

UTILIZACIÓN DE MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS PARA LA GESTIÓN DE LAS ENFERMEDADES ANIMALES

C. Dubé^(a), G. Garner^(b), M. Stevenson^(c), R. Sanson^(d), C. Estrada^(e), P. Willeberg^(f)

^(a)Agencia de Inspección Alimentaria de Canadá¹

^(b)Departamento de Agricultura, Pesca y Bosques de Australia²

^(c)Universidad de Massey, Palmerston North, Nueva Zelanda³

^(d)AgriQuality Ltd., Nueva Zelanda⁴

^(e)Departamento de Agricultura de Estados Unidos⁵

^(f)Jefe de Servicios Veterinarios de Dinamarca⁶

Original: inglés

Resumen: *Los modelos se usan frecuentemente como instrumento para evaluar diversas actividades de gestión de las enfermedades. El valor de los modelos epidemiológicos reside en su capacidad de estudiar hipótesis y de hacer que los responsables de tomar decisiones sepan de antemano qué consecuencias tendrán las incursiones de las enfermedades y qué impacto tendrán las estrategias de control.*

Para que sean útiles, los modelos deben ajustarse al propósito buscado y deben ser verificados y validados de modo apropiado.

La complejidad y variabilidad intrínsecas de los sistemas biológicos deberían limitar el uso de los modelos como instrumento de predicción durante el brote real. Los modelos serán más útiles antes del brote, en particular, para el análisis retrospectivo de los brotes previos, la planificación de emergencias y de recursos, la evaluación de riesgos y la capacitación. Los modelos son sólo un instrumento para obtener un asesoramiento científico y sus resultados deben ser evaluados junto con los datos obtenidos con estudios experimentales, la experiencia práctica y los conocimientos científicos.

La validación de los modelos epidemiológicos es importante para confiar en los resultados obtenidos con ellos. La colaboración internacional puede ayudar a resolver los problemas de la validación y a mejorar la utilidad de los modelos para la gestión de enfermedades. Es importante señalar que la mayoría de los Países Miembros de la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal) consideran que la OIE tiene un papel que desempeñar para desarrollar directrices destinadas a elaborar, verificar, validar y aplicar modelos.

Palabras clave: modelo epidemiológico – modelado – modelización – simulación

1 Dr Caroline Dubé, Epidemiologist, Animal Health Division, Disease Control Section, Canadian Food Inspection Agency, 59 Camelot, Ottawa, Ontario, K1A 0Y9, Canadá
 2 Dr Graeme Garner, Department of Agriculture Fisheries and Forestry Australia (DAFF), GPO Box 858, Canberra ACT 2601, Australia
 3 Dr Mark Stevenson, Massey University, Private Bag 11-222, Palmerston North, Nueva Zelanda
 4 Dr Robert Sanson, AgriQuality Limited, Batchelar Centre, Tennent Drive, PO Box 585, Palmerston North, Nueva Zelanda
 5 Dr Conrad Estrada, United States Department of Agriculture, 4700 River Road, Unit 41, Riverdale, MD, 20737, Estados Unidos de América
 6 Dr Preben Willeberg, Chief Veterinary Officer, Danish Veterinary and Food Administration, Mørkhøj Bygade 19, DK-2860 Søborg, Dinamarca

1. Introducción

Los Códigos sanitarios de la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal) se refieren en sus capítulos de carácter general a conceptos como el “análisis de riesgo”, “rendimiento de los servicios veterinarios”, “responsabilidad y transparencia de la toma de decisiones”, “programas de intervención de emergencia en caso de epizootia”, “programas de seguimiento continuo o vigilancia epidemiológica”, etc.

Los Servicios Veterinarios, por consiguiente, necesitan contar con instrumentos para prepararse y enfrentar eficazmente estos problemas. Los adelantos electrónicos y tecnológicos, así como el progreso científico en el conocimiento y análisis de las situaciones patológicas de los animales y su gestión, son elementos importantes para ir mejorando las prestaciones y la adaptación de los Servicios Veterinarios para servir a la sociedad lo mejor posible. Algunos de estos instrumentos avanzados pueden necesitar que los operarios cuenten con conocimientos especializados y, de todos modos, requieren un acceso a los conocimientos apropiados, dentro o fuera de los Servicios Veterinarios.

Uno de estos instrumentos son los “modelos epidemiológicos”. Varios Países Miembros de la OIE ya tienen experiencia con ellos y la literatura científica contiene muchos ejemplos de modelos que han sido aplicados a diversas situaciones de enfermedades animales. Obviamente, países o servicios veterinarios con menos experiencia podrían beneficiarse de un estudio sobre las ventajas y riesgos que van asociados con este instrumento, así como de saber qué tipos de decisiones de gestión pueden apoyarse en tales modelos.

El presente documento pasa revista a los usos posibles de los modelos como instrumento de apoyo para formular una política de lucha contra las enfermedades y presenta la experiencia de recurrir al modelo para luchar contra la fiebre aftosa en el Reino Unido en 2001. También se exponen las iniciativas internacionales actuales con miras a mejorar los vínculos entre los modelos y la formulación de políticas, así como los resultados de un cuestionario de la OIE sobre el uso de los modelos.

2. Argumentos a favor del uso de modelos para la gestión de las enfermedades animales

Los modelos proporcionan un encuadre para desarrollar y comunicar ideas sobre el comportamiento de un sistema particular [12].

En el caso de las enfermedades animales, de sobra se sabe que son resultado de una interacción entre el agente, el hospedador y el medio ambiente. Así pues, los modelos constituyen una base lógica y de bajo coste para estudiar esas interacciones, evaluar sus impactos y ensayar las respuestas a las intervenciones.

La respuesta que se ha dado en general a los brotes de enfermedades graves, como la fiebre aftosa, la peste porcina clásica o la influenza aviar altamente patógena, ha consistido en imponer restricciones a la circulación de los animales y en sacrificar a los animales. Desde el caso de la fiebre aftosa en 2001, en el Reino Unido, el sacrificio masivo de animales para luchar contra la enfermedad ha sido puesto en entredicho por motivos tanto políticos como económicos, éticos, ecológicos y de bienestar. Como resultado, las directrices internacionales relativas a la lucha contra la fiebre aftosa toleran ahora otras opciones, como la vacunación de urgencia, para facilitar el restablecimiento del comercio.

Los administradores sanitarios y los políticos necesitan examinar y evaluar alternativas que tomen en cuenta estas preocupaciones y que incluyan la vacunación de urgencia como medio de reducir el número de animales eliminados. Además, se reconoce ahora en general que la rapidez con que se tomen las decisiones en caso de enfermedades de este tipo, determinará a menudo el éxito del programa de erradicación. Evaluar las posibles consecuencias de los brotes de enfermedad y poner a prueba de antemano las distintas opciones de control ayudaría a limitar la propagación de las enfermedades.

Ahora bien, no es nada fácil evaluar las alternativas, puesto que es necesario considerar una amplia gama de cuestiones, a saber: recursos necesarios, implicaciones comerciales y económicas, acceso a la tecnología apropiada (vacunas o medios de diagnóstico), preocupaciones de los consumidores, ramificaciones en la salud pública. A los países exportadores les preocupa en particular la actitud de sus socios comerciales, ya que el principal impacto económico de enfermedades como la fiebre aftosa radica en la posible pérdida de mercados, más que en la disminución de la productividad que causa la enfermedad en sí. En el caso de las enfermedades zoonóticas, podría ser necesario considerar también los problemas de higiene y seguridad en el trabajo. Por último, las medidas de control suelen seleccionarse partiendo de un compromiso entre el hecho de que deben aplicarse a gran escala y lo que es viable, logística y económicamente. Está claro que resulta difícil plantear opciones políticas en tales circunstancias. Al considerar las estrategias de control sanitario, es importante que sean tomados en cuenta los intereses de todas las partes implicadas y todos los costes [7].

Los modelos son útiles y pueden auxiliar en este tipo de evaluación. En un contexto político, es corriente vincular los modelos económicos con los epidemiológicos. Efectivamente, están publicados muchos estudios de este tipo, que evalúan las estrategias de lucha de emergencia contra enfermedades como la peste porcina y la fiebre aftosa [1, 16].

3. Definición de “modelo epidemiológico”

La definición de “modelo epidemiológico” es de primera importancia para este tema técnico, pero no parece que exista tal definición para el ámbito veterinario.

Los modelos epidemiológicos se definen como una representación matemática o lógica de la epidemiología de la transmisión de la enfermedad y de los procesos que van asociados con ella. Estos modelos cuantitativos dan una representación de la dinámica de la transmisión de las enfermedades entre los animales o entre grupos de animales, en el tiempo o en el espacio, o ambas cosas.

Por consiguiente, un modelo epidemiológico facilita la evaluación de la eficacia de las medidas potenciales de control y calcula la futura magnitud, duración y el alcance geográfico de una enfermedad, dada la aplicación de medidas de control específicas.

Sin embargo, en relación con la gestión sanitaria, los modelos epidemiológicos podrían definirse de modo más amplio para incluir una serie de modelos estadísticos o matemáticos, que no se limitan necesariamente a describir la propagación de la enfermedad. Otros aspectos que habría que considerar son, por ejemplo, el diseño de los sistemas de vigilancia.

4. Panorama de los modelos epidemiológicos

Todos los modelos son, intrínsecamente, simplificaciones de sistemas más complejos. Los modelos de enfermedad pueden ser clasificados en varias categorías según cómo traten el carácter aleatorio o la variabilidad, el tiempo, el espacio y la estructura de la población. El enfoque adoptado variará entre un modelo matemático determinista y una simulación estocástica, compleja y espacialmente explícita, con todos los matices que caben entre ambos extremos.

El tipo de modelo que resultará más apropiado para una situación dada dependerá del tipo de problema que se estudie. Por ejemplo, los modelos deterministas, que se basan en promedios o en parámetros supuestos, pueden ser útiles para entender la dinámica básica de las infecciones, pero tienen una utilización más limitada como instrumento de pronóstico, ya que cada epidemia es única y es poco probable que siga una pauta “media” [7]. No obstante, cuando se dispone de conocimientos epidemiológicos y de datos de calidad, es posible desarrollar modelos más elaborados que proyecten una gama de epidemias posibles.

Las computadoras son cada vez más sofisticadas y cada vez se conoce mejor la importancia de los elementos espaciales para la propagación de las enfermedades. Además, las estrategias delimitadas en el espacio, como la vacunación de emergencia en anillo o el sacrificio contiguo, despiertan interés, lo que significa que los modelos que tienen componentes espaciales están cobrando mayor importancia en los estudios epidemiológicos [8]. Asimismo, los modelos basados en redes son relativamente recientes pero cada vez se recurre más a ellos para estudiar la propagación de las enfermedades por redes de contacto [12].

Para construir un modelo, hay que empezar haciendo preguntas específicas que ayudarán a fijar su demarcación. La selección del modelo dependerá de lo bien que se conozca la epidemiología de la enfermedad, de la cantidad y calidad de los datos disponibles y de los antecedentes de quienes construyan el modelo. El grado de complejidad que debe darse al modelo es todo un arte, tanto como una ciencia. Añadir elementos puede aumentar la complejidad sin necesariamente mejorar la calidad. Pero, por otro lado, ignorar factores que son claramente importantes para la epidemiología de una enfermedad puede hacer que el funcionamiento del modelo sea erróneo [7].

Una etapa crucial en el desarrollo de un modelo es el proceso de verificación y validación, para comprobar que se comporta igual que el sistema que debe representar. La verificación se define como el proceso que garantiza que la lógica, las fórmulas y los códigos informáticos del modelo reproducen correctamente el marco lógico concebido por el diseñador [21]. La validación consiste en comprobar que el modelo es “tan real como la vida misma” [21]. Lo que implica que los supuestos subyacentes en el modelo son correctos y que la representación que hace el modelo del sistema estudiado es razonable para el propósito perseguido. De modo más completo, se considera que la “validez de los datos” trata la exactitud de los datos empleados para construir y parametrizar el modelo, que la “validez conceptual” considera la lógica matemática y

epidemiológica sobre la que se ha construido el modelo y que la “validez operativa” es la aptitud del modelo, al ser aplicado, para producir resultados de exactitud suficiente.

5. Aplicación de los modelos epidemiológicos

Recurrir a los modelos en el campo de la sanidad animal es sobre todo beneficioso si se emplean, entre una epidemia y la siguiente, como instrumento para facilitar el análisis retrospectivo, o bien durante una epidemia, para entender mejor su evolución [14]. Así se pueden combinar grandes cantidades de información, estructurándolas, y se pueden desarrollar hipótesis para comparar distintas estrategias y su aplicación a diferentes situaciones, por ejemplo, ¿qué es mejor: seguir una estrategia de sacrificio como prevención o hacer análisis y después sacrificar animales? De esta manera, los responsables de tomar decisiones dispondrán de directrices en las que pueden basarse para tomar medidas de control y que pueden combinarse con la experiencia y los conocimientos de los veterinarios, pero no reemplazarlos.

Los modelos pueden contribuir a controlar mejor las enfermedades, de esta manera [21]:

- análisis retrospectivo de brotes anteriores y evaluación de las estrategias de control,
- estudiando estrategias diferentes en situaciones hipotéticas (preparación de planes de contingencia),
- estudiando las necesidades en términos de recursos para cada estrategia, en situaciones hipotéticas (planificación de recursos),
- evaluación de riesgos para identificar las áreas prioritarias, las que pueden correr mayor riesgo, para definir mejor las actividades de previsión y vigilancia,
- evaluación de la eficiencia de varias estrategias de vigilancia,
- apuntalando los estudios de impacto económico,
- en la capacitación, para servir como hipótesis realistas para hacer ejercicios y comunicar principios de epidemiología y control sanitario,
- proporcionando un apoyo táctico durante una epidemia, mediante el análisis y la puesta a prueba de las hipótesis, pero con cuidado.

Los modelos pueden emplearse retrospectiva o prospectivamente [23]. En el primer caso, se trata de hacer cuadrar ecuaciones matemáticas con los datos epidemiológicos y de proceder a una interpretación cuantitativa de los datos. Los modelos prospectivos pueden ser predictivos si emplean datos sobre la situación actual como base para predecir el curso de una enfermedad, o bien exploratorios, si elaboran una serie de hipótesis epidemiológicas en lugar de focalizarse sobre un incidente en particular. Estos son los modelos que suelen usarse para la planificación de urgencias. A continuación presentamos ejemplos de diferentes tipos de modelos.

- Un modelo de regresión logística fue desarrollado para determinar la distribución en Europa de *Culicoides imicola*, que es un vector de varios arbovirus, como el de la lengua azul y el de la peste equina [22]. Se trataba de conocer su distribución antes de que brotasen las enfermedades, para definir las medidas de control (como la vacunación, el empleo de insecticidas y de repelentes de insectos, etc.) de manera más específica y eficiente. Se utilizaron variables climáticas y variables derivadas de las imágenes obtenidas por satélite. Este tipo de modelo puede ayudar a definir las medidas de vigilancia y control.
- En Países Bajos, se empleó un modelo de simulación estocástico (InterCSF) para reproducir el brote de peste porcina de 1997-98. Fueron evaluadas varias estrategias de sacrificio y vacunación y se estableció una relación entre el modelo epidemiológico y un modelo económico [17, 18]. El resultado más importante que se desprende de estos estudios es que el sacrificio preventivo sería una estrategia eficaz para reducir el tamaño de la epidemia si se aplicase en las primeras fases del programa de control. Desde el punto de vista económico, no es una medida tan costosa como se podría suponer, porque el tamaño de la epidemia se reduce, así como los sacrificios por motivos de bienestar. La vacunación de urgencia se presentó como alternativa eficaz para reducir el tamaño de una epidemia, aunque, en virtud de la legislación de la Unión Europea, la reducción de costes que se obtiene al reducir el número de sacrificios por motivos de bienestar quedaría contrarrestada por la necesidad de sacrificar a los animales vacunados. Aceptar el comercio con la carne de los animales vacunados (partiendo de que la prueba de diagnóstico sea fiable) resultó ser mucho más barato que las demás estrategias y, además, desde la perspectiva ética, limita la necesidad de suprimir a animales sanos [1].

- Yoon *et al.* [24] recurrieron a InterSpread Plus, un modelo estocástico de simulación espacial de la propagación de una enfermedad entre explotaciones. Se trataba de evaluar el efecto de las estrategias alternativas para controlar la epidemia de fiebre aftosa de 2002 en la República de Corea. Empezaron con una copia de la epidemia como referencia para evaluar cómo predecía cada estrategia el impacto, en tamaño y duración, de la epidemia. La vacunación en anillo (utilizada con sacrificio preventivo limitado o extensivo) reducía tanto el tamaño como la variabilidad del número de explotaciones infectadas que pronosticaba. Reducir el intervalo de tiempo entre la incursión de la enfermedad y el comienzo del control era lo que surtía mayor efecto para reducir el número previsto de explotaciones infectadas.
- En Australia, varios estudios [9] muestran que, en algunos casos, las medidas de control, tales como la vacunación de urgencia, si se combinan con el sacrificio sanitario, pueden reducir el tamaño de los focos de fiebre aftosa y el número de animales que hay que sacrificar para erradicar la enfermedad. Sin embargo, según las directrices comerciales internacionales, el efecto de cerrar el mercado significa que es un enfoque anti-económico, si se compara con el sacrificio sanitario solo. Abdalla *et al.* [1] usaron modelos epidemiológicos y económicos para estudiar las situaciones en que la vacunación podría ser rentable, tomando en cuenta la importancia de los recursos. Compararon tres estrategias de control en las que intervenía el sacrificio sanitario, con o sin vacunación de urgencia, en una región ganadera de Australia. Se barajaron las limitaciones de recursos, distintos niveles de gravedad del brote y el tiempo transcurrido hasta la primera detección. Del estudio se desprende que la vacunación puede ser una opción rentable si la propagación de la enfermedad es rápida y si los recursos disponibles son insuficientes para mantener un sacrificio sanitario efectivo. En tales condiciones, es probable que la enfermedad se extienda y que los mercados acaben estando cerrados durante períodos largos. El estudio hace hincapié en la importancia de la detección precoz como factor clave que influye en la probabilidad de la contención.
- Los modelos se utilizan también en América del Norte como ayuda para la preparación de planes de contingencia. En octubre de 2006, se utilizó el modelo NAADSM (siglas en inglés de “modelo norteamericano de propagación de enfermedades animales”¹) [10] para simular un brote de influenza aviar altamente patógena en el Estado de Georgia. La simulación fue empleada para calcular el alcance y el impacto potenciales que tendría un brote de influenza aviar, en un ejercicio teórico organizado por el personal de la reserva veterinaria nacional (*National Veterinary Stockpile*) del Departamento de Agricultura estadounidense, con el Departamento de Agricultura del Estado de Georgia. El propósito del ejercicio era identificar los recursos que se necesitarían durante un brote de la enfermedad, para poner a prueba algunos aspectos del plan de contingencia de Georgia con los órganos federales y estatales y los representantes de la industria avícola, así como para poner a prueba la capacidad de su personal y de sus métodos de gestión de recursos. El ejercicio contribuyó a que los que participaron en él entendiesen mejor cuáles son sus responsabilidades y también a identificar las lagunas en los planes de contingencia, tanto federales como del Estado de Georgia [7].

6. Los modelos y la epidemia de fiebre aftosa de 2001 en el Reino Unido

Los modelos se utilizan desde hace muchos años como instrumento en epidemiología veterinaria, pero han atraído raramente la atención porque han quedado confinados a estudios hipotéticos o han sido utilizados retrospectivamente para analizar brotes pasados [7]. La epidemia de fiebre aftosa que se declaró en 2001 en el Reino Unido fue la primera ocasión en que fueron desarrollados modelos durante la epidemia y se utilizaron para orientar las medidas de control. La experiencia ha sido controvertida. Algunos autores alaban la importancia de la contribución de los modelos [11] y otros la han criticado [14]. Desafortunadamente, una de las consecuencias de la experiencia británica ha sido que los modelos han sido puestos en tela de juicio y se ha perdido confianza en las opiniones científicas que se basan en ellos.

El punto sobre el que más se ha discutido al tratar el uso de los modelos en 2001 es la gran cantidad de animales aparentemente sanos que fueron sacrificados para poner la fiebre aftosa bajo control de manera ostensible, lo que provocó una conmoción entre el público. Los costes financieros y sociales llevaron a modificar la legislación nacional e internacional y las directrices para controlar epidemias en el futuro [14]. Esta experiencia también dio lugar a opiniones de todo tipo sobre la validez y la utilidad de los modelos y sus pronósticos [11, 21].

Al principio del brote, los resultados obtenidos por un modelo matemático predictivo [5, 6] fueron presentados como la evidencia que demostraba que la epidemia estaba descontrolada y que las medidas que se estaban

1 NAADSM: *North American Animal Disease Spread Model*

aplicando no bastaban. Se recomendó proceder a un sacrificio rápido en las explotaciones supuestamente infectadas y en todas las explotaciones contiguas a éstas [5, 6]. Fueron tomadas medidas agresivas de control, basadas en el sacrificio de los animales susceptibles en las explotaciones infectadas (en un plazo de 24 horas) y en el sacrificio preventivo en las explotaciones peligrosas en contacto y en las adyacentes a las infectadas (sistema de “sacrificio contiguo”) en un plazo de 48 horas [11]. Ésta es la política que se apuntó el mérito de haber puesto la epidemia bajo control [6]. Los análisis posteriores, no obstante, han tachado los sacrificios efectuados en las explotaciones contiguas a las infectadas de “política ciega” [2] y se ha cuestionado la necesidad de aplicar un programa extensivo de sacrificio, en particular en las explotaciones contiguas [15].

Se ha sugerido que, a la sazón, los modelos no estaban validados, en particular para la cepa viral de tipo O panasiático, y que contenían simplificaciones y supuestos que deformaban los resultados e influían excesivamente en las conclusiones sobre la eficacia de las diferentes estrategias [14, 21]. Por ejemplo, un estudio reciente muestra que las instalaciones cercanas a una explotación infectada no se infectan obligatoriamente: un porcentaje significativo se mantiene no infectado, incluso bajo una presión infecciosa intensa [20]. Estos resultados retrospectivos dan a entender que el sacrificio selectivo de los contactos peligrosos podría haber sido una alternativa viable al sacrificio masivo.

7. La colaboración internacional para evaluar los modelos

Como parte del proceso destinado a mejorar la capacidad de enfrentarse a las urgencias en materia de enfermedades animales, los países del “cuadrilátero” (“Quad”) conformado por Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos, celebraron un taller sobre la elaboración de modelos para la fiebre aftosa y la elaboración de líneas de orientación, en Canberra, Australia, en marzo de 2005. Los objetivos del taller consistían en presentar a los políticos los modelos de simulación de enfermedades que han desarrollado para la planificación de contingencias los miembros del “Quad” y en pasar revista a las estrategias actuales de reacción ante la fiebre aftosa. Uno de los principales resultados del taller fue la creación de un grupo técnico compuesto por epidemiólogos de los países del “Quad” y de Irlanda y el Reino Unido. Después del taller, el grupo técnico elaboró un programa de trabajo que incluía un proyecto para verificar y validar conjuntamente modelos que se utilizarían en sus respectivos países para desarrollar una política sobre la fiebre aftosa [4].

Desafortunadamente, no existe un enfoque formal para validar modelos de este tipo. No hay un conjunto de pruebas específicas que puedan aplicarse fácilmente para determinar si un modelo dado es “correcto”. Los tres grupos del “Quad” están verificando y validando sus propios modelos, o ya lo han hecho, mediante análisis de sensibilidad, revisión por expertos de los supuestos y cotejando los resultados obtenidos por los modelos con los datos reales sobre los brotes de fiebre aftosa. Comparar los pronósticos del modelo con los datos reales sigue siendo la manera ideal de comprobar su validez, pero si se demuestra un grado de congruencia entre modelos que han sido desarrollados independientemente unos de otros, los políticos podrían confiar en la coherencia de las suposiciones de los autores de los modelos. Y viceversa: las diferencias entre los resultados obtenidos por los modelos resaltan las diferencias entre las suposiciones, que deben ser resueltas por los autores de los modelos y por los investigadores, y ayudan a focalizar mejor las actividades futuras de investigación [4].

Ha sido realizada una comparación formal entre tres modelos de simulación espacial empleados para la fiebre aftosa, a saber, el de Australia: AusSpread [8], el de Nueva Zelanda: InterSpread Plus [19] y el de Canadá y Estados Unidos: NAADSM [10]. Todos ellos son de tipo simulación espacial estocástica y han sido desarrollados independientemente. El estudio [4] comprendía primero una comparación del marco lógico del modelo, así como una comparación de una serie de resultados obtenidos por el modelo con once hipótesis de complejidad creciente que evaluaban varios mecanismos de propagación y medidas de control. A pesar de que la construcción de los modelos se planteaba de modo diferente y de que había diferencias estadísticamente significativas en los resultados de los tres modelos, las diferencias eran pequeñas en general y, desde una perspectiva práctica, los resultados eran bastante similares. Desde una perspectiva política, es tranquilizador que, pese a que los enfoques seguidos eran diferentes, los modelos produjeron resultados consistentes y se concluyó que las decisiones que se hubieran tomado, fueran cuales fueran los resultados utilizados como base, no habrían diferido. Además, el estudio fue un ejercicio de verificación útil porque los autores de los modelos tuvieron que volver a examinar en detalle de qué manera se habían aplicado las funciones centrales y, así, pudieron encontrarse errores menores de programación y de lógica, que fueron corregidos.

International EpiLab¹ ha ejecutado un proyecto similar. Se trataba de la comparación policéntrica de instrumentos de modelado para evaluar las estrategias de vacunación contra la fiebre aftosa en Dinamarca. El

¹ International EpiLab: Centro Colaborador de la OIE para investigación y formación en el ámbito del diagnóstico zoonosario y de los sistemas de vigilancia de poblaciones

objetivo del estudio consistía en comparar tres modelos de simulación estocástica para elaborar un modelo de propagación de la fiebre aftosa usando diferentes estrategias de control. También en este caso intervinieron el modelo InterSpread de la universidad de Massey (Nueva Zelanda) [19], un modelo de la universidad de Davis, California (Estados Unidos) [3] y un modelo de la universidad de Warwick (Reino Unido) [12]. Los resultados de las simulaciones comparativas están en curso de realización (Milne *et al.*).

8. Resultados del cuestionario

En el mes de febrero de 2007 fueron enviados cuestionarios a todos los Países Miembros de la OIE. 103 (61%) los devolvieron habiendo contestado a todas las preguntas (n=92) o a parte de ellas (n=11) (véase [Anexo I](#)).

En total, 50 Países Miembros (el 49% de los que contestaron) usan modelos para los planes de urgencia, mientras que un 48% respondieron que no los usan pero les gustaría. Solamente 4 países no se lo plantean.

África y Oriente Próximo son las regiones con la proporción más baja (28%) de Países Miembros que usan modelos y que más desean desarrollarlos. Más de la mitad (58%) de los Países Miembros de América, Europa y Asia-Pacífico ya están usando modelos.

Los modelos de vigilancia, transmisión de enfermedades y riesgos son los más usados o deseados en los Países Miembros, en todas las regiones, pero pocos (40-55 países) promueven los modelos meteorológicos, económicos y de recursos. Otros modelos mencionados son: circulación de los animales, producción, transporte, relación coste/beneficios, geográficos, sistemas de alerta y ecosistemas. Los tipos de actividades de gestión que se apoyan en modelos son, en primer lugar, la vacunación, la vigilancia y la restricción de la circulación, cada uno con aproximadamente 90 países. Utilizar los modelos para el sacrificio sanitario, en anillo y la capacidad de eliminación, es algo que consideran menos frecuentemente los países que no usan modelos que aquellos que sí los han utilizado. Puede haber diferencias de carácter regional en el uso, así como en las políticas de control. Además, algunos países recurren a los modelos para evaluar el sacrificio por motivos de bienestar, las ventajas de identificar a los animales, la compartimentación y las estrategias para reducir al mínimo el riesgo de introducir enfermedades.

Todos los países están a favor de usar modelos tanto antes como durante las epidemias, pero los que usan modelos indicaron tener tendencia a usarlos también después, como herramienta retrospectiva. Así pues, la mitad de los países que contestaron utilizan o utilizarían modelos tanto antes como durante y después de que brote la enfermedad, un 25% sólo antes y durante, pero todas las demás combinaciones figuran con menor frecuencia.

En general, los países que ya utilizan los modelos parecen incluir a más tipos de profesionales que lo que proponen los países que desean utilizar los modelos. Los epidemiólogos fueron citados en todas las respuestas. Las demás profesiones se citan menos. Otros expertos indicados eran: contables, virólogos, programadores informáticos, biólogos, ecólogos, científicos espaciales/SIG, ornitólogos, biólogos de animales salvajes, cazadores, especialistas en comunicación, expertos de terreno, médicos y farmacéuticos.

Se observa que, en general, se acepta que las administraciones veterinarias deberían ser las más implicadas en todas las etapas: desarrollo, aplicación del modelo y aplicación de los resultados. Los centros de investigación y los expertos internacionales parecen ser importantes para el desarrollo. Las organizaciones agrarias parecen intervenir en todas las etapas, más países contestan que se implican al aplicar los resultados de los modelos.

Un 84% de los países que han usado modelos epidemiológicos cuentan con una persona o un grupo de personas que son responsables de ellos. Era de esperar, porque las respuestas muestran que la Administración Veterinaria está implicada en todas las etapas de la modelización.

De los 103 países que contestaron al cuestionario, un 60% indicaron que carecían de experiencia y un 55% que carecen de recursos. Solamente 12 países declararon que no les faltan recursos ni experiencia. De estos 12, 7 formularon comentarios sobre otros obstáculos para usar los modelos epidemiológicos, entre ellos, la falta de datos globales – demografía, circulación de los animales, comercialización – es el más común. También se mencionaba la falta de tiempo, de personal a tiempo completo, de capacitación y de recursos económicos.

Los Países Miembros desean que la OIE les ayude por medio de: directrices (74 países), centros colaboradores a designar (43 países), establecimiento de grupos de expertos (59 países) o actuando como centro de difusión

y referencia (57 países). Los resultados muestran que a los Países Miembros les interesa que la OIE desempeñe un papel importante para orientar el desarrollo y los usos de los modelos. Otras propuestas fueron: organizar cursos de formación, seminarios o talleres, proporcionar la revisión de los modelos por expertos, utilizar modelos para simular la propagación internacional de una enfermedad y, así, identificar y determinar a qué deben dedicarse los recursos (formación y técnicos) internacionales para limitar la propagación, establecer un centro de formación, formar grupos de expertos que auxilien a los Países Miembros en la selección de modelos y un centro de modelos virtual al que puedan acceder los países con menos capacidad.

De parte de los 4 países que respondieron que no deseaban desarrollar modelos, todos los motivos propuestos fueron marcados y el motivo más frecuente es que necesitaban saber más sobre los modelos.

La influenza aviar altamente patógena es la enfermedad con prioridad más alta con respecto a los modelos epidemiológicos, seguida de cerca por la fiebre aftosa, la rabia, la enfermedad de Newcastle y la encefalopatía espongiiforme bovina. Otras enfermedades que se mencionan a menudo: peste porcina clásica, marcada como prioridad alta por 15 países, lengua azul, tuberculosis bovina, brucelosis, fiebre del Valle del Rift, peste porcina africana, perineumonía contagiosa bovina y peste de los pequeños rumiantes.

Aunque la mayoría indicaban que los servicios veterinarios deberían ser los responsables de la gestión y la dirección de los modelos epidemiológicos, varios países indicaron su deseo de que el sector público y el privado compartan responsabilidades con los investigadores. Pese a que la responsabilidad final del uso del modelo reside en las administraciones veterinarias, se mencionó a veces que no debería impedirse a otros grupos su utilización.

9. Comentarios

Los modelos epidemiológicos y económicos están reconocidos como instrumentos valiosos que pueden auxiliar a los gestores para identificar y evaluar enfoques alternativos para controlar las enfermedades. Así lo demuestran las numerosas publicaciones científicas sobre los modelos epidemiológicos y las disposiciones que toman numerosos servicios veterinarios para desarrollar su capacidad al respecto. Los modelos epidemiológicos diseñados de modo apropiado pueden ser usados para estudiar el impacto de las enfermedades, para la evaluación de riesgos, para ayudar a diseñar programas de control y vigilancia con una buena relación coste/eficacia y pueden contribuir a la planificación de urgencia. Los modelos son especialmente valiosos porque permiten estudiar de antemano hipótesis sobre el brote de las enfermedades y su control. Por ejemplo, se pueden simular los resultados que se obtendrían a partir de diferentes supuestos en lo relativo a los tipos de estrategia, la disponibilidad de recursos, las reacciones de los socios comerciales, etc. y, de esta manera, es más fácil identificar las condiciones en que cada enfoque puede ser benéfico o no. Todo esto debe ser revisado puesto que nuevas tecnologías – como nuevos métodos de diagnóstico o vacunas – y las modificaciones de las directrices internacionales y de los protocolos de comercio pueden alterar el equilibrio [7].

Como describen Garner *et al.*, es importante que los modelos utilizados para conformar las políticas de control de las enfermedades sean utilizados de modo apropiado [7]. En general se reconoce el valor que tienen los modelos para apoyar el desarrollo de las orientaciones políticas mediante los análisis retrospectivos y los planes de urgencia, pero está menos claro el papel de los modelos predictivos como apoyo a las decisiones tácticas en caso de enfermedad real. La validez de todo modelo depende, al fin y a la postre, de que los datos sobre los que se basa sean exactos y completos [11]. Desafortunadamente, los datos no están siempre disponibles o son fiables, en particular al principio de un brote, cuando las decisiones que se tomen determinarán el tamaño de la epidemia siguiente. Esto es lo que crea un problema serio para establecer pronósticos en base a modelos. Los modelos usados en la epidemia británica de fiebre aftosa de 2001 fueron criticados porque se habían construido con datos atrasados y de poca calidad, y con conocimientos epidemiológicos escasos [14]. Los análisis recientes hacen dudar de la pertinencia de las decisiones que se tomaron en aquel momento partiendo de estos modelos [14, 20]. En su estudio global, Taylor [21] saca la conclusión de que no se debe recomendar el uso de modelos predictivos para apoyar las decisiones de carácter táctico. Las decisiones deberían basarse más en los conocimientos de los veterinarios que en los modelos predictivos, aunque los modelos pueden servir para interpretar las informaciones veterinarias. Otra opinión es que los modelos sí que pueden servir para tomar decisiones rápidas y con conocimiento de causa en lo relativo a las estrategias de control de un brote, siempre y cuando el modelo haya sido desarrollado, probado y esté listo para ser aplicado inmediatamente.

La construcción de modelos es una actividad de especialistas. Los administrativos y personal de terreno suelen considerar que los autores están lejos del mundo real y pueden llegar a ver su trabajo con suspicacia. Es

importante que los autores de modelos no estén aislados y que se comprenda que los modelos sólo son un medio de facilitar asesoramiento científico [7]. Ninguna conclusión debe ser considerada por separado de los estudios experimentales y de la colecta y análisis de los datos epidemiológicos. Es necesario demostrar la validez de cualquier modelo antes de que se use para conformar las decisiones. La comunicación de los resultados a los que toman decisiones también es una cuestión importante. Los resultados obtenidos con los estudios de modelos deben ir acompañados de una publicación de todos los supuestos utilizados y de todas las limitaciones del enfoque [21].

Las iniciativas recientes, como la formación del grupo EpiTeam del “Quad” y el proyecto policéntrico EpiLab, han demostrado la valía de la cooperación internacional para desarrollar y validar instrumentos de elaboración de modelos que se usarán en emergencias sanitarias.

Los resultados del cuestionario subrayan la noción de que los modelos para la gestión de enfermedades animales constituyen una cuestión relevante, de interés e importancia considerables para la comunidad veterinaria internacional. Demuestran que ya existe una actividad en muchos Países Miembros de la OIE y que muchos también están preparándose para iniciar actividades de este tipo. Se están construyendo modelos con una gran variedad de condiciones, enfermedades y áreas de aplicación y existen indicios claros de que se necesita y se desea que haya más cooperación internacional y más apoyo para orientar y promover las aplicaciones. También aquí parece haber una necesidad de fortalecer a los servicios veterinarios del mundo entero mediante la cooperación internacional y el apoyo técnico.

Agradecimiento

Los autores agradecen a John Wilesmith y Katharina Stärk su contribución al desarrollo del cuestionario y a Torben Grubbe por comunicar el resumen estadístico de los resultados del cuestionario.

Referencias

- [1] Abdalla A., Beare S., Cao L., Garner G., Heaney A.– Foot and Mouth Disease: Evaluating Alternatives for Controlling a Possible Outbreak in Australia, ABARE eReport 05.6. Canberra, Australia, April 2005. (http://www.abare.gov.au/publications_html/livestock/livestock_05/er05_footmouth.pdf // Accedido el 20 de octubre de 2006).
- [2] Anderson I.– Foot and Mouth Disease 2001: Lessons to be Learned Inquiry Report. HC 888.The Stationery Office, London, United Kingdom, 2002. (http://archive.cabinetoffice.gov.uk/fmd/fmd_report/report/index.htm).
- [3] Bates T.W., Carpenter T.E., Thurmond M.C.– Benefit-cost analysis of vaccination and preemptive slaughter as a means of eradicating foot-and-mouth disease. *Am. J. Vet. Res.*, **64** (7), 805-812, Jul 2003.
- [4] Dubé C., Stevenson M.A., Garner M.G., Sanson R., Harvey N., Estrada C., Corso B.A., Wilesmith J.W., Griffin J.– Foot-and-mouth disease verification and validation through a formal model comparison. SVEPM-NOSOVE 2007, Espoo, Finland. (En imprenta).
- [5] Ferguson N.M., Donnelly C.A., Anderson R.M. (2001a).– The foot-and-mouth epidemic in Great Britain: pattern of spread and impact of interventions. *Science*, **292**(5519), 1155-1160.
- [6] Ferguson N.M., Donnelly C.A., Anderson R.M. (2001b).– Transmission intensity and impact of control policies on the foot and mouth epidemic in Great Britain. *Nature*, **413**, 542-548.
- [7] Garner M.G., Dubé C., Stevenson M.A., Sanson R.L., Estrada C., Griffin J. (2007).– Evaluating alternative approaches to managing animal disease outbreaks. The role of modelling in policy formulation. *Vet. Ital.*, **43** (2), 285-298.
- [8] Garner M.G., Beckett S.D. (2005).– Modelling the spread of foot-and-mouth disease in Australia. *Aust Vet. J.*, **83** (12), 758-766.
- [9] Garner M.G., Lack M.B. (1995).– An evaluation of alternate control strategies for foot-and-mouth disease in Australia: a regional approach. *Prev. Vet. Med.*, **23** (1-2), 9-32.
- [10] 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.– The North American Animal Disease Spread Model: A simulation model to assist decision making in evaluating animal disease incursions. *Prev. Vet. Med.*, 2007 Jul 3.
- [11] Kao R.R. (2002).– The role of mathematical modelling in the control of the 2001 FMD epidemic in the UK. In: *Trends in Microbiology*, **10** (6), 279-286.
- [12] Keeling M.J., Eames K.T.D.– Networks and epidemic models. *J. R. Soc. Interface* (2005) **2**, 295-307.
- [13] Kitching R.P.– Predictive models and FMD: the emperor’s new clothes? *Vet J* 2004 Mar; **167**(2):127-128.

- [14] Kitching R.P., Thrusfield M.V., Taylor N.M.– Use and abuse of mathematical models: an illustration from the 2001 foot and mouth disease epidemic in the United Kingdom. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2006, **25** (1), 293-311.
- [15] Kitching R.P., Hutber A.M., Thrusfield M.V.– A review of foot-and-mouth disease with special consideration for the clinical and epidemiological factors relevant to predictive modelling of the disease. *Vet J* 2005 Mar; **169**(2):197-209.
- [16] Mangen M.-J.J., Burrell A.M., Mourits M.C.M.– Epidemiological and economic modelling of classical swine fever: application to the 1997/1998 Dutch epidemic. *Ag Systems* 2004 Jul; **81** (1), 37-54.
- [17] Mangen M.-J.J., Jalvingh A.W., Nielen M., Mourits M.C.M., Klinkenberg D., Dijkhuizen A.A. (2001).– Spatial and stochastic simulation to compare two emergency-vaccination strategies with a marker vaccine in the 1997/98 Dutch classical swine fever epidemic. *Prev. Vet. Med.* **48** (3), 177-200.
- [18] Nielen M., Jalvingh A.W., Meuwissen M.P., Horst S.H., Dijkhuizen A.A. (1999).– Spatial and stochastic simulation to evaluate the impact of events and control measures on the 1997–1998 classical swine fever epidemic in The Netherlands. II. Comparison of control strategies. *Prev. Vet. Med.* **42** (3-4), 297-317.
- [19] Stevenson M.A., Sanson R.L., Stern M.W., O’Leary B.D., Mackereth G., Sujau M., Moles-Benfell N., Morris R.S.– InterSpread Plus: a spatial and stochastic simulation model of disease in animal populations. (Propuesto para publicación).
- [20] Taylor N.M., Honhold N, Paterson A.D., Mansley L.M. (2004).– Risk of foot-and-mouth disease associated with proximity in space and time to infected premises and implications for control policy during the 2001 epidemic in Cumbria. *Vet. Rec.*, **154** (20), 617-626.
- [21] Taylor N.– Review of the use of models in informing disease control policy development and adjustment. A report for DEFRA. Veterinary Epidemiology and Economics Research Unit (VEERU), School of Agriculture, Policy and Development, The University of Reading, 26 May 2003. (<http://www.defra.gov.uk/science/documents/publications/2003/UseofModelsInDiseaseControlPolicy.pdf> // Accedido el 9 de octubre de 2006).
- [22] Wittmann E.J., Mellor P.S., Baylis M.– Using climate data to map the potential distribution of *Culicoides imicola* (Diptera: Ceratopogonidae) in Europe. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2001, **20** (3), 731-740.
- [23] Woolhouse M.E.J.– Mathematical models of the epidemiology and control of foot-and-mouth disease. In: *Foot-and-Mouth Disease: Current Perspectives*. F. Sobrino y E. Domingo (eds.). Horizon Bioscience, Norfolk, Inglaterra, 2004.
- [24] Yoon H., Wee S.-H., Stevenson M.A., O’Leary B.D., Morris R.S., Hwang I.-J., Park C.-K., Stern M.W. (2006).– Simulation analyses to evaluate alternative control strategies for the 2002 foot-and-mouth disease outbreak in the Republic of Korea. *Prev. Vet. Med.* **74** (2-3), 212-225.

.../Anexo

Anexo I**Miembros de la OIE que respondieron al cuestionario sobre “Utilización de modelos epidemiológicos para la gestión de las enfermedades animales”**

- | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------|
| 1. | Albania | 36. | Eritrea | 70. | Mozambique |
| 2. | Alemania | 37. | Eslovaquia | 71. | Myanmar |
| 3. | Andorra | 38. | Eslovenia | 72. | Namibia |
| 4. | Angola | 39. | España | 73. | Noruega |
| 5. | Arabia Saudí | 40. | Estados Unidos de América | 74. | Nueva Caledonia |
| 6. | Argelia | 41. | Estonia | 75. | Nueva Zelanda |
| 7. | Argentina | 42. | Filipinas | 76. | Omán |
| 8. | Armenia | 43. | Finlandia | 77. | Países Bajos |
| 9. | Australia | 44. | Francia | 78. | Paraguay |
| 10. | Austria | 45. | Georgia | 79. | Perú |
| 11. | Azerbaiyán | 46. | Ghana | 80. | Polonia |
| 12. | Bahrein | 47. | Grecia | 81. | Portugal |
| 13. | Bélgica | 48. | Guinea-Bissau | 82. | Reino Unido |
| 14. | Belice | 49. | Haití | 83. | Rumania |
| 15. | Benin | 50. | India | 84. | Senegal |
| 16. | Bolivia | 51. | Indonesia | 85. | Serbia y Montenegro |
| 17. | Bosnia-Herzegovina | 52. | Irán | 86. | Singapur |
| 18. | Brasil | 53. | Irlanda | 87. | Siria |
| 19. | Bulgaria | 54. | Islandia | 88. | Sri Lanka |
| 20. | Burkina Faso | 55. | Israel | 89. | Suazilandia |
| 21. | Camerún | 56. | Italia | 90. | Sudán |
| 22. | Canadá | 57. | Japón | 91. | Suecia |
| 23. | Colombia | 58. | Jordania | 92. | Suiza |
| 24. | Congo | 59. | Kazajstán | 93. | Tailandia |
| 25. | Corea (Rep. de) | 60. | Kuwait | 94. | Taipei China |
| 26. | Costa Rica | 61. | Lesoto | 95. | Togo |
| 27. | Croacia | 62. | Letonia | 96. | Túnez |
| 28. | Checa (Rep.) | 63. | Lituania | 97. | Turquía |
| 29. | Chile | 64. | Luxemburgo | 98. | Ucrania |
| 30. | Chipre | 65. | Madagascar | 99. | Uruguay |
| 31. | Dinamarca | 66. | Malawi | 100. | Uzbekistán |
| 32. | Dominicana (Rep.) | 67. | Marruecos | 101. | Vietnam |
| 33. | Egipto | 68. | Mauritania | 102. | Zambia |
| 34. | El Salvador | 69. | Mongolia | 103. | Zimbabue |
| 35. | Emiratos Árabes Unidos | | | | |