo que hace que su función como especie centinela sea especialmente relevante para aquellas enfermedades compartidas entre diferentes especies (patógenos multihospedador), entre las cuales pueden encontrarse el ganado y los seres humanos.

El principal resultado de este trabajo refleja que, en aquellas zonas donde hay ganado en extensivo, el incremento en la riqueza de especies de mamíferos se asocia a una menor circulación aparen-

posiblemente esté ocurriendo es que, aquellas zonas sin ganado y, por tanto, presumiblemente con mucha menor presión antrópica (despoblación rural), sufren con mayor frecuencia fenómenos de sobrepoblación de ungulados silvestres, especialmente ciervos y jabalíes (Figura 4).

Implicaciones prácticas

Los resultados de este trabajo sugieren que la ganadería extensiva tradicional no puede entenderse únicamente como un sistema de producción de alimentos, sino como un elemento estructural del territorio con efectos directos sobre la biodiversidad y la dinámica de los patógenos. La presencia de ganado manejado de forma extensiva contribuye a mantener comunidades de fauna silvestre más equilibradas, reduciendo la

“ La ganadería extensiva, cuando se gestiona de manera adecuada, puede actuar como un nexo entre estos ámbitos, aportando soluciones basadas en el funcionamiento natural de los ecosistemas. ”

te de patógenos. Por otro lado, la ausencia de estos sistemas ganaderos da lugar a un empeoramiento significativo del estado sanitario general de la fauna silvestre a medida que se incrementa el número de especies de mamíferos (Figura 4). Para entender este fenómeno debemos tener en cuenta otro de los resultados de esta investigación; las comunidades de mamíferos de zonas sin ganado extensivo tienden a estar desequilibradas en composición, mientras que las que tienen estos sistemas ganaderos tienen una mayor biodiversidad y una composición más balanceada de la comunidad. La hipótesis de lo que

dominancia de determinadas especies y, con ello, favoreciendo una menor circulación de patógenos multihospedador.

Desde esta perspectiva, la actividad ganadera actúa como un mecanismo de regulación ecológica que difícilmente puede ser sustituido por medidas aisladas de gestión de fauna o por intervenciones puntuales sobre el medio. La ausencia de estos sistemas tradicionales, junto con otros factores, suele ir acompañada del abandono de pastos, la matorralización del paisaje y la proliferación de especies potencialmente dañinas, procesos que



Figura 3. Ejemplos de imágenes obtenidas mediante cámaras trampa durante los estudios de monitorización de poblaciones silvestres. Fuente: IREC.

no solo afectan a la biodiversidad y al riesgo de incendios, sino que también generan escenarios más favorables para la persistencia y transmisión de enfermedades.

Este enfoque tiene implicaciones claras para el diseño de las políticas agrarias y de gestión del territorio. Los beneficios asociados a la ganadería extensiva constituyen servicios ecosistémicos que rara vez se incorporan de forma explícita en los esquemas de ayudas públicas. Reconocer y apoyar estos sistemas productivos no debería basarse únicamente en criterios de rentabilidad, sino en su contribución a la estabilidad ecológica y sanitaria del territorio en el que se encuentran.



En este contexto, la ganadería extensiva adquiere también una dimensión social clave. En muchas zonas rurales, su desaparición ha ido de la mano de la despoblación y la pérdida de gestión activa del territorio, con consecuencias que no siempre son evidentes a corto plazo. Mantener la actividad ganadera implica conservar conocimiento local, fijar población y asegurar una presencia humana capaz de modular los procesos ecológicos que, en ausencia de gestión, tienden al desequilibrio.

Por tanto, los resultados de este estudio refuerzan la idea de que la conservación de la biodiversidad, el control de enfermedades y el desarrollo rural no son objetivos independientes, sino procesos profundamente interconectados. La ganadería extensiva, cuando se gestiona de manera adecuada,

“ Los veterinarios, como profesión clave en la interfaz entre personas, animales y ecosistemas, tienen un papel fundamental en la vigilancia epidemiológica, el asesoramiento a ganaderos y administraciones y la aplicación de enfoques integrados que contribuyan a afrontar de manera conjunta los principales desafíos ambientales, sanitarios y sociales del medio rural. ”

puede actuar como un nexo entre estos ámbitos, aportando soluciones basadas en el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Conclusión general

La relación entre ganadería y biodiversidad no admite respuestas simples ni universales. Mientras que determinados modelos in-

tensivos pueden contribuir a la degradación de los ecosistemas y a la emergencia de patógenos, los sistemas ganaderos extensivos tradicionales, especialmente en el contexto europeo, pueden desempeñar un papel fundamental en el mantenimiento de paisajes funcionales y ecosistemas más resilientes desde el punto de vista sanitario.

El reto pasa por integrar este conocimiento tanto en la práctica veterinaria como en las estrategias de gestión del territorio y las políticas agrarias, promoviendo modelos productivos que compatibilicen la producción de alimentos con la conservación de la biodiversidad y la salud animal y humana. En este proceso, los veterinarios, como profesión clave en la interfaz entre personas, animales y ecosistemas, tienen un papel fundamental en la vigilancia epidemiológica, el asesoramiento a ganaderos y administraciones y la aplicación de enfoques integrados que contribuyan a afrontar de manera conjunta los principales desafíos ambientales, sanitarios y sociales del medio rural.

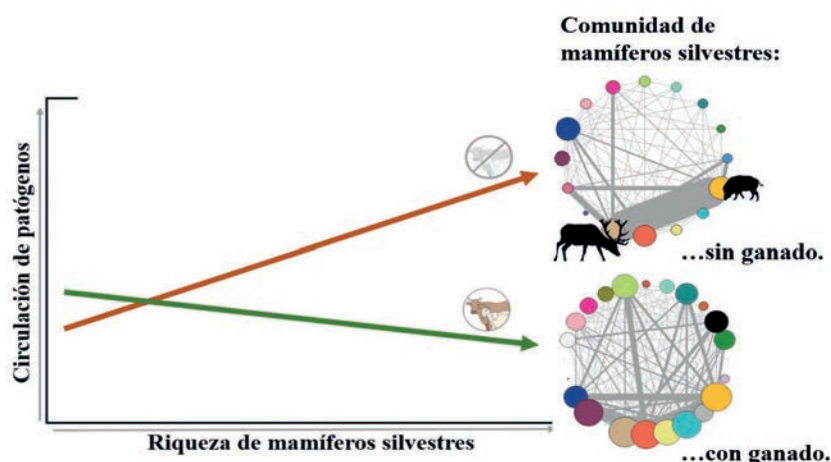


Figura 4. Las comunidades con ganadería extensiva de rumiantes tienden a reducir la circulación de patógenos a medida que se incrementa la riqueza de mamíferos silvestres, a través de favorecer comunidades más equilibradas. En ausencia de estos sistemas, el estado sanitario de la fauna empeora significativamente, presumiblemente por el aumento de la abundancia de ciertas especies de ungulados silvestres. Las comunidades de mamíferos con ganadería extensiva de rumiantes (manejo tradicional) son más equilibradas, y albergan mayor biodiversidad. Estas redes ecosistémicas representan las especies (nodos de colores) que constituyen las comunidades sin y con ganado, y sus coincidencias espacio-temporales (potenciales interacciones; los ejes de color gris que conectan los diferentes nodos). Como se observa en la red de las zonas en las que la ganadería no está presente, el ciervo y el jabalí tienden a dominar la comunidad de mamíferos y tienen unas ratios de interacción potencial mucho mayores que las demás especies. Por otro lado, en las comunidades con ganado, ninguna especie concreta destaca especialmente en la red, constituyendo comunidades más equilibradas y biodiversas.

Bibliografía:



¿Quieres celebrar tu **evento de empresa** en un **espacio** que ofrece las **mejores instalaciones** y **servicios**?



Si quieres ofrecer una experiencia única a tus clientes o empleados en una localización inmejorable del centro de Madrid, puedes contactar con nosotros a través de:

☎ 914 11 20 33

✉ veterinariamadrid@colvema.org



COLEGIO OFICIAL
DE VETERINARIOS
DE MADRID

colvema.org



La innovación a tu servicio

**Sabadell Consumer, la solución de pago a plazos
rápida, fácil, segura y 100% digital**



La solución de financiación integrada en el TPV Smart¹, solo con la app de InstantCredit.
Comienza a vender más gracias a las compras financiadas disponiendo del cobro
asegurado y por adelantado en tu cuenta bancaria.