Organización Mundial de Sanidad Animal

TEMA TÉCNICO I

Uso de modelos epidemiológicos para apoyar la toma de decisiones en los Servicios Veterinarios

Autora: María V. Iriarte[1,2]
Coautor: José L. Gonzáles[3]

[1] Dirección General de Servicios Ganaderos, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay.
[2] Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
[3] Department of Epidemiology, Bioinformatics & Animal Models, Wageningen Bioveterinary Research, Lelystad, Países Bajos

28.ª Conferencia de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas
(2–6 de noviembre de 2026, Asunción, Paraguay)

TEMA TÉCNICO I
Uso de modelos epidemiológicos para apoyar la toma de decisiones en los Servicios Veterinarios

1. Resumen

La región de las Américas ha logrado avances sustanciales hacia la erradicación de la fiebre aftosa, y actualmente, la gran mayoría de la población bovina de la región se encuentra en países o zonas reconocidos como libres de fiebre aftosa. En este nuevo contexto epidemiológico, mantener capacidades adecuadas de prevención, vigilancia, preparación y respuesta rápida resulta fundamental para preservar los logros alcanzados.

Los modelos epidemiológicos y matemáticos pueden complementar los enfoques epidemiológicos tradicionales y contribuir a la preparación y planificación ante emergencias. Entre otras aplicaciones, permiten analizar posibles escenarios de brotes; identificar áreas y poblaciones en riesgo; evaluar diferentes estrategias de control y vacunación, y estimar los recursos necesarios para su implementación. De esta forma, pueden aportar evidencia tanto para la toma de decisiones durante una emergencia como para identificar, de manera anticipada, necesidades de preparación y respuesta. Cuando se combina con análisis económicos, la modelización también puede contribuir a orientar la asignación de recursos y las decisiones de inversión.

Para conocer la experiencia, las capacidades y las necesidades actuales, se distribuyó un cuestionario entre los 33 Miembros de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas, al que respondieron 26 (79 %). La mayoría de las autoridades veterinarias indicó tener experiencia previa en el uso de modelos epidemiológicos, y la preparación ante emergencias fue identificada como el área en la que estos modelos pueden aportar mayor valor. Ante una amenaza inminente de introducción del virus de la fiebre aftosa, las principales aplicaciones identificadas fueron la cartografía de riesgos; la estimación de los recursos necesarios; la comparación entre el sacrificio sanitario y la vacunación de emergencia, y la evaluación de diferentes estrategias de vacunación de emergencia.

La encuesta también permitió identificar áreas en las que es necesario fortalecer las capacidades. Si bien la mayoría de las autoridades veterinarias indicó contar con personal capaz de interpretar y desarrollar modelos, se observaron mayores limitaciones en el conocimiento de los criterios para evaluar su calidad y confiabilidad. La interpretación de los resultados fue identificada como una de las principales dificultades. Por su parte, la calidad de los datos, la transparencia, la adecuada representación del contexto epidemiológico y la comunicación de la incertidumbre y las limitaciones fueron considerados aspectos fundamentales para generar confianza en los resultados obtenidos.

Por lo tanto, el fortalecimiento de las capacidades para el uso de modelos en la región debería ir más allá de su desarrollo técnico. Las autoridades veterinarias necesitan contar con capacidades para formular preguntas relevantes, interpretar críticamente los resultados y utilizarlos como apoyo para la toma de decisiones, recurriendo, cuando sea necesario, a expertos externos. La incorporación de modelos en las actividades de preparación y en los ejercicios de simulacro podría contribuir a identificar posibles limitaciones operativas y necesidades de recursos antes de que surjan situaciones de emergencia. A su vez, la cooperación regional y la colaboración con universidades, instituciones de investigación y organizaciones internacionales podrían contribuir al desarrollo y mantenimiento de estas capacidades.

2. Introducción

Las Américas han logrado avances sustanciales hacia la erradicación de la fiebre aftosa; para 2025, el 99 % de la población bovina regional se encuentra en países o zonas libres de esta enfermedad (Centro Panamericano de Fiebre Aftosa y Salud Pública Veterinaria [PANAFTOSA-SPV], 2025). Asimismo, la gran mayoría de los países de la región se han mantenido libres de peste porcina africana (PPA). No obstante, la reciente propagación de influenza aviar de alta patogenicidad (IAAP) en las Américas (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2025), junto con la evolución de la dinámica epidemiológica mundial de las principales enfermedades animales transfronterizas, pone de relieve las amenazas constantes para la sanidad animal y la producción ganadera en la región. Estas amenazas se ven reflejadas, además, en los recientes cambios en la distribución mundial del virus de la fiebre aftosa (VFA), en particular la expansión inesperada de serotipos como el SAT1 más allá de sus regiones endémicas tradicionales en África (Red de Laboratorios de Referencia para la Fiebre Aftosa de la OMSA/FAO, 2026; Organización Mundial de Sanidad Animal [OMSA], 2026). En este contexto de evolución de los riesgos sanitarios mundiales relacionados con la sanidad animal, resulta esencial mantener capacidades eficaces de prevención, vigilancia, preparación y respuesta ante emergencias. La modelización epidemiológica puede servir de apoyo a las autoridades veterinarias para anticipar posibles escenarios de brotes, evaluar diversas estrategias de control y estimar los recursos necesarios para una respuesta eficaz.

La preparación ante una emergencia sanitaria implica tomar decisiones en condiciones de incertidumbre y, muchas veces, en plazos muy acotados. Los Servicios Veterinarios pueden necesitar anticipar dónde y con qué rapidez podría propagarse una enfermedad, identificar las poblaciones o áreas de mayor riesgo, evaluar las posibles consecuencias de una detección tardía, comparar diferentes estrategias de control, definir estrategias de vacunación y estimar los recursos humanos, logísticos y financieros necesarios para una respuesta efectiva.

Los modelos epidemiológicos y matemáticos permiten abordar estas preguntas de manera estructurada y cuantitativa (Hagenaars et al., 2011). Al integrar el conocimiento epidemiológico con los datos disponibles, los modelos permiten simular diferentes escenarios y evaluar las posibles consecuencias de distintos supuestos e intervenciones. De esta manera, pueden complementar la vigilancia, la evaluación de riesgos y la epidemiología de campo, aportando evidencia adicional para apoyar la preparación, la planificación ante emergencias y la toma de decisiones durante una emergencia sanitaria (Backer, Engel, et al., 2012; Backer, Hagenaars, et al., 2012; Boender et al., 2007, 2010; Cardenas et al., 2024, 2025; Harvey et al., 2007; Iriarte Barbosa, 2026). Al combinarse con análisis económicos, los resultados de los modelos también pueden servir de apoyo para evaluar los costos y las consecuencias económicas de estrategias de control alternativas, proporcionando evidencia adicional para la toma de decisiones (Cardenas, de Menezes, et al., 2025; Rich & Winter-Nelson, 2007).

La modelización también puede servir de apoyo a la planificación de recursos, al estimar el personal, la capacidad de vacunación y otros recursos operativos necesarios en distintos escenarios de brotes y estrategias de control (Garner et al., 2016; Sanson et al., 2022). Esta aplicación resulta especialmente relevante en el contexto del desafío más amplio que supone garantizar una inversión adecuada y sostenible en los Servicios Veterinarios. El documento técnico presentado en la 93.ª Sesión General de la OMSA hizo hincapié en la importancia de reforzar la base empírica para fundamentar las decisiones de inversión y mejorar la atribución de recursos en el ámbito de la sanidad animal (Berthe et al., 2026). La modelización epidemiológica puede contribuir a esta base empírica anticipando las necesidades de recursos en diversos escenarios de brotes y estrategias de control, lo que facilita la toma de decisiones en materia de inversión y preparación antes de que se produzca una emergencia.

Sin embargo, la utilidad de los modelos no depende únicamente de disponer de herramientas técnicamente sofisticadas. Su aplicación efectiva en los Servicios Veterinarios requiere contar con datos adecuados y suficientemente confiables, capacidad para formular preguntas operativas relevantes, acceso a conocimientos especializados en modelización y capacidad para comprender los supuestos, la incertidumbre y las limitaciones de los modelos. Igualmente importante es la capacidad de transformar sus resultados en información útil para la toma de decisiones (Kao et al., 2023).

Este Tema Técnico es conforme con el 8.º Plan Estratégico de la OMSA (2027-2031), en particular con la segunda orientación estratégica, cuyo objetivo es fortalecer los sistemas de sanidad animal de los Miembros, así como su capacidad para prevenir, detectar y responder a emergencias zoosanitarias. Al respaldar la toma de decisiones basada en pruebas, la preparación y la gestión de emergencias, además de reforzar las capacidades y la cooperación en toda la región, la modelización epidemiológica puede contribuir a alcanzar dichos objetivos (Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), 2026).

En este contexto, el presente Tema Técnico utiliza la fiebre aftosa como ejemplo práctico para ilustrar cómo la modelización puede apoyar la preparación y la toma de decisiones. Su objetivo general es analizar el aporte

de estos modelos a la preparación, la respuesta ante emergencias y la planificación estratégica, contribuyendo así a una toma de decisiones basada en evidencia y a una mejor orientación de las inversiones en los sistemas de sanidad animal.

En particular, el Tema Técnico tiene por objetivo evaluar las capacidades, limitaciones y necesidades actuales de los Servicios Veterinarios de las Américas en relación con el uso de herramientas de modelización, así como analizar las posibilidades de integrar estos enfoques de manera más efectiva en los planes de preparación, los sistemas de vigilancia y los mecanismos de respuesta ante emergencias sanitarias, la planificación de recursos y las decisiones de inversión

3. Metodología

Con el objetivo de recopilar información sobre el uso de modelos epidemiológicos en las autoridades veterinarias e identificar las capacidades existentes, las principales limitaciones y las necesidades prioritarias para fortalecer su aplicación en la toma de decisiones en sanidad animal, se distribuyó un cuestionario estructurado entre los 33 Miembros de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas en 2026.

El cuestionario abordó el uso y la frecuencia de aplicación de modelos epidemiológicos, los objetivos para los cuales se han utilizado y las instituciones que brindan apoyo especializado en modelización. Asimismo, se evaluó la percepción de los Miembros sobre la relevancia y las posibles aplicaciones de estos modelos; las capacidades disponibles para su desarrollo e interpretación; el conocimiento de los criterios para evaluar su calidad y confiabilidad, y los factores que influyen en la confianza en los resultados obtenidos. Se prestó especial atención al potencial uso de la modelización para la preparación y respuesta ante una amenaza inminente de introducción del virus de la fiebre aftosa. Finalmente, se solicitó a los Miembros identificar los principales obstáculos para el uso de modelos y las áreas prioritarias para el fortalecimiento de capacidades.

Las respuestas se analizaron de forma descriptiva con el fin de identificar tendencias regionales; capacidades técnicas e institucionales existentes; obstáculos percibidos y áreas prioritarias para la cooperación regional, y el fortalecimiento de capacidades. En las preguntas que permitían seleccionar más de una opción, cada alternativa de respuesta se analizó de forma independiente.

4. Resultados

Un total de 26 de los 33 Miembros (79 %) de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas respondieron al cuestionario. La lista de los Miembros que respondieron figura en el anexo 1.

Las conclusiones de este cuestionario deben interpretarse teniendo en cuenta las siguientes limitaciones: en primer lugar, el cuestionario se basó en información proporcionada por los propios encuestados, en segundo lugar, siete de los 33 Miembros de la Comisión Regional no respondieron. Además, es posible que los encuestados hayan interpretado el concepto de «modelización epidemiológica» de distintas maneras, en función de su contexto institucional y su experiencia previa. Por consiguiente, los resultados deben entenderse como una indicación de las tendencias regionales, las prácticas declaradas y las necesidades percibidas en materia de fortalecimiento de capacidades, más que como una evaluación objetiva de las capacidades nacionales de modelización.

4.1. Uso actual de modelos epidemiológicos

La mayoría de las autoridades veterinarias de las Américas que respondieron a la encuesta ya utilizan modelos epidemiológicos. Veintidós de los 26 encuestados (85 %) indicaron que su autoridad veterinaria ha utilizado modelos epidemiológicos para apoyar la toma de decisiones en materia de sanidad animal. El uso de modelos se ha llevado a cabo a nivel interno en la autoridad veterinaria, a través de instituciones externas o mediante una combinación de las dos, siendo esta última la opción más frecuente (9/26; 35 %) (Figura 1, panel A). Cuatro encuestados (15 %) señalaron que su autoridad veterinaria nunca ha utilizado modelos epidemiológicos para la toma de decisiones.

Entre quienes informaron experiencia previa en el uso de modelos epidemiológicos (n=22), la preparación y planificación de contingencias fue el ámbito de aplicación mencionado con mayor frecuencia (73 %), seguida de la respuesta ante brotes, la planificación de recursos y la evaluación de las repercusiones económicas, aunque con menos frecuencia (Figura 1, panel B).

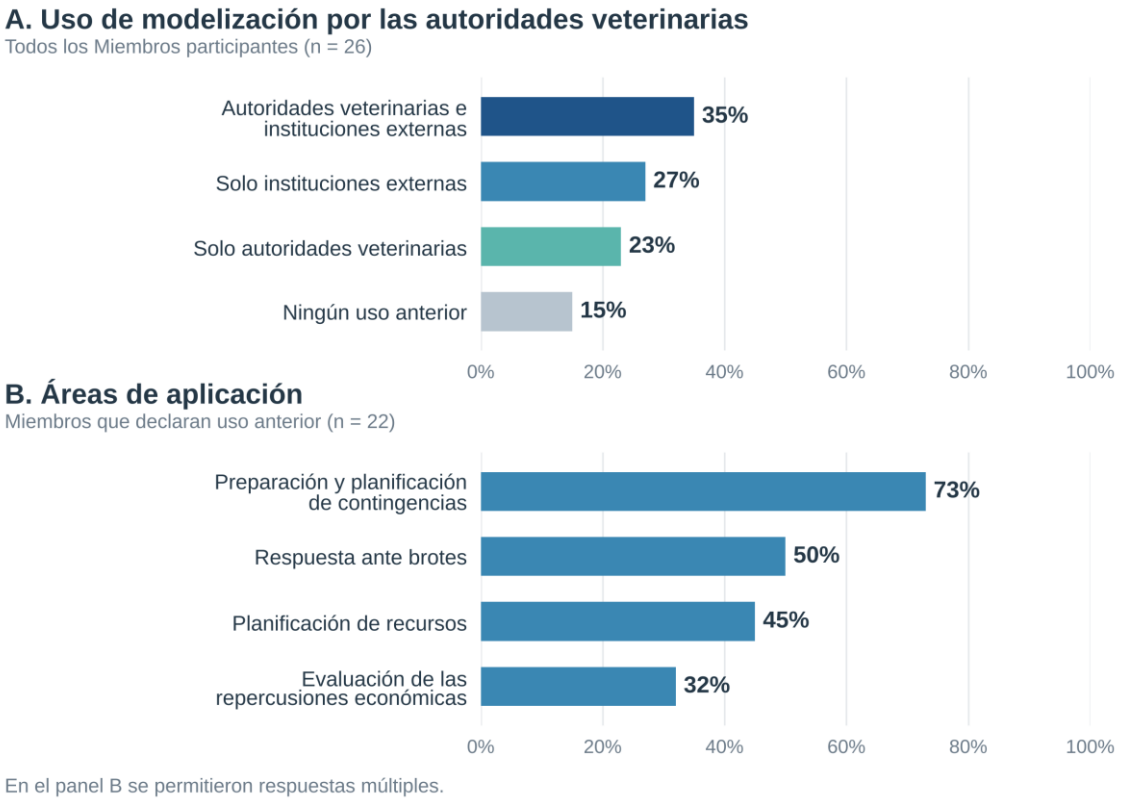


Figura 1 Uso actual de modelos epidemiológicos entre las autoridades veterinarias de las Américas que respondieron a la encuesta. (A) Uso de modelos epidemiológicos por parte de las autoridades veterinarias, instituciones externas o ambas (n = 26). (B) Áreas de aplicación señaladas por los encuestados que tienen experiencia previa en el uso de modelos epidemiológicos (n = 22). En el panel B se permitieron respuestas múltiples.

La frecuencia de uso varió entre los encuestados. Durante los últimos cinco años, 10 (38 %) indicaron haber utilizado modelos epidemiológicos una o dos veces, siete (27 %) entre tres y cinco veces y tres (12 %) más de cinco veces. Seis encuestados (23 %) indicaron desconocer con qué frecuencia se habían utilizado.

Los expertos en modelización provinieron de diferentes instituciones. La autoridad veterinaria fue mencionada con mayor frecuencia (15/26; 58 %), seguida de las organizaciones internacionales (12/26; 46 %), las universidades (11/26; 42 %) y los consultores externos (5/26; 19 %). Algunos encuestados también mencionaron otros organismos gubernamentales, institutos de investigación y laboratorios nacionales.

4.2. Relevancia percibida y posibles aplicaciones de los modelos epidemiológicos

Todos los encuestados consideraron que los modelos epidemiológicos son relevantes para el trabajo actual de las autoridades veterinarias. Trece (50 %) los consideraron altamente relevantes y una herramienta central para la toma de decisiones o la planificación, mientras que los otros 13 (50 %) los consideraron potencialmente relevantes, aunque sus autoridades veterinarias se basan principalmente en otras herramientas o protocolos establecidos.

Se observó un amplio consenso respecto al tipo de preguntas que los modelos epidemiológicos pueden ayudar a responder. Veinticinco encuestados (96 %) señalaron su utilidad tanto para comprender cómo podría propagarse una enfermedad dentro de un establecimiento o entre establecimientos, como para identificar las áreas geográficas, los sistemas de producción o las poblaciones animales con mayor riesgo de introducción o propagación. Asimismo, 21 encuestados (81 %) consideraron que los modelos pueden ser útiles para evaluar las posibles repercusiones de una detección tardía.

Los modelos también fueron considerados útiles para evaluar las repercusiones esperadas de diferentes estrategias de vacunación (20/26; 77 %), estimar el tamaño y la duración probable de un brote bajo distintas estrategias de control (20/26; 77 %) y evaluar los costos y beneficios de diferentes estrategias de intervención (20/26; 77 %). Asimismo, 19 encuestados (73 %) identificaron como posible aplicación la estimación de los recursos operativos necesarios para controlar un brote.

Al consultar a los encuestados sobre las áreas en las que los modelos epidemiológicos podrían aportar mayor valor a su trabajo, la preparación fue seleccionada por los 26 encuestados (100 %). La respuesta ante brotes fue seleccionada por 20 (77 %). Por su parte, 17 (65 %) seleccionaron la evaluación posterior al brote orientada a demostrar que las medidas adoptadas fueron adecuadas y que el brote había sido completamente controlado, mientras que 15 (58 %) seleccionaron la evaluación posterior al brote orientada a determinar la efectividad general y las repercusiones económicas de las medidas de control implementadas.

4.2.1. Necesidades de modelización ante una amenaza inminente de introducción

Como estudio de caso dentro del cuestionario, se preguntó a los encuestados qué solicitarían a un equipo de modelización si una incursión del virus de la fiebre aftosa representara un riesgo inminente para su país. La elaboración de mapas de riesgo para identificar las áreas con mayor riesgo de introducción y propagación fue la opción seleccionada con mayor frecuencia (23/26; 88 %).

Otras necesidades identificadas con frecuencia fueron la estimación de los recursos necesarios para controlar un brote y la comparación entre el sacrificio sanitario y la vacunación de emergencia (21/26; 81 % en ambos casos), así como la identificación de una estrategia óptima de vacunación de emergencia (19/26; 73 %) (Figura 2).



Figura 2 Resultados de modelización que las Autoridades Veterinarias solicitarían ante una amenaza inminente de introducción del virus de la fiebre aftosa. Se permitieron respuestas múltiples (n=26)

4.3. Capacidad para interpretar, desarrollar y evaluar modelos epidemiológicos

Veintidós de los 26 encuestados (85 %) indicaron contar con acceso a personal con capacidad para interpretar los resultados de modelos epidemiológicos, mientras que 19 (73 %) señalaron disponer de personal con capacidad para desarrollar estos modelos. En ambos casos, los conocimientos especializados podían estar disponibles dentro de la propia autoridad veterinaria, en instituciones externas o mediante una combinación de ambos (Figura 3).

El conocimiento de los criterios utilizados para evaluar la calidad y confiabilidad de los modelos epidemiológicos fue más limitado. La mayoría de los encuestados (19/26; 73 %) indicó estar parcialmente familiarizada con estos criterios, mientras que cinco (19 %) señalaron no estar familiarizados y solo dos (8 %) indicaron conocerlos (Figura 3).

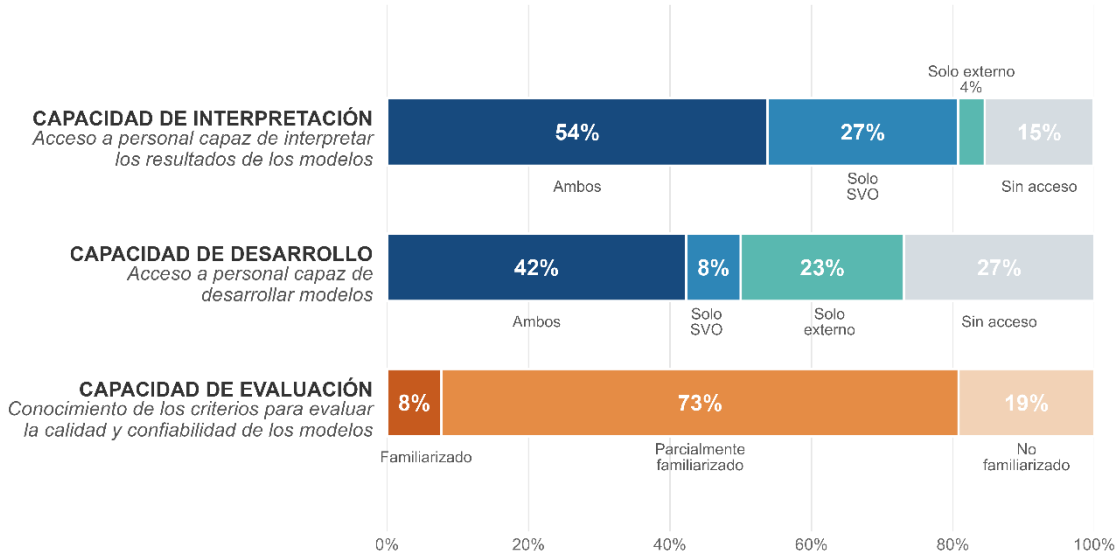


Figura 3 Capacidad de las Autoridades Veterinarias para interpretar y desarrollar modelos epidemiológicos, y conocimiento de los criterios para evaluar su calidad y confiabilidad (n=26)

4.4. Factores que influyen en la confianza en los resultados de los modelos

La calidad de los datos fue el principal factor señalado para generar confianza en los resultados de los modelos, y fue seleccionada por la totalidad de los encuestados (26/26; 100 %). Le siguieron la transparencia en la estructura, los supuestos y los métodos del modelo, el uso de datos epidemiológicos propios del país o basados en situaciones reales, y la comunicación clara de la incertidumbre asociada a los resultados, seleccionados por 19 encuestados (73 %) en cada caso.

También se consideraron importantes la descripción clara de las limitaciones de los modelos (18/26; 69 %), la participación de expertos en su desarrollo e interpretación (14/26; 54 %) y la validación mediante datos de brotes históricos o fuentes de información independientes (12/26; 46 %).

4.5. Obstáculos y necesidades para el fortalecimiento de capacidades

Una proporción importante de los encuestados identificó diversos obstáculos para la incorporación efectiva de modelos epidemiológicos en las autoridades veterinarias. La capacidad limitada del personal para interpretar los resultados fue el obstáculo señalado con mayor frecuencia (24/26; 92 %). Asimismo, la disponibilidad de financiamiento, la capacidad para desarrollar modelos, las limitaciones relacionadas con los datos y el acceso a herramientas de modelización fueron considerados factores importantes por una proporción elevada de los encuestados (Figura 4). En cambio, la falta de confianza en la confiabilidad y utilidad de los resultados presentó opiniones más diversas: 10 encuestados (38 %) la consideraron un obstáculo importante, 12 (46 %) adoptaron una posición neutral y cuatro (15 %) consideraron que no era importante.

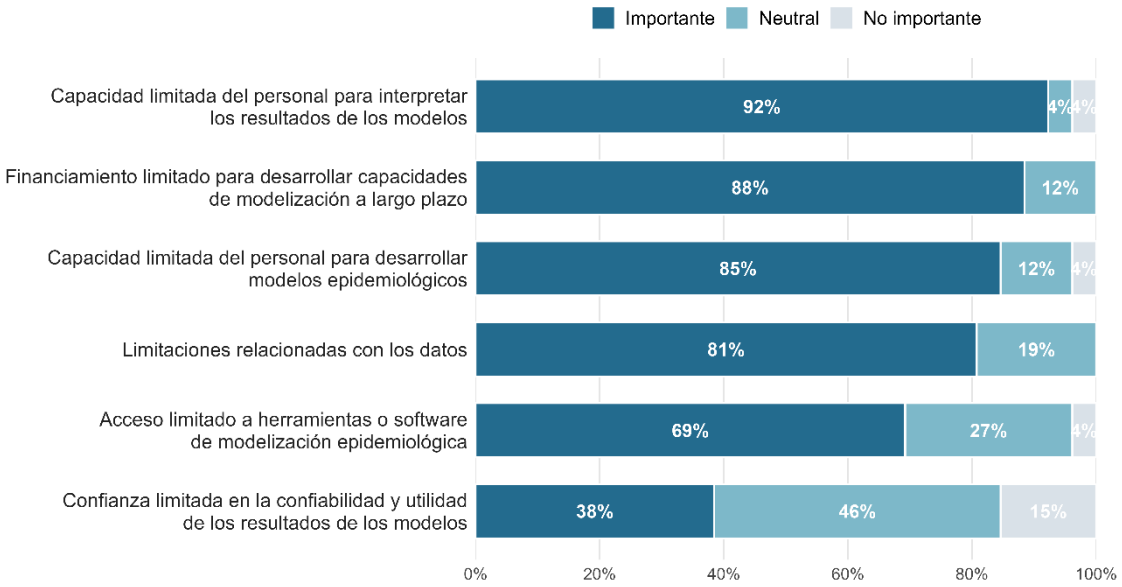


Figura 4 Importancia percibida de los posibles obstáculos para la incorporación efectiva de modelos epidemiológicos en las Autoridades Veterinarias (n=26)

Los 26 encuestados (100 %) manifestaron interés en fortalecer las capacidades de sus autoridades veterinarias en modelización epidemiológica. La formación para el desarrollo, uso e interpretación de modelos epidemiológicos fue la modalidad de apoyo señalada con mayor frecuencia (22/26; 85 %), seguida del acceso a herramientas de modelización de fácil uso (21/26; 81 %) y de orientaciones para incorporar los resultados de los modelos en la toma de decisiones (19/26; 73 %). También se identificaron otras necesidades relacionadas con el acceso a datos, el apoyo de expertos, la disponibilidad de modelos adaptados al contexto regional y la colaboración institucional (Figura 5).

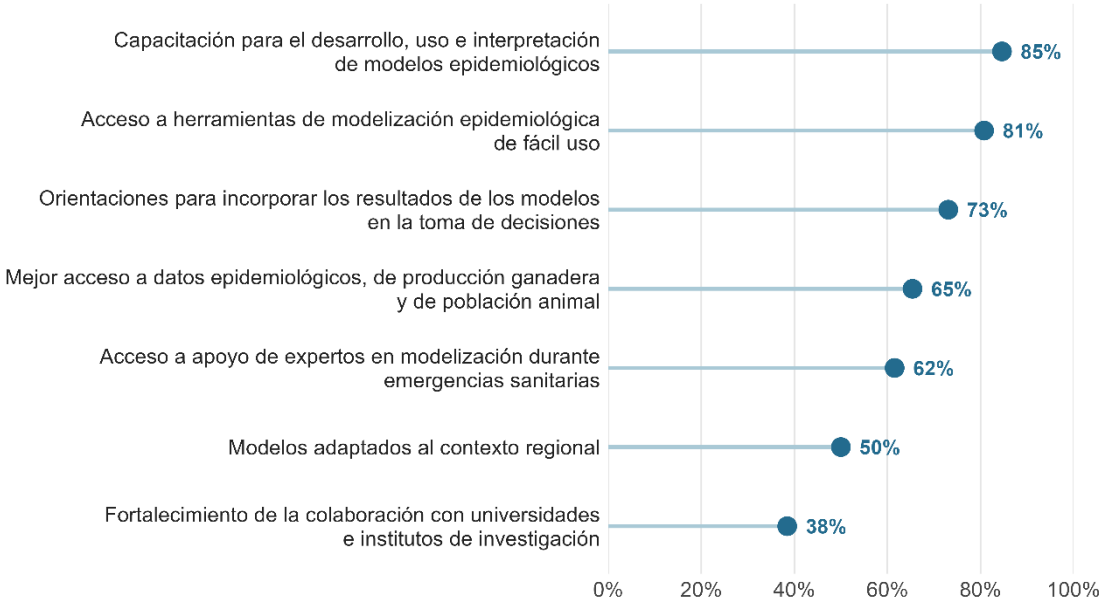


Figura 5 Modalidades de apoyo identificadas por las Autoridades Veterinarias para fortalecer las capacidades en modelización epidemiológica (n=26). Se permitieron respuestas múltiples

5. Discusión

El uso generalizado de modelos epidemiológicos notificado por los países de la región constituye una base importante para avanzar en su integración en los Servicios Veterinarios. La participación tanto de expertos internos como externos muestra, además, que las capacidades de modelización de los Miembros no deberían considerarse exclusivamente dentro de las autoridades veterinarias, sino también contemplar el aporte potencial de universidades, institutos de investigación, organizaciones internacionales y otros socios técnicos.

Aprovechar y fortalecer estas capacidades existentes podría constituir una estrategia viable para avanzar hacia un uso más sistemático de los modelos epidemiológicos como apoyo a la toma de decisiones en sanidad animal.

Sin embargo, la encuesta también indica que la modelización aún no se utiliza de manera sistemática en los Servicios Veterinarios. Si bien 22 de los 26 encuestados (85 %) afirmaron haber utilizado modelos epidemiológicos anteriormente, la mitad de los encuestados considera que la modelización puede ser relevante, más que un componente fundamental en sus procesos de toma de decisiones o planificación. Esto sugiere la importancia de promover las condiciones necesarias para que los modelos se integren de manera más habitual en la toma de decisiones relacionadas con la sanidad animal.

La preparación ante emergencias se destaca como un área particularmente relevante para la aplicación de modelos epidemiológicos. Esto adquiere especial importancia en el contexto actual de la IAAP y la fiebre aftosa en las Américas, donde mantener capacidades adecuadas de preparación y respuesta rápida resulta fundamental para preservar los logros sanitarios alcanzados en la región. Antes de que ocurra una emergencia, los modelos pueden utilizarse para explorar posibles escenarios de brotes, identificar áreas o poblaciones de mayor riesgo, evaluar las consecuencias de una detección tardía, comparar la relación coste-eficacia de las distintas estrategias de control, analizar alternativas de vacunación de emergencia y estimar los recursos que podrían ser necesarios (p. ej., requisitos en materia de existencias de vacunas, personal, sacrificio humanitario y eliminación de animales, capacidad de laboratorio, etc.) para una respuesta efectiva. (Backer, Engel, et al., 2012; Backer, Hagenaars, et al., 2012; Boender et al., 2010; Cardenas et al., 2021, 2026; Cardenas, Santos, et al., 2025; Iriarte Barbosa, 2026; Prosser et al., 2024; Rawson et al., 2025). La incorporación de estas aplicaciones de los modelos en ejercicios de simulacro permite poner a prueba las estrategias de respuesta y las capacidades operativas antes de que ocurra una emergencia sanitaria.

La importancia atribuida a la estimación de recursos en el cuestionario resulta particularmente relevante desde la perspectiva de la preparación ante emergencias. Frente a un escenario hipotético de amenaza inminente de introducción del virus de la fiebre aftosa, 21 de los 26 encuestados (81 %) indicaron que solicitarían estimaciones de los recursos necesarios para controlar un brote. La disponibilidad de recursos no constituye únicamente un aspecto logístico, sino que también puede influir en la evolución de una epidemia (Sanson et al., 2022). Al estimar las necesidades de recursos en diferentes escenarios de brotes y estrategias de control, la modelización puede ayudar a las autoridades veterinarias a identificar las deficiencias críticas de capacidad y evaluar cómo se podrían atribuir más eficazmente los recursos disponibles. Esto puede orientar las decisiones relativas a la dotación de personal, las existencias de vacunas, la capacidad de diagnóstico y otras necesidades operativas, así como ayudar a priorizar las inversiones para fortalecer la capacidad de preparación y respuesta (Boklund et al., 2017; Seitzinger et al., 2022). Al combinarse con análisis económicos, estas estimaciones también pueden contribuir a la selección de estrategias de control rentables (Cardenas, de Menezes, et al., 2025) y evaluar los posibles beneficios de invertir en preparación antes de que se produzca una emergencia (Gilbert et al., 2023). El conjunto de estas aplicaciones puede fortalecer la base empírica para la atribución de recursos y la toma de decisiones en materia de inversión, como señalan Berthe et al. (2026).

Si bien la preparación se identificó como el área en la que la modelización podría aportar mayor valor, los encuestados también señalaron aplicaciones importantes durante la respuesta ante un brote, así como en la evaluación y el análisis posteriores al mismo. Para que los modelos contribuyan de manera efectiva a la preparación y respuesta ante emergencias, su aplicación debería estar orientada por las decisiones que las autoridades veterinarias necesitan tomar, y no por la disponibilidad de determinadas técnicas de modelización. Preguntas como dónde es más probable que se propague una enfermedad, qué poblaciones deberían priorizarse, si corresponde implementar la vacunación de emergencia y de qué manera, o qué recursos podrían ser necesarios tienen implicancias operativas directas. Definir estas preguntas con anticipación puede contribuir a seleccionar el enfoque de modelización más adecuado, identificar los datos necesarios y asegurar que los resultados se generen con el nivel de detalle y en los plazos requeridos para la toma de decisiones. Esto resulta particularmente importante durante las emergencias sanitarias, cuando las decisiones deben tomarse con rapidez y, con frecuencia, en condiciones de considerable incertidumbre.

Este enfoque orientado a la toma de decisiones también tiene implicaciones para la forma en que se define la capacidad de modelización. No se trata únicamente de contar con capacidad para desarrollar modelos. En este sentido, si bien 22 de los 26 encuestados (85 %) identificaron la capacidad limitada del personal para desarrollar modelos como un obstáculo importante, las limitaciones para interpretar sus resultados fueron señaladas con mayor frecuencia (24/26; 92 %). En línea con estos resultados, entre las modalidades de apoyo más solicitadas se encontraron la capacitación para el desarrollo, uso e interpretación de modelos (22/26; 85 %) y la orientación para incorporar sus resultados en la toma de decisiones (19/26; 73 %).

Esta necesidad también se refleja en el conocimiento relativamente limitado de los criterios para evaluar la calidad y la fiabilidad de los modelos: 19 de los 26 encuestados (73 %) indicaron conocer estos criterios solo parcialmente, mientras que cinco (19 %) manifestaron no conocerlos. Las autoridades veterinarias se beneficiarían del refuerzo de competencias que van más allá del desarrollo de modelos. Es necesario contar con

capacidad para formular preguntas epidemiológicas y operativas relevantes, comprender los supuestos y las limitaciones de los modelos, interpretar críticamente sus resultados y evaluar si estos son adecuados para la decisión que se debe tomar. Por lo tanto, fortalecer estas competencias puede ser tan importante como aumentar la capacidad técnica para desarrollar modelos. En particular, fortalecer las capacidades de epidemiólogos y responsables de la toma de decisiones para comprender y evaluar críticamente los enfoques de modelización y sus resultados podría facilitar una interacción más efectiva con los especialistas en modelización y contribuir a reducir la brecha entre el desarrollo de los modelos y su aplicación en la práctica.

No todas las autoridades veterinarias necesitan obligatoriamente contar con capacidad interna para desarrollar modelos epidemiológicos complejos. En esta encuesta, 17 de los 26 encuestados (65 %) indicaron tener acceso a capacidades externas para el desarrollo de modelos, ya sea exclusivamente a través de otras instituciones o en combinación con capacidades disponibles dentro de las autoridades veterinarias. Mantener capacidades especializadas en modelización requiere conocimientos técnicos, software adecuado, infraestructura de datos e inversión sostenida, lo que puede resultar difícil de garantizar en todas las instituciones. En este contexto, un enfoque basado en la colaboración puede resultar más viable, combinando las capacidades especializadas disponibles en universidades, institutos de investigación, organismos gubernamentales u organizaciones regionales e internacionales con el conocimiento epidemiológico y las responsabilidades de la toma de decisiones en las autoridades veterinarias. En este esquema, las autoridades veterinarias mantienen un papel central en la definición del problema; la interpretación del contexto epidemiológico; la evaluación de la viabilidad operativa de las posibles intervenciones y, en última instancia, la utilización de la evidencia generada por los modelos para orientar las acciones.

La utilidad de estas colaboraciones dependerá no solo de la capacidad técnica disponible, sino también de la confiabilidad y pertinencia de la evidencia generada. Todos los encuestados (26/26; 100 %) identificaron la calidad de los datos como un factor importante para confiar en los resultados de los modelos, lo que lo convierte en el factor mencionado más frecuentemente que influye en la confianza en los resultados de la modelización. Esto subraya la importancia de utilizar datos adecuados y fiables para parametrizar y validar los modelos epidemiológicos. Del mismo modo, la transparencia en cuanto a la estructura y los supuestos del modelo, la consideración explícita de la incertidumbre y las limitaciones, así como el uso de datos que representen adecuadamente la población y los sistemas de producción analizados, resultan fundamentales para interpretar los resultados de manera correcta. Por consiguiente, los modelos deben evaluarse no solo en función de su rendimiento técnico, sino también en función de su idoneidad para la toma de decisiones específica que pretenden respaldar.

Por lo tanto, el fortalecimiento de capacidades debería ir más allá de la formación técnica para el desarrollo de modelos. Un enfoque más integral debería combinar la capacidad de interpretar y evaluar críticamente los modelos con el acceso a herramientas adecuadas, datos fiables y apoyo técnico, además de ofrecer orientación sobre cómo la evidencia derivada de los modelos puede fundamentar la toma de decisiones. Si bien el uso de herramientas intuitivas puede facilitar el acceso a la modelización, su uso adecuado requiere comprender los supuestos en los que se basan, los datos que requieren, la incertidumbre asociada a sus resultados y sus limitaciones. En definitiva, el fortalecimiento de capacidades debería orientarse a lograr que los conocimientos y herramientas de modelización puedan utilizarse efectivamente en la preparación y respuesta ante emergencias.

Este aspecto resulta particularmente relevante para la fiebre aftosa en América del Sur, donde los sistemas de producción ganadera pueden diferir de aquellos en los que se estimaron originalmente muchos de los parámetros de transmisión existentes. Las diferencias en la estructura poblacional, la densidad de la explotación y los patrones de contacto pueden influir en la transmisión de la enfermedad y en la eficacia de las estrategias de control (Keeling et al., 2001; Perez et al., 2004). Estudios recientes realizados en Uruguay, Brasil y Bolivia subrayan la importancia de generar evidencia epidemiológica que refleje los sistemas de producción regionales y de adaptar los enfoques de modelización a las condiciones locales (Cardenas et al., 2022; Cardenas, Santos, et al., 2025; Iriarte Barbosa, 2026).

La sostenibilidad a largo plazo es otra consideración importante. Mantener la capacidad de modelización requiere una inversión sostenida en personal, sistemas de datos, herramientas y colaboración institucional, así como oportunidades para aplicar y conservar las competencias en los periodos entre emergencias. Integrar la modelización en la planificación de contingencias y en los ejercicios de simulacro podría ofrecer un mecanismo práctico para hacerlo, permitiendo que las autoridades veterinarias y los equipos de modelización (internos o externos) colaboren en situaciones que no sean una emergencia, pongan a prueba estrategias alternativas, evalúen la disponibilidad de datos e identifiquen carencias de capacidad antes de que estas se vuelvan críticas durante un brote.

La cooperación regional podría fortalecer y sostener aún más la capacidad de modelización. En lugar de exigir que cada Miembro desarrolle de forma independiente todas las competencias especializadas, las redes regionales podrían facilitar el intercambio de conocimientos, enfoques metodológicos, herramientas y experiencias, así como el acceso a apoyo especializado cuando sea necesario. Los Centros Colaboradores de la

OMSA, junto con instituciones académicas y otros socios técnicos, podrían desempeñar un papel importante para facilitar la cooperación regional, aportando conocimientos técnicos y apoyando actividades de fortalecimiento de capacidades. Resulta particularmente importante establecer y poner en práctica estos mecanismos de colaboración durante las actividades de preparación, ya que comenzar a desarrollar vínculos de trabajo, acceder a los datos necesarios y definir las preguntas que deben responderse una vez iniciado un brote podría limitar la oportunidad y utilidad de los modelos para apoyar la toma de decisiones.

Por consiguiente, el papel potencial de la modelización abarca todo el ciclo de gestión de emergencias: desde la preparación y la planificación hasta la respuesta ante brotes y la evaluación posterior a los mismos. En este contexto, los modelos epidemiológicos y matemáticos deben considerarse una de las herramientas disponibles para apoyar la toma de decisiones en sanidad animal basadas en pruebas. Cuando se combina con análisis económicos, la modelización epidemiológica también puede servir de base para evaluar estrategias de control alternativas, la atribución de recursos y las decisiones en materia de inversión. Su aplicación debe complementar la vigilancia, la epidemiología de campo, la evaluación de riesgos, el conocimiento de los expertos y la experiencia operativa. Su utilidad dependerá de la formulación de preguntas relevantes, el uso de datos y métodos adecuados, la comprensión de los supuestos y la incertidumbre, y la capacidad de transformar los resultados en información oportuna y útil para la toma de decisiones. El reto para la región es, por lo tanto, fortalecer las capacidades y las condiciones institucionales necesarias para transformar la evidencia generada por los modelos en decisiones fundamentadas y acciones concretas.

6. Conclusiones

Los resultados de la encuesta regional ponen de relieve el potencial de la modelización epidemiológica para apoyar la toma de decisiones en materia de sanidad animal en las Américas. Muestran que las autoridades veterinarias de la región ya utilizan la modelización e identifican oportunidades para fortalecer su integración en las tareas de preparación, planificación de contingencias y respuesta ante emergencias.

El principal reto no consiste únicamente en garantizar el acceso a conocimientos especializados en modelización, sino también en transformar los resultados obtenidos mediante estos modelos en información pertinente y práctica para la toma de decisiones. Aprovechar las capacidades existentes y promover la cooperación regional podría contribuir a fortalecer la aplicación práctica de la modelización y favorecer la adopción de decisiones mejor fundamentadas en materia de prevención, preparación y respuesta ante emergencias en el ámbito de la sanidad animal en las Américas.

7. Referencias

Backer, J. A., Engel, B., Dekker, A., & van Roermund, H. J. W. (2012). Vaccination against foot-and-mouth disease II: Regaining FMD-free status. *Preventive Veterinary Medicine*, *107*(1–2), 41–50. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.05.013

Backer, J. A., Hagenaars, T. J., Nodelijk, G., & van Roermund, H. J. W. (2012). Vaccination against foot-and-mouth disease I: Epidemiological consequences. *Preventive Veterinary Medicine*, *107*(1–2), 27–40. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.05.012

Berthe, F., Essawy, N., Jeannin, M., Srivastava, R., & Tagliaro, E. (2026). *Investing in Animal Health to Secure Everyone's Future: A Financing Framework for Veterinary Services. Technical Item, 93rd General Session of the World Assembly of Delegates of WOAH*. https://www.woah.org/app/uploads/2026/04/gs93-2026-wd-tech-01-en.pdf

Boender, G. J., Hagenaars, T. J., Bouma, A., Nodelijk, G., Elbers, A. R. W., De Jong, M. C. M., & Van Boven, M. (2007). Risk maps for the spread of highly pathogenic avian influenza in poultry. *PLoS Computational Biology*, *3*(4), 704–712. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0030071

Boender, G. J., van Roermund, H. J. W., de Jong, M. C. M., & Hagenaars, T. J. (2010). Transmission risks and control of foot-and-mouth disease in The Netherlands: Spatial patterns. *Epidemics*, *2*(1), 36–47. https://doi.org/10.1016/j.epidem.2010.03.001

Boklund, A., Mortensen, S., Johansen, M. H., & Halasa, T. (2017). Resource Estimations in Contingency Planning for Foot-and-Mouth Disease. *Frontiers in Veterinary Science*, *4*. https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00064

Cardenas, N. C., de Menezes, T. C., Countryman, A. M., Lopes, F. P. N., Groff, F. H. S., Rigon, G. M., Gocks, M., & Machado, G. (2025). Integrating epidemiological and economic models to estimate the cost of simulated foot-and-mouth disease outbreaks in Brazil. *Preventive Veterinary Medicine*, *242*, 106558. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106558

Cardenas, N. C., Lopes, F. P. N., de Souza, P. A. S. C., Groff, F. H. S., Kowalski, A. P., Krein, A., Rigon, G., Etges, R. N., de Azevedo, D. L., Machado, A., Maran, V., Machado, F. A., SEAPI-DDA, & Machado, G. (2026). First highly pathogenic avian influenza outbreak in a commercial poultry farm in Brazil: Outbreak timeline, control actions, risk analysis, and transmission modeling. *Preventive Veterinary Medicine*, *251*. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2026.106848

Cardenas, N. C., Lopes, F. P. N., Machado, A., Maran, V., Trois, C., Machado, F. A., & Machado, G. (2024). Modeling foot-and-mouth disease dissemination in Rio Grande do Sul, Brazil and evaluating the effectiveness of control measures. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1468864

Cardenas, N. C., Pozo, P., Lopes, F. P. N., Grisi-Filho, J. H. H., & Alvarez, J. (2021). Use of network analysis and spread models to target control actions for bovine tuberculosis in a state from Brazil. *Microorganisms*, *9*(2), 1–21. https://doi.org/10.3390/microorganisms9020227

Cardenas, N. C., Santos, D. V. dos, Lima, D. M., Gutierrez, H. O. D., Vaca, D. R. G., & Machado, G. (2025). Foot-and-Mouth Disease in Bolivia: Simulation-Based Assessment of Control Strategies and Vaccination Requirements. *Transboundary and Emerging Diseases*, *2025*(1). https://doi.org/10.1155/tbed/9055612

Cardenas, N. C., Sykes, A. L., Lopes, F. P. N., & Machado, G. (2022). Multiple species animal movements: network properties, disease dynamics and the impact of targeted control actions. *Veterinary Research*, *53*(1), 14. https://doi.org/10.1186/s13567-022-01031-2

Centro Panamericano de Fiebre Aftosa y Salud Pública Veterinaria (PANAFTOSA-SPV), de la O. P. de la S. (OPS/OMS). (2025). *Programa Hemisférico de Erradicación de la Fiebre Aftosa - PHEFA: Plan de acción PHEFA 2026-2030.* https://iris.paho.org/handle/10665.2/70374

Garner, M. G., Bombarderi, N., Cozens, M., Conway, M. L., Wright, T., Paskin, R., & East, I. J. (2016). Estimating Resource Requirements to Staff a Response to a Medium to Large Outbreak of Foot and Mouth Disease in Australia. *Transboundary and Emerging Diseases*, *63*(1), e109–e121. https://doi.org/10.1111/tbed.12239

Gilbert, W., Adamson, D., Donachie, D., Hamilton, K., & Rushton, J. (2023). A Cost–Benefit Analysis of Preparing National Veterinary Services for Transboundary Animal Disease Emergencies. *Transboundary and Emerging Diseases*, *2023*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2023/1765243

Hagenaars, T. J., Dekker, A., de Jong, M. C. M., & Eblé, P. L. (2011). Estimation of foot and mouth disease transmission parameters, using outbreak data and transmission experiments. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, *30*(2), 467–477.

Harvey, N., Reeves, A., Schoenbaum, M. A., Zagmutt-Vergara, F. J., Dubé, C., Hill, A. E., Corso, B. A., McNab, W. B., Cartwright, C. I., & Salman, M. D. (2007). The North American Animal Disease Spread Model: A simulation model to assist decision making in evaluating animal disease incursions. *Preventive Veterinary Medicine*, *82*(3–4), 176–197. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.019

Iriarte Barbosa, M. V. (2026). *Transmission dynamics and emergency control in an FMDV-free country with pasture-based livestock production systems* [Wageningen University]. https://doi.org/10.18174/681134

Kao, R. R., Smith, G. C., & Walker, M. (2023). Infectious disease modelling to inform policy. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, *42*, 173–179. https://doi.org/10.20506/rst.42.3360

Keeling, M. J., Woolhouse, M. E. J., Shaw, D. J., Matthews, L., Chase-Topping, M., Haydon, D. T., Cornell, S. J., Kappey, J., Wilesmith, J., & Grenfell, B. T. (2001). Dynamics of the 2001 UK foot and mouth epidemic: stochastic dispersal in a heterogeneous landscape. *Science*, *294*(5543), 813–817. https://doi.org/10.1126/science.1065973.

Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). (2026). *La propagación de la fiebre aftosa hacia nuevas zonas es preocupante, pero las consecuencias podrían ser aún peores.* https://www.woah.org/es/articulo/la-propagacion-de-la-fiebre-aftosa-hacia-nuevas-zonas-es-preocupante-pero-las-consecuencias-podrian-ser-aun-peores/

Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). (2026). *8.° PLAN ESTRATÉGICO DE LA OMSA PARA EL PERIODO 2027-2031*. https://www.woah.org/es/documento/8-o-plan-estrategico/

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2025). *Actualización Epidemiológica Influenza aviar A(H5N1) en la Región de las Américas*. https://www.paho.org/sites/default/files/2025-03/2025-mar-4-phe-actualizacion-influenzaaviar-esp-final.pdf

Perez, A. M., Ward, M. P., & Carpenter, T. E. (2004). Epidemiological investigations of the 2001 foot-and-mouth disease outbreak in Argentina. *Veterinary Record*, *154*(25), 777–782. https://doi.org/10.1136/vr.154.25.777

Prosser, D. J., Kent, C. M., Sullivan, J. D., Patyk, K. A., McCool, M.-J., Torchetti, M. K., Lantz, K., & Mullinax, J. M. (2024). Using an adaptive modeling framework to identify avian influenza spillover risk at the wild-domestic interface. *Scientific Reports*, *14*(1), 14199. https://doi.org/10.1038/s41598-024-64912-w

Rawson, T., Morgenstern, C., Knock, E. S., Hicks, J., Pham, A., Morel, G., Murillo, A. C., Sanderson, M. W., Forchini, G., FitzJohn, R., Hauck, K., & Ferguson, N. (2025). A mathematical model of H5N1 influenza transmission in US dairy cattle. *Nature Communications* , *16*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-025-59554-z

Red de laboratorios de referencia de la OMSA/FAO para la fiebre aftosa. (2026). *2026 Foot-and-mouth disease quarterly report: enero–febrero–marzo*.

Rich, K. M., & Winter-Nelson, A. (2007). An Integrated Epidemiological-Economic Analysis of Foot and Mouth Disease: Applications to the Southern Cone of South America. *American Journal of Agricultural Economics*, *89*(3), 682–697. https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.01006.x

Sanson, R. L., Rawdon, T. G., van Andel, M., & Yu, Z. (2022). Modelling the field personnel resources to control foot-and-mouth disease outbreaks in New Zealand. *Transboundary and Emerging Diseases*, *69*(6), 3926–3939. https://doi.org/10.1111/tbed.14764

Seitzinger, A., Garner, M., Bradhurst, R., Roche, S., Breed, A., Capon, T., Miller, C., & Tapsuwan, S. (2022). FMD vaccine allocation and surveillance resourcing options for a potential Australian incursion. *Australian Veterinary Journal*, *100*(11), 550–561. https://doi.org/10.1111/avj.13195

Anexo 1. Miembros de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas que respondieron al cuestionario

En total, 26 de los 33 Miembros de la Comisión Regional de la OMSA para las Américas (79 %) respondieron al cuestionario sobre el uso de modelos epidemiológicos en los Servicios Veterinarios.

A continuación se presentan los Miembros que respondieron en orden alfabético:

1. Argentina
2. Bahamas
3. Belice
4. Bolivia
5. Brasil
6. Canadá
7. Chile
8. Colombia
9. Costa Rica
10. Curazao
11. Ecuador
12. El Salvador
13. Estados Unidos de América
14. Francia
15. Guatemala
16. Honduras
17. Jamaica
18. México
19. Panamá
20. Paraguay
21. Perú
22. República Dominicana
23. Saint Lucía
24. Saint Vincent y las Granadinas
25. Trinidad y Tobago
26. Uruguay

Nota: Esta lista reconoce la participación de los Miembros en el cuestionario. Los resultados de la encuesta se presentan de forma agregada, sin atribuir las respuestas individuales a Miembros específicos.