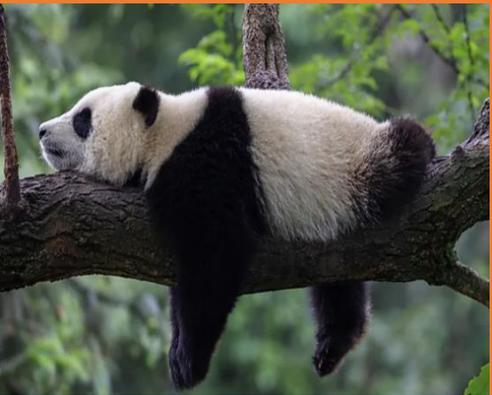




# MANUAL DE FORMACIÓN SOBRE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN SANITARIA DE LA FAUNA SILVESTRE



**Sexto Ciclo**

**Taller destinado a los Puntos Focales  
Nacionales de la OMSA para los Animales  
Silvestres**



Organización Mundial  
de Sanidad Animal  
Fundada como OIE

# MANUAL DE FORMACIÓN SOBRE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN SANITARIA DE LA FAUNA SILVESTRE

**Sexto Ciclo**

**Taller destinado a los Puntos  
Focales Nacionales de la OMSA  
para los Animales Silvestres**

Todas las publicaciones de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) están protegidas por un copyright internacional. Podrán copiarse, reproducirse, traducirse, adaptarse o publicarse extractos en revistas, documentos, libros o medios electrónicos, y en cualquier otro medio destinado al público, con intención informativa, didáctica o comercial, siempre y cuando se obtenga previamente una autorización escrita por parte de la OMSA.

Las designaciones y nombres utilizados y la presentación del material de la presente publicación no constituyen de ningún modo el reflejo de cualquier opinión por parte de la OMSA sobre el estatuto legal de los países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, fronteras o límites territoriales.

La responsabilidad de las opiniones profesadas en los artículos firmados incumbe exclusivamente a sus autores. La mención de empresas o productos manufacturados particulares, estén o no patentados, no implica de ningún modo que éstos se beneficien del apoyo o de la recomendación de la OMSA, en comparación con otros similares que no hayan sido mencionados.

© Copyright WOAH, 2021

Organización Mundial de Sanidad Animal  
12, rue de Prony, 75017 Paris, Francia  
Tel. : 33(0) 1 44 15 18 88  
Fax : 33(0)1 42 67 09 87  
<http://www.woah.org/es/>

Direcciones web y enlaces a manuales anteriores a los que se hace referencia en este manual:

Manual de Formación sobre la Vigilancia y Declaración Internacional de las Enfermedades de los Animales Silvestres: Segundo Ciclo del Taller para los Puntos Focales Nacionales de la OIE para los Animales Silvestres

<https://www.woah.org/app/uploads/2022/03/e-training-manual-2b0cycle.pdf>

Manual de Formación sobre la Evaluación del Riesgo Sanitario en Fauna Silvestre en Apoyo de Decisiones y Políticas

<https://www.woah.org/app/uploads/2022/03/e-training-manual-wildlife-3.pdf>

Manual de Formación sobre las Investigaciones sobre Brotes de Enfermedades de la Fauna Silvestre: 4° Ciclo del Taller destinado a los Puntos Focales Nacionales de la OIE para la Fauna Silvestre

Training Manual on Wildlife Diseases Outbreak Investigations: 4<sup>th</sup> Cycle Workshop for OIE National Focal Points for Wildlife

Manual de Formación sobre la Gestión de la Información Sanitaria de la Fauna Silvestre: 5° ciclo del Taller para los Puntos Focales Nacionales de la WOA H para la Fauna Silvestre

[https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Internationa\\_Standard\\_Setting/docs/pdf/WGWildlife/A\\_Training\\_Manual\\_Wildlife\\_5.pdf](https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Internationa_Standard_Setting/docs/pdf/WGWildlife/A_Training_Manual_Wildlife_5.pdf)

# Índice

<b>PREFACIO</b> .....	<b>6</b>
<b>VIGILANCIA DE ENFERMEDADES DE LA FAUNA SILVESTRE</b> .....	<b>7</b>
<b>FORMAS DE VIGILANCIA DE PATÓGENOS DE ENFERMEDADES</b> .....	<b>9</b>
PROGRAMA DE VIGILANCIA GENERAL DE LOS AGENTES PATÓGENOS DE LA FAUNA SILVESTRE .....	10
<i>Detección de patógenos y enfermedades</i> .....	10
<i>Identificación de patógenos y enfermedades</i> .....	11
<i>Gestión de la información</i> .....	11
<i>Análisis y comunicación</i> .....	11
<i>Toma de Medidas</i> .....	12
<i>Coordinación de un programa de vigilancia general de los patógenos de la fauna silvestre</i> .....	13
<i>Síntesis – Vigilancia General</i> .....	14
PROGRAMA DE VIGILANCIA ESPECÍFICA DE LOS PATÓGENOS DE LA FAUNA SILVESTRE .....	14
<i>Ausencia de Enfermedad</i> .....	15
<i>Prevalencia</i> .....	15
<i>Incidencia</i> .....	16
<i>Componentes de la vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje</i> .....	16
<i>Síntesis – programa de vigilancia específica de los agentes patógenos de la fauna silvestre</i> .....	16
<b>DISEÑO DE UN PROGRAMA DE VIGILANCIA NACIONAL</b> .....	<b>18</b>
OBJETIVOS .....	18
DISEÑO DEL MUESTREO.....	19
<i>Medidas</i> .....	20
<i>Qué especies hospedadoras deben muestrearse</i> .....	20
<i>Dónde obtener las muestras</i> .....	21
<i>Tamaño de la muestra– ¿Cuántas unidades geográficas se deben incluir?</i> .....	24
<i>Tamaño de la muestra – Cuántas muestras de vigilancia deben recogerse en una unidad geográfica</i> .....	24
<i>Qué animales se deben muestrear dentro de un área o población de interés</i> .....	27
<i>Sesgo</i> .....	28
<b>OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE LA FAUNA SILVESTRE PARA LAS PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO</b> .....	<b>29</b>
ELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTRA.....	29
<i>Elección de ejemplares individuales para la toma de muestras</i> .....	29
BIOSEGURIDAD DURANTE LA TOMA DE MUESTRAS.....	31
TOMA DE MUESTRAS DE LA FAUNA SILVESTRE .....	32
<i>Toma y conservación de muestras de cadáveres</i> .....	32
<i>Toma de Muestras de Tejidos</i> .....	32
<i>Toma de muestras de sangre</i> .....	33
<i>Toma de Muestras con Hisopo</i> .....	34
<i>Toma de otras muestras comunes no invasivas</i> .....	34
<i>Recolección de Anfibios</i> .....	34
DESCONTAMINACIÓN/ DESINFECCIÓN DEL EQUIPO DE CAMPO.....	35
<b>PRINCIPIOS GENERALES DE LAS PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO REALIZADAS EN LA FAUNA SILVESTRE</b> .....	<b>36</b>
CALIDAD DE LA MUESTRA .....	38
CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO .....	38
DISPONIBILIDAD DE LAS PRUEBAS .....	40
RECURSOS NECESARIOS .....	41

MANDATOS LEGALES .....	41
<b>RECOPIACIÓN DE DATOS DURANTE UN EVENTO DE MORTALIDAD.....</b>	<b>42</b>
MEJORES PRÁCTICAS DE ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE DATOS .....	43
<i>Ubicación del evento</i> .....	43
<i>Uso del territorio y factores ambientales</i> .....	44
<i>Estimación de la fecha de inicio y fin de la morbilidad/ mortalidad</i> .....	44
<i>Especies afectadas</i> .....	44
<i>Signos clínicos</i> .....	45
<i>Edad de los animales afectados</i> .....	45
<i>Sexo de los animales afectados</i> .....	45
<i>Número de animales afectados</i> .....	45
<i>Diagnósticos</i> .....	46
<i>Elaboración de un diccionario de datos</i> .....	46
<b>GESTIÓN DE ENFERMEDADES DE LOS ANIMALES SALVAJES.....</b>	<b>48</b>
OBJETIVOS DE LA GESTIÓN DE ENFERMEDADES .....	48
PUNTOS DE INTERVENCIÓN.....	49
PREVENCIÓN Y CONTROL– AGENTES AND VECTORES .....	50
CONTROL – MANIPULACIÓN DE HOSPEDADORES .....	52
<i>Teoría</i> .....	52
<i>Consideraciones sociales</i> .....	55
<i>Consideraciones sobre el sistema</i> .....	56
Agente .....	56
Hospedadores .....	57
Entorno.....	59
<i>Consideraciones logísticas</i> .....	60
<i>Medidas del Éxito</i> .....	60
<i>Manipulación de Poblaciones Hospedadoras</i> .....	61
Distribución .....	61
Eliminación Selectiva .....	65
Reducción de la Densidad de la Población.....	68
<i>Tratamiento e Inmunización de Poblaciones Hospedadoras</i> .....	74
Tratamiento.....	74
Inmunización .....	76
<i>Combinando Herramientas</i> .....	84
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>87</b>

# PREFACIO

*Centro Colaborador de la OMSA para la Investigación, el Diagnóstico y la Vigilancia de los Agentes Patógenos de la Fauna Silvestre*

El presente programa de formación se elaboró para el 6º Ciclo de Formación destinado a los Puntos Focales de la OMSA para la Fauna Silvestre. Durante las formaciones asociadas a los ciclos anteriores, se encuestó a los puntos focales para determinar los temas en los que estaban más interesados en recibir formación en el futuro. De esa encuesta se desprendió la

necesidad de impartir formación sobre la gestión de la información sanitaria de la fauna silvestre. A pesar de su importancia práctica, este tema no está bien representado en la bibliografía sobre sanidad de la fauna silvestre, y nuestro objetivo fue ayudar a llenar este vacío con el material presentado en este documento.

Este manual está estructurado a fin de seguir una progresión lógica asociada a la gestión de la información sanitaria sobre la fauna silvestre. Comenzamos detallando por qué es importante compartir la información sanitaria sobre la fauna silvestre. Examinamos los desafíos comunes asociados con el intercambio de información y exploramos las oportunidades potenciales para superar estos desafíos. A continuación, se examinan los principios generales para establecer una red de información sanitaria sobre la fauna silvestre, y proporcionamos algunos estudios de casos de ejemplos reales de redes exitosas. El objetivo es abordar quién debe estar incluido en una red, y cómo establecer la estructura de la red para adquirir información sanitaria sobre la fauna silvestre. Luego se analiza el tipo de datos que deben recogerse y se describen algunas de las mejores prácticas de gestión y conservación de datos. Esta sección explora lo que debe recogerse y compartirse en relación con la información sanitaria sobre la fauna silvestre. Por último, se concluye con un análisis sobre la difusión de los datos, centrándonos especialmente en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para difundir la información sanitaria sobre la fauna salvaje. Esta última sección describe cómo compartir la información sobre la fauna salvaje, que es en general el objetivo final de la gestión de la información sanitaria sobre la fauna salvaje.

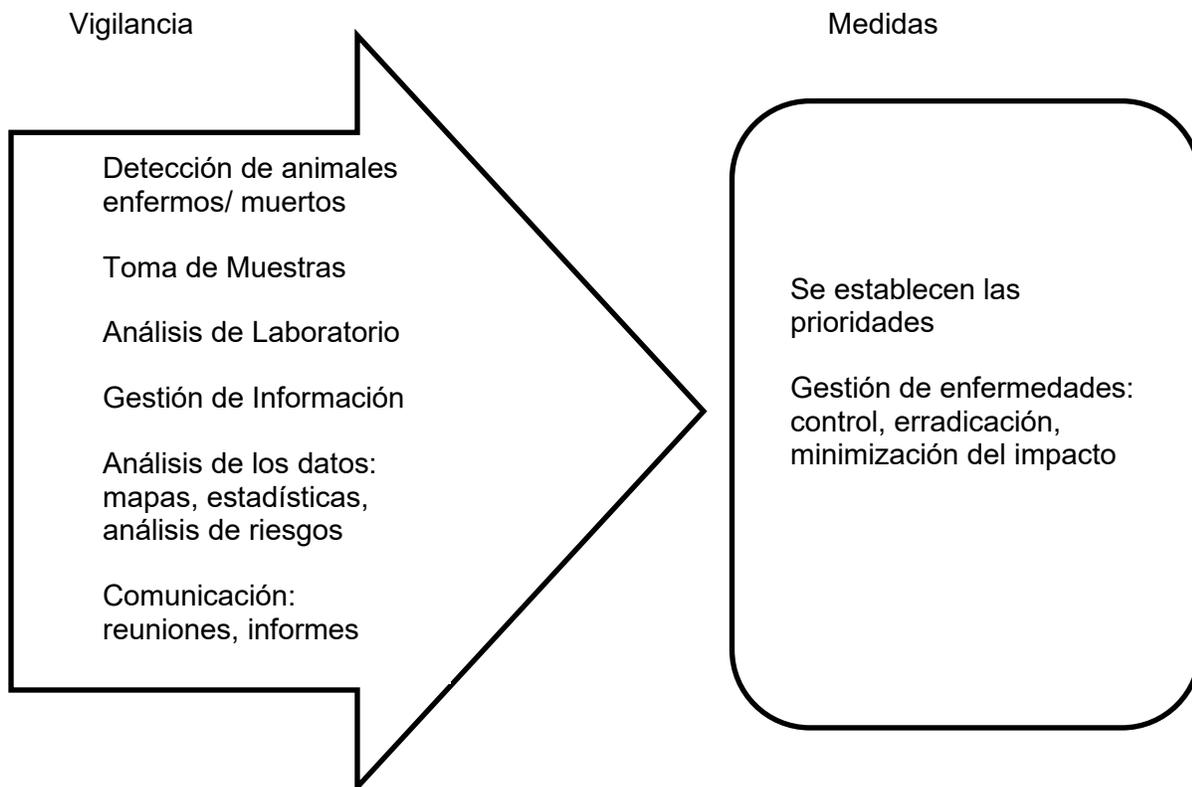
Pretendemos que este manual de formación sirva de base para desarrollar una comprensión general de la gestión de la información sanitaria sobre la fauna salvaje; sin embargo, este tema es de amplio alcance, y la aplicación de los conceptos presentados suele depender en gran medida de las condiciones, los retos y las estructuras gubernamentales locales. Por lo tanto, presentamos el material a nivel general basándonos en la literatura, la opinión de los expertos y la experiencia personal. A lo largo del material, proporcionamos referencias y enlaces electrónicos a recursos adicionales para los lectores que deseen desarrollar una comprensión más profunda de los temas presentados.

La gestión de la información sanitaria de la fauna silvestre es un componente cada vez más importante de la vigilancia y la gestión de las enfermedades de la fauna silvestre. Esperamos que el presente documento ayude a los puntos focales a mantener y/o mejorar la sanidad de la fauna silvestre en sus países para el beneficio de sanidad de la fauna silvestre, de los animales domésticos, y la salud humana.

# VIGILANCIA DE ENFERMEDADES DE LA FAUNA SILVESTRE

La vigilancia de los agentes patógenos de los animales salvajes es la base de un programa nacional integral de sanidad de la fauna silvestre. La vigilancia "designa las operaciones sistemáticas y continuas de recolección, comparación y análisis de datos zoonosarios y la difusión de la información en tiempo oportuno para tomarse medidas" (Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OMSA). Es la base de un programa nacional de sanidad de la fauna silvestre porque proporciona la información esencial para seleccionar y aplicar las medidas adecuadas para promover la sanidad de la fauna silvestre, incluyendo la prevención, la detección, el análisis de riesgos o la gestión. Los atributos clave de una vigilancia exitosa incluyen:

1. La vigilancia es una actividad continua – la investigación y vigilancia de los agentes patógenos de la fauna silvestre y las enfermedades que puedan causar es más efectiva si es continua.
2. La vigilancia implica tanto la recolección como el análisis de datos e información.
3. La vigilancia incluye la comunicación de los resultados de la recolección y el análisis de datos a toda la población, organismos a instituciones que requieran de dicha información.
4. La vigilancia crea información para la toma de medidas.



A través de la vigilancia de agentes patógenos de la fauna silvestre un país puede detectar la presencia de patógenos en sus poblaciones de animales salvajes, evaluar la distribución geográfica de la infección, y determinar el riesgo potencial para los recursos de importancia. Sin la vigilancia, las enfermedades nuevas y emergentes pueden pasar desapercibidas y no se sabrá hasta qué punto una población se ha visto afectada por alguna enfermedad o agente patógeno (la prevalencia de la enfermedad en la población). La vigilancia proporciona la información que los puntos focales de la OMSA para la fauna silvestre necesitan a fin de desempeñar sus responsabilidades internacionales de declaración de enfermedades, lo cual es fundamental para ayudar a los países a evaluar los riesgos asociados a los patógenos para sus poblaciones humanas, de fauna silvestre y agrícolas.

La infraestructura necesaria para el éxito de un programa de vigilancia no sólo incluye una red de observación de animales salvajes y laboratorios de diagnóstico veterinario, sino también sistemas de gestión, análisis y comunicación de la información. Cada uno de estos componentes es importante cuando un país decide responder a un brote de enfermedad y tomar medidas de gestión. Por lo tanto, la vigilancia de las enfermedades de los animales salvajes no sólo promueve la sanidad de los mismos, sino que también contribuye a la capacidad nacional de gestionar eventos urgentes de sanidad de los animales domésticos, especialmente los transfronterizos. Nunca se insistirá lo suficiente en la importancia de la vigilancia de la fauna salvaje.

# FORMAS DE VIGILANCIA DE PATÓGENOS DE ENFERMEDADES

Existen dos tipos principales de vigilancia de patógenos- la vigilancia general y la vigilancia específica. Ambas formas de vigilancia de patógenos son de suma importancia para un programa nacional de sanidad de la fauna silvestre. La vigilancia general examina las poblaciones silvestres para determinar los agentes patógenos existentes. La vigilancia específica se centra en determinar la presencia o ausencia de un patógeno concreto en las poblaciones silvestres. La vigilancia general o "de exploración sistemática" de los patógenos de la fauna silvestre es un componente especialmente crítico de un programa nacional de sanidad de la fauna silvestre, ya que ayuda a mantener la vigilancia nacional de las enfermedades emergentes asociadas a los patógenos de la fauna silvestre.

El Capítulo 1.4 del Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OMSA describe varios aspectos de la vigilancia sanitaria de los animales. Sin embargo, algunos aspectos de la vigilancia de patógenos y enfermedades en los animales salvajes son únicos y requieren una consideración adicional. Los animales salvajes carecen de propietarios o veterinarios que atiendan y reconozcan las posibles enfermedades que puedan padecer. Las pruebas rutinarias para el diagnóstico de patógenos y enfermedades desarrolladas para los animales domésticos pueden o no ser válidas para las especies de animales salvajes. Un programa de vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje requiere la colaboración de biólogos y ecólogos especializados para proporcionar datos ecológicos sobre poblaciones y sobre otros aspectos de la biología de la fauna salvaje, así como para analizar, interpretar y comunicar los resultados. Además, en las poblaciones de animales salvajes, los métodos probabilísticos tradicionales de selección de muestras (Código Sanitario para los Animales Terrestres, Capítulo 1.4.4) rara vez pueden utilizarse debido a los problemas prácticos de acceso a los animales salvajes, a la dificultad de definir una población y a la falta de información precisa sobre el tamaño y la estructura de la población. Por lo tanto, deben utilizarse técnicas específicas para los animales salvajes. Por ejemplo, a pesar de que el muestreo probabilístico no es práctico para seleccionar animales salvajes individuales para las pruebas, puede ser posible realizar un muestreo probabilístico de áreas geográficas que contengan animales salvajes cuando las muestras se recogen en una extensión espacial ([véase el 4º Ciclo del Manual de Formación sobre Investigaciones de Brotes de Enfermedades de la Fauna Salvaje](#)). Pero, en general, la mayoría de las muestras en la vigilancia de patógenos de la fauna silvestre no serán aleatorios y se basarán en lo que sea posible conseguir, dadas las dificultades para obtener muestras de las poblaciones silvestres (lo que suele llamarse "muestreo de conveniencia"). Esto afectará a los enfoques analíticos que pueden aplicarse a los datos de la vigilancia y a la naturaleza de las conclusiones que pueden desprenderse de los datos, por lo que debe limitarse en la medida de lo posible. No obstante, esta vigilancia sigue siendo una herramienta poderosa y esencial en la gestión nacional e internacional de la sanidad animal y humana y debería llevarse a cabo en todos los países.

# Programa de Vigilancia General de los agentes patógenos de la fauna silvestre

Como se ha señalado anteriormente, la vigilancia de los agentes patógenos de la fauna salvaje consta de múltiples componentes que deben coordinarse para ofrecer un programa de vigilancia cohesionado. Cada uno de estos cinco componentes implica a diferentes personas con diferente formación y experiencia y, a menudo, de diferentes ramas del gobierno o de organizaciones no gubernamentales o universidades. Cada uno de estos componentes se describe con más detalle en las siguientes secciones.

## Detección de patógenos y enfermedades

La mayoría de los programas de vigilancia general de los agentes patógenos de la fauna silvestre se basan en el examen de los animales silvestres hallados enfermos o muertos. Por lo tanto, un componente crítico de un programa de vigilancia general de agentes patógenos de la fauna silvestre es una red de personas que probablemente se encuentren con animales silvestres muertos o enfermos (véanse las recomendaciones adicionales para la creación de una red en el [5º ciclo del Manual de Formación sobre Gestión de la Información Sanitaria de la Fauna Silvestre](#)). Estas mismas personas u otras deben estar dispuestas a informar de estos hallazgos a las autoridades competentes y/o capacitadas para recoger estos animales salvajes muertos y transportarlos de manera segura a un laboratorio de diagnóstico de enfermedades animales. Asimismo, estas personas pueden estar capacitadas para realizar la necropsia de dichos animales en el campo y enviar las muestras correctas al laboratorio. La cuestión es quién puede llevar a cabo esta tarea. La respuesta a esta pregunta variará sin duda entre los distintos países, pero para que un programa tenga éxito será necesario contar con una red de personas que pasen tiempo en zonas habitadas por animales salvajes, que puedan reconocer eventos de enfermedad o mortalidad y que sepan informar de los animales salvajes muertos o enfermos a las personas responsables de garantizar el envío de las muestras adecuadas a un laboratorio idóneo. Por lo tanto, los programas responsables de la vigilancia de los agentes patógenos de la fauna silvestre deben captar el interés y la cooperación continua de una amplia gama de personas que pasan tiempo en los hábitats de los animales silvestres. Entre esas personas pueden estar los oficiales y biólogos gubernamentales de fauna salvaje, generalmente asociados a los ministerios, departamentos o agencias (federales, estatales/provinciales, regionales) responsables de la gestión de la fauna salvaje.

Estas personas necesitan autorización y el incentivo de sus empleadores para participar en el programa de vigilancia. Otros participantes potenciales son cazadores, pescadores, naturalistas, científicos universitarios, organizaciones de conservación no gubernamentales, rehabilitadores de fauna salvaje y el público en general. Los responsables del programa de vigilancia de patógenos de la fauna silvestre tendrán que asignar tiempo y recursos cada año para mantener y respaldar esta red de personas que participan en la detección de animales silvestres enfermos o muertos y en el transporte de muestras a los laboratorios.

Para conseguir una participación activa en un programa de vigilancia, los participantes suelen necesitar un incentivo para dar prioridad a las actividades de vigilancia. Esto puede ser tan sencillo como mostrar el valor de sus contribuciones mediante actualizaciones periódicas sobre el programa y sus resultados. También pueden necesitar ayuda financiera para realizar las actividades de vigilancia. Los coordinadores del programa de vigilancia deben estar preparados

para proporcionar asistencia técnica en forma de un punto de contacto informado o mediante sesiones de formación periódicas.

## Identificación de patógenos y enfermedades

Una vez detectados los animales salvajes muertos o enfermos, se debe examinarlos para determinar las causas de la enfermedad o muerte y qué patógenos pueden transportar. Lo ideal es que este trabajo lo lleven a cabo patólogos de animales en laboratorios de diagnóstico de enfermedades animales debidamente equipados y con acceso a microbiólogos, biólogos moleculares, virólogos, parasitólogos y toxicólogos. Durante las pruebas de diagnóstico, los laboratorios deben tener en cuenta una amplia gama de patógenos infecciosos virales, bacterianos, protozoarios, fúngicos y metazoarios, así como diversas toxinas y contaminantes y venenos ambientales. Los laboratorios con estas capacidades suelen estar asociados al ministerio/departamento/agencia responsable de la agricultura, la sanidad animal doméstica y los Servicios Veterinarios de un país. De esta manera, los ministerios u organismos responsables de la fauna salvaje y los ministerios u organismos responsables de los laboratorios de diagnóstico veterinario suelen tener que colaborar estrechamente en cualquier programa de vigilancia de patógenos de la fauna salvaje, si estas funciones están separadas.

## Gestión de la información

Todo programa de vigilancia de enfermedades deberá contar con un sistema para registrar la información que genere sobre la aparición de enfermedades o patógenos, de forma que dicha información pueda ser utilizada para cumplir con los objetivos del programa de vigilancia y se puedan tomar las medidas adecuadas. La forma más apropiada de gestionarla es disponer de algún tipo de base de datos o archivo informatizado de los datos de la vigilancia. (véase el [5º Ciclo del Manual de Formación sobre Gestión de la Información Sanitaria de la Fauna Silvestre](#)). Aunque al principio es posible gestionar dicha información con programas de hojas de cálculo o de bases de datos destinados a ordenadores personales, rápidamente se volverán inadecuados a medida que aumenta el volumen de información. Por consiguiente, es mejor contratar a personas con los debidos conocimientos y competencias en diseño y gestión de bases de datos informatizadas antes de iniciar para el programa de vigilancia.

Esto garantizará la disponibilidad de la infraestructura adecuada para capturar de forma eficiente y precisa los datos de vigilancia para apoyar eficazmente los demás componentes del programa nacional de vigilancia.

## Análisis y comunicación

Para comprender la situación sanitaria actual de la fauna salvaje en un país, hay que separar la "señal del ruido" inherente a la información recogida en la vigilancia general. Los expertos en estadística y epidemiología suelen estar familiarizados con este tipo de datos y con los análisis necesarios para examinarlos y resumirlos. Los análisis necesarios pueden implicar la estimación de medidas de intensidad como la prevalencia, la presencia/ausencia de una enfermedad en un paisaje, la probabilidad de que una población esté libre de la enfermedad u otros parámetros epidemiológicos de interés. Sin embargo, a diferencia de los datos de vigilancia de los animales domésticos, los datos de vigilancia de los animales salvajes probablemente también requerirán de biólogos y ecologistas especializados en la fauna salvaje que puedan situar los datos en el

contexto adecuado (por ejemplo, proporcionar información sobre la presencia de las especies, las prácticas de gestión, las interacciones intra e interespecíficas, las necesidades de hábitat, etc.).

La comunicación de los resultados de la vigilancia es fundamental y no se puede dejar de subrayar su importancia. No sólo es importante para difundir la información necesaria para fundamentar las medidas de gestión de la enfermedad, sino que también ayuda a mantener el interés en participar en la red de vigilancia. Los participantes en el programa de vigilancia de las enfermedades de los animales salvajes, incluidos los grupos gubernamentales y no gubernamentales, suelen esperar ver los resultados del programa de vigilancia a través de diversas comunicaciones de los coordinadores del programa.

Se recomienda disponer de un plan de comunicación claro para el programa de vigilancia antes del inicio de la recopilación de datos, a fin de difundir oportunamente la información y proporcionar la orientación necesaria para la comunicación pública, interinstitucional e intrainstitucional en caso de que se detecte un brote importante de la enfermedad a través de los esfuerzos de vigilancia. Debido a las diferencias en las estructuras gubernamentales, la responsabilidad de la gestión de los agentes patógenos y las enfermedades en los animales salvajes no suele estar claramente asignada. Algunos patógenos pueden ser competencia del Ministerio de Salud, mientras que otros pueden ser competencia del Ministerio de Agricultura y Servicios Veterinarios. La responsabilidad de la gestión de las poblaciones de animales salvajes con frecuencia puede recaer en los Ministerios de Medio Ambiente, Silvicultura o Pesca. Puede haber confusión en cuanto a qué rama o ramas del gobierno deben ser responsables de la investigación, la respuesta y la comunicación de los brotes. Por lo tanto, los programas de vigilancia exitosos se basan en la colaboración interministerial o interdepartamental preestablecida que acuerda los objetivos y define las funciones y la responsabilidad de cada entidad, incluida la comunicación al público. Un buen plan de comunicación también debe garantizar que los funcionarios de agricultura o salud pública sean contactados en caso de que se detecte una enfermedad agrícola o zoonótica, o si existe algún riesgo para la inocuidad de los alimentos. Se debe informar a los funcionarios de medio ambiente en caso de que se detecte un producto químico tóxico u otro contaminante ambiental. Los esfuerzos de comunicación también deben garantizar que los puntos focales para la fauna silvestre proporcionen datos de vigilancia de enfermedades de la fauna silvestre a la OMSA a través de la interfaz WAHIS-WILD para promover el conocimiento de la situación y la coordinación internacional de la gestión de enfermedades de la fauna silvestre. También es esencial que la comunicación y la información que se ponga a disposición del público o de los miembros no científicos de la red de vigilancia sea rápida, precisa y esté expresada en una jerga no científica. Por último, si es posible, emplear o buscar la orientación de especialistas en comunicación puede mejorar mucho la eficacia de los esfuerzos de comunicación.

## Toma de Medidas

La vigilancia debe proporcionar datos o información para la toma de medidas. La vigilancia lleva implícita la necesidad de proporcionar los conocimientos necesarios para proteger la salud de las poblaciones de fauna salvaje y, potencialmente, de animales domésticos y humanos. La elección del nivel de respuesta a la detección de agentes patógenos o enfermedades en las poblaciones silvestres será muy variada en función del agente patógeno y la especie hospedadora de que se trate, la amenaza para los recursos de un país y la disponibilidad de recursos. A continuación, se describen diversas actividades que se pueden llevar a cabo a partir de los datos de vigilancia para proteger la salud, pero el mensaje clave que se puede extraer es

que el verdadero valor de los datos de vigilancia reside en cómo se utilizan para informar sobre las medidas de gestión.

## Coordinación de un programa de vigilancia general de los patógenos de la fauna silvestre

Los cinco componentes de un programa de vigilancia de enfermedades deben estar constantemente coordinados, ya que la coordinación es lo que permite que estos cinco componentes independientes funcionen como un sistema de vigilancia nacional. La coordinación de cualquier programa a gran escala puede ser un reto y puede requerir personal a tiempo completo para lograrlo. Este personal es responsable de garantizar que los componentes del programa funcionen juntos para lograr los objetivos establecidos del programa de vigilancia.

En casi todos los países, la responsabilidad de gestionar la sanidad y las enfermedades de la fauna salvaje no está bien definida y suele estar compartida, formal o informalmente, entre varios departamentos gubernamentales, entre los que se encuentran los encargados de la fauna salvaje, medio ambiente, salud pública, agricultura, servicios veterinarios, turismo, economía, aduanas y asuntos exteriores. Por ende, ningún departamento o agencia gubernamental tiene competencia exclusiva sobre las cuestiones relacionadas con las enfermedades de la fauna salvaje y, en consecuencia, no incumbe claramente a ninguno la coordinación de su vigilancia. La vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje también requiere una red de personas diferente y más amplia que la necesaria para los programas de vigilancia sanitaria de las personas y los animales domésticos. Por esa razón, los modelos organizativos de coordinación y funcionamiento de otros programas de vigilancia sanitaria pueden no ser aplicables a la vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje. Por ejemplo, los biólogos y ecologistas especializados en fauna salvaje son piezas clave en este tipo de programas de vigilancia. Las agencias gubernamentales, tales como los servicios veterinarios y la salud pública, que conocen bien sus propias formas de vigilancia sanitaria, pueden tener poca experiencia de trabajo con los organismos responsables de la fauna salvaje y del medio ambiente, los cuales sí disponen de la suficiente experiencia en biología y ecología. Asimismo, frecuentemente las organizaciones no gubernamentales, las universidades y otros grupos externos al gobierno son participantes decisivos en la vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje, por lo que el coordinador debe comprender bien a esos grupos y colaborar estrechamente con ellos, al igual que con las agencias gubernamentales. Teniendo en cuenta estos retos y variables entre los distintos países, existen varias formas de organizar la coordinación de la vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje. Seguidamente se ofrecen varios ejemplos:

1. Coordinación mediante una sola agencia gubernamental. Es frecuente que una agencia gubernamental que necesita información sobre la vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje o que es responsable de otros aspectos relacionados con la sanidad animal sienta la obligación o la conveniencia de encargarse de la coordinación del programa nacional de vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje. Este enfoque puede funcionar bien, siempre que el coordinador cuente con la flexibilidad necesaria para involucrar a todos los diferentes grupos gubernamentales o no gubernamentales requeridos para llevar a cabo un programa efectivo.
2. Coordinación mediante una coalición de agencias gubernamentales, que gestionan el programa conjuntamente mediante un acuerdo escrito. Esta opción tiene la ventaja de no considerar el programa de vigilancia propiedad de una sola agencia, por lo que otras agencias gubernamentales pueden estar más dispuestas a respaldar dicho programa.

3. Coordinación mediante una organización no gubernamental. Este modelo facilita la colaboración entre las agencias gubernamentales de diferentes ministerios y entre los participantes gubernamentales y no gubernamentales del programa de vigilancia. El coordinador recopila y gestiona los recursos del programa, que es llevado a cabo bajo la autoridad, supervisión y dirección de las agencias gubernamentales participantes.

Sea cual sea la forma y la entidad que organice la coordinación de un programa de vigilancia de las enfermedades de la fauna salvaje en un país, el punto focal de la OMSA para la fauna salvaje deberá desempeñar un papel esencial garantizando y facilitando una coordinación efectiva.

## Síntesis – Vigilancia General

En las secciones anteriores se definió la vigilancia general y los cinco componentes necesarios para establecer un programa nacional de vigilancia general de la sanidad de la fauna salvaje. Estos componentes incluyen la detección de patógenos y enfermedades, la identificación de patógenos y enfermedades, la gestión de la información, el análisis y la comunicación y la toma de medidas. Estos componentes deben estar integrados para que el programa de vigilancia tenga éxito. Un programa nacional de vigilancia general constituye la espina dorsal de cualquier esfuerzo por comprender y gestionar los agentes patógenos que existen en la población de animales salvajes de un país, y es una herramienta esencial para detectar y responder a las nuevas enfermedades emergentes asociadas a los agentes patógenos de los animales salvajes.

## Programa de Vigilancia Específica de los patógenos de la fauna silvestre

La vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje (también conocida como vigilancia “activa”) se define como la búsqueda de evidencia de uno o más patógenos (virus, bacterias, hongos, protozoos, etc.) de una o varias especies hospedadoras de animales salvajes. A diferencia de los programas de vigilancia general, los de vigilancia específica suelen concentrarse en la detección de patógenos e infecciones específicas y no de animales enfermos. Sin embargo, esto no es universal y algunos programas de vigilancia específica están diseñados para explotar la información de los individuos que muestran signos de enfermedad (por ejemplo, la vigilancia del índice de masa corporal para la caquexia crónica). Dada la especificidad de la vigilancia específica, no resulta práctico tener un programa de vigilancia específica para cada infección o patógeno. Las prioridades y los criterios para someter ciertos patógenos a vigilancia varían de un país al otro y de una región del mundo a otra. Sin embargo, independientemente del objeto específico, el sistema de vigilancia deberá generar la información necesaria para mejorar la comprensión que se tiene hasta la fecha de cierto patógeno o infección, dónde aparece y dónde no, cómo es la carga dentro de la población y si se está volviendo más o menos común, y en qué momento se pueden tomar las debidas decisiones de gestión. En la mayoría de las ocasiones, la decisión de incluir un patógeno o una infección en un sistema de vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje se basa en la importancia que el patógeno tiene para la salud pública y el bienestar de las personas, ya sea de forma directa (p. ej., patógenos zoonóticos), o bien de forma indirecta (p. ej., patógenos que pueden tener serias repercusiones en la producción o comercialización de ganado).

Normalmente, los programas de vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje suelen desarrollarse e implementarse por una de las siguientes razones: para demostrar la

ausencia de un patógeno o una infección en particular; o Para identificar tendencias o patrones en la distribución y aparición de un patógeno. Con los esfuerzos suficientes, la mayoría de los programas de vigilancia específica de enfermedades que pretenden demostrar la ausencia de una infección pueden servir asimismo para detectar la presencia de un patógeno en caso de que éste se propagase en el país o la región. En el primer caso (demostrar la ausencia de una infección), si ningún o muy pocos animales han dado positivo en las pruebas, el análisis de la información recopilada aportará pruebas (con una cierta confianza estadística) de que la presencia del patógeno no está presente por encima de un cierto nivel de prevalencia.

Cuando un programa de vigilancia específica de la fauna salvaje se diseña con la finalidad de medir la intensidad de una infección o identificar las tendencias y los patrones de distribución y aparición de un patógeno en particular, existe una variedad de medidas que pueden utilizarse.

## Ausencia de Enfermedad

Para determinar la ausencia de un agente patógeno concreto (por ejemplo, un agente patógeno/enfermedad de declaración obligatoria ante la OMSA) en una población/región, se deben recopilar datos de presencia/ausencia de los animales individuales que componen/habitan la población/región. Esto significa que cada individuo o un subgrupo de individuos implicados se somete a pruebas para detectar el patógeno de interés. Si se establece la presencia (es decir, se identifica el patógeno) dentro de un individuo, entonces claramente los individuos no están libres de la enfermedad. Si éste era el único objetivo de la investigación, no es necesario realizar acciones adicionales. Sin embargo, aunque el patógeno esté ausente en los individuos analizados, es posible que el patógeno esté presente pero no sea detectado, por lo que puede ser importante evaluar la probabilidad de infección subyacente del patógeno dentro de la población/región con niveles de confianza estadísticos específicos. Esta probabilidad de infección (es decir, la prevalencia prevista) puede conocerse si se recoge el tamaño exacto de la muestra (descrito a continuación) necesario para alcanzar la confianza deseada para una tasa de infección determinada; sin embargo, es frecuente que el número de individuos muestreados no alcance o supere este tamaño de muestra objetivo. En estos casos, se puede utilizar un marco estadístico bayesiano y el número de individuos muestreados para estimar la tasa de infección subyacente y su límite superior de credibilidad del 95%. El límite superior de credibilidad del 95% es el valor en el que hay un 95% de probabilidad de que la verdadera tasa de infección esté por debajo y suele ser el valor de mayor interés. Proporciona un valor de umbral superior para las tasas de infección potenciales dentro de una población. Se puede encontrar una referencia adecuada que describe esta técnica y cómo incorporar información auxiliar en la OMSA en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0089843>

## Prevalencia

La prevalencia es una de las medidas de enfermedad más utilizadas para medir la frecuencia de un patógeno/enfermedad. Es la proporción de individuos a los que se les descubre una enfermedad/patógeno durante la vigilancia y caracteriza la extensión de una infección dentro de una población. Suele basarse en una sección transversal de la población y, si se basa en un único evento de muestreo, surge de una "instantánea" en el tiempo. Sin embargo, durante los esfuerzos de vigilancia puede ser difícil determinar en qué período de tiempo se aplica la medida de la prevalencia porque las actividades pueden haber ocurrido durante un período de tiempo prolongado antes de ser descubiertas. La prevalencia y su medida de precisión asociada son

fáciles de calcular, y se pueden realizar análisis más sofisticados para examinar los factores de riesgo y las relaciones espaciales y temporales.

## Incidencia

La incidencia es una medida mucho menos utilizada en las enfermedades de la fauna salvaje. La incidencia es el número de casos nuevos observados en una población durante un periodo de tiempo determinado y representa el riesgo de infección. Una de las principales razones por las que la incidencia se emplea raramente es porque requiere un seguimiento frecuente y regular de la población para establecer el número de nuevos casos que se han producido desde el periodo de seguimiento anterior. Esto puede ser bastante difícil en el caso de las poblaciones de animales salvajes, que a menudo pueden entrar y salir de una región y pueden sucumbir a una enfermedad sin ser observados. Sin embargo, hay ocasiones en las que puede emplearse si los objetivos de la investigación lo requieren. Por ejemplo, el seguimiento frecuente de un pequeño estanque en busca de anfibios que hayan muerto a causa de la quitridiomycosis. Al igual que la prevalencia, pueden realizarse modelos matemáticos más sofisticados para dilucidar diversos factores de riesgo y otras relaciones. La diferencia entre incidencia y prevalencia es mayor cuando se investigan infecciones que pueden dar lugar a enfermedades crónicas; la diferencia es menos marcada cuando se vigilan infecciones que provoquen solamente enfermedades agudas.

Independientemente de la medida que se utilice, los datos recopilados mediante los programas de vigilancia específica resultan útiles para identificar las tendencias y los patrones de infección, a menudo a lo largo de los años, (para buscar tendencias cronológicas) o entre regiones (para identificar las áreas de mayor y menor riesgo). Esta información puede emplearse luego para documentar y mejorar las prácticas sanitarias de los animales domésticos, así como los proyectos y actividades de gestión de la fauna salvaje.

## Componentes de la vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje

Luego de la identificación del patógeno o infección diana para el programa de vigilancia, Los programas de vigilancia general y específica de las enfermedades de la fauna salvaje requieren los mismos componentes esenciales para resultar exitosos: la gestión y el análisis de los datos recopilados, la interpretación y comunicación de los hallazgos, y la toma de medidas. De igual modo, ambos tipos de programas de vigilancia dependen de una red de personas y organizaciones que trabajen de forma conjunta y se comuniquen bien. Finalmente, la vigilancia específica, al igual que la vigilancia general, requiere de un coordinador que se asegure que el programa de vigilancia cumpla con los objetivos garantizando el buen funcionamiento e integración de los componentes.

## Síntesis – programa de vigilancia específica de los agentes patógenos de la fauna silvestre

En las secciones anteriores, se definió la vigilancia específica, se describieron los parámetros clave asociados a este tipo de vigilancia y se destacaron las similitudes en los componentes necesarios que tiene con el establecimiento de un programa nacional de vigilancia general para

la sanidad de la fauna silvestre. Un programa nacional de vigilancia específica puede ser utilizado por un país para entender el riesgo actual de que un patógeno/enfermedad específica esté presente en las poblaciones de animales salvajes, medir la frecuencia de esa enfermedad, determinar la extensión espacial y desarrollar medidas de gestión o control si es necesario.

# DISEÑO DE UN PROGRAMA DE VIGILANCIA NACIONAL

Se han descrito diferentes tipos de vigilancia que podrían constituir la piedra angular de un programa nacional de sanidad de la fauna salvaje; sin embargo, queda la cuestión de cómo seleccionar el tipo de vigilancia apropiado y cómo diseñar el programa para satisfacer necesidades específicas. Esta sección pretende destacar algunas de las consideraciones clave que deben abordarse para elegir el tipo de programa de vigilancia que debe utilizarse y determinar el diseño del programa elegido. Es importante establecer este alcance inicial y definir claramente un diseño adecuado antes de iniciar las actividades. Si no se abordan las cuestiones de diseño, puede resultar un programa de vigilancia ineficaz o, en el peor de los casos, la incapacidad de cumplir los objetivos del programa nacional de sanidad de la fauna salvaje.

## Objetivos

Los objetivos son la base fundamental sobre la que se construye todo el programa, y los objetivos claramente establecidos no sólo predeterminan las actividades necesarias, sino que también proporcionan orientación durante la vigilancia cuando surgen preguntas. Los objetivos también definen si el programa debe centrarse en la vigilancia específica, general o de ambos tipos. Algunas preguntas clave que pueden ayudar a formular los objetivos son:

1. ¿Por qué se lleva a cabo la vigilancia?
2. ¿Que se espera aprender del programa de vigilancia?
3. ¿Qué datos serán necesarios recopilar?
4. ¿Qué partes interesadas habrá que atraer para respaldar el programa?
5. ¿Qué infraestructura es necesaria para asegurar el éxito del programa de vigilancia?

La primera pregunta constituye la base de un programa de vigilancia. Dependiendo de cómo se responda a esta pregunta, existen implicaciones significativas en cuanto al tipo de vigilancia y al diseño del estudio asociado. Algunos ejemplos de posibles objetivos de vigilancia son:

1. Garantizar que un patógeno/ enfermedad de declaración obligatoria ante la OMSA no se encuentre presente en mi país;
2. Determinar la presencia de una nueva enfermedad emergente en mi país;
3. Monitoreo de una enfermedad ya establecida en mi país.

La segunda pregunta amplía la primera y ayuda a crear un diseño de estudio adecuado. Por ejemplo, ¿Que pretende la investigación?: ¿saber si un patógeno específico está presente en animales individuales dentro de una especie concreta en una región geográfica específica?; ¿estimar la prevalencia de un patógeno?; ¿determinar los posibles factores de riesgo?;

¿determinar la extensión espacial, etc.? Esta información determinará cuántos individuos habrá que muestrear, cómo se realizará el muestreo y a qué escala. Si se desarrolla adecuadamente, la respuesta a esta pregunta definirá las poblaciones huéspedes que se muestrearán, la extensión geográfica y los parámetros que se utilizarán para el programa de vigilancia.

Comprender las necesidades de datos de un programa de vigilancia es importante para garantizar que se obtendrá información crítica, e igualmente importante para no recoger demasiados datos. Es un impulso común tratar de capturar demasiada información porque hay una gran cantidad de datos que se pueden registrar. Al planificar un programa de vigilancia, es habitual que quienes lo planifican identifiquen muchísimos datos que *podrían* registrarse por cada aparición de una enfermedad de la fauna salvaje detectada y que podrían ser útiles. En la práctica, sin embargo, los intentos de recoger grandes cantidades de información de forma sistemática para cada aparición de la enfermedad suelen fracasar debido al tiempo y al esfuerzo necesarios para recoger, registrar e introducir los datos en hojas de cálculo o bases de datos. Al final, el proceso de recopilación y registro se interrumpe, los registros se vuelven parciales e incompletos y algunos datos de importancia crítica quedan sin registrar. El registro de los datos y su introducción en los sistemas informáticos, así como su preservación, requieren tiempo y esfuerzo (recursos). Por lo tanto, la mejor práctica es definir la cantidad mínima de información que se necesita para alcanzar los objetivos del programa de vigilancia, y garantizar que los datos esenciales se registren siempre y formen parte del registro permanente de cada enfermedad.

Responder a la 4ª pregunta es útil para identificar a los grupos de individuos que pueden tomar muestras de animales o a los que puede ser necesario solicitar información sobre eventos de morbilidad o mortalidad, y a los que puede ser necesario comunicar los resultados de la vigilancia. La participación de las partes interesadas es un requisito para la obtención de muestras y el seguimiento de la salud de la población, ya que a menudo no se dispone de recursos para apoyar al personal idóneo para el programa de vigilancia si no se cuenta con la participación de las partes interesadas. Asimismo, la participación oportuna de las partes interesadas puede ser beneficiosa para conseguir el apoyo político necesario para establecer un programa de vigilancia. Del mismo modo, la identificación de las partes interesadas sienta las bases para el desarrollo de una estrategia eficaz de comunicación pública a partir de la cual se puedan difundir los resultados de la vigilancia.

Por último, la identificación de la infraestructura necesaria para acompañar un programa de vigilancia definirá la cantidad y el tipo de recursos necesarios, la experiencia requerida y establecerá las colaboraciones necesarias para alcanzar los objetivos del programa de vigilancia. Responder a esta pregunta también ayuda a determinar si los objetivos del programa de vigilancia son realistas, o si es necesario reducirlos para que se adapten a los recursos disponibles. También ayuda a evaluar si el personal disponible tendrá las habilidades necesarias, o si es necesario contratar personal adicional o establecer una colaboración externa para cubrir las carencias identificadas.

## Diseño del Muestreo

Una vez que los objetivos hayan sido establecidos claramente, los pasos a seguir a serán determinar:

1. ¿Dónde y de qué poblaciones se recogerán las muestras?
2. ¿Cuál es la medida de interés?

### 3. ¿Cuántas muestras y de qué manera deben recogerse y analizarse?

Existen varios diseños de muestreo diferentes que pueden aplicarse en función de los objetivos del programa de vigilancia. A continuación se describen muchas de las consideraciones de diseño importantes. Cabe señalar que hay más aspectos de diseño a tener en cuenta cuando los objetivos requieren un sistema de vigilancia específica en comparación con cuando requieren un sistema de vigilancia general. Esto se debe a que la vigilancia general implica el mayor número posible de animales moribundos o muertos; sin embargo, algunas de las siguientes consideraciones de diseño son aplicables a ambos tipos de sistemas de vigilancia, y trataremos de destacar esos casos.

## Medidas

Hay una variedad de medidas que pueden utilizarse para resumir y analizar la información recopilada durante la vigilancia específica, pero la medida adecuada depende de los objetivos y del tipo de vigilancia que se vaya a realizar. Entender cómo se analizarán los datos es necesario para determinar otros aspectos del diseño de un estudio. Anteriormente describimos tres de las medidas más comunes utilizadas para resumir los datos de la vigilancia.

En el caso de la vigilancia general, normalmente sólo se notifican las detecciones de enfermedades o agentes patógenos; sin embargo, podrían calcularse las medidas de ausencia de enfermedad o las estimaciones sobre la prevalencia a partir de las muestras recogidas tras la detección de la enfermedad. Sin embargo, la detección de una enfermedad/patógeno a través de la vigilancia general suele dar lugar a un esfuerzo de vigilancia específica de seguimiento en la población o región en la que se detectó inicialmente la enfermedad/patógeno.

## Qué especies hospedadoras deben muestrearse

En el caso de la vigilancia específica, una consideración importante en el diseño es qué especies de la variedad de hospedadores de un patógeno o cuáles de las afectadas por una enfermedad se incluirán en los esfuerzos de vigilancia. La identificación de las especies animales a muestrear servirá para saber cómo habrá que capturar a los animales, dónde deberá hacerse y quién deberá encargarse de ello. La determinación de una población de muestra adecuada requerirá conocimientos previos sobre el patógeno o la infección diana. Deberán conocerse las especies salvajes que son posibles hospedadoras (es decir, la variedad de hospedadores) del patógeno de interés en el país, así como el tamaño aproximado de su población/poblaciones y distribución geográfica. Este conocimiento previo a menudo proviene de la vigilancia general de las enfermedades de la fauna salvaje, de estudios científicos o de conocimientos de expertos.

La elección de las especies hospedadoras a incluir en el programa de vigilancia específica deberá estar alineado a los objetivos del programa de vigilancia; sin embargo, hay algunos factores a tener en cuenta que pueden aumentar la eficacia de los esfuerzos de vigilancia. En primer lugar, el comportamiento del patógeno de interés en cada una de las diversas especies que pueden hospedarlo es crucial. Por ejemplo, dada la dificultad que implica la captura de animales salvajes, si la finalidad consiste en determinar si una enfermedad o un patógeno particulares están presentes en una población de animales salvajes en un país, se puede optar por elegir una especie que se sabe que desarrolla la enfermedad de forma clínica (es decir, que manifiesta signos clínicos característicos de la enfermedad causada por el patógeno), en vez de elegir una especie que no desarrolle la enfermedad tras la infección. Esto permitirá una vigilancia

más focalizada con un tiempo reducido para la detección de la enfermedad si está presente. Sin embargo, si la finalidad del programa de vigilancia específica consiste en estimar la prevalencia de una infección en la que los animales salvajes pueden ser portadores del patógeno, pero sin desarrollar la enfermedad clínica, debería optarse más bien por muestrear tanto los animales aparentemente sanos como los enfermos.

Un segundo aspecto importante a tener en cuenta son los factores logísticos, como que algunas especies sean más fáciles de encontrar y muestrear que otras. Centrar los esfuerzos en estas especies debería ayudar a maximizar el uso de recursos limitados. En otros casos, puede ser fundamental centrar los esfuerzos en el muestreo de especies raras o amenazadas para comprender los impactos de una enfermedad en poblaciones pequeñas. Por otra parte, si los impactos en poblaciones específicas son menos importantes que la comprensión de la extensión espacial de una enfermedad y se dispone de una especie sustituta más común, puede ser aconsejable muestrear esta especie en lugar de la especie rara para evitar cualquier riesgo asociado con la captura y el muestreo, mientras se sigue obteniendo información sobre la extensión de la enfermedad.

Otra consideración puede ser la probabilidad de que la especie transmita un agente patógeno a los seres humanos o a los animales domésticos, en cuyo caso la vigilancia podría dirigirse a las especies o poblaciones con mayor probabilidad de transmisión a través de estos límites. En otras situaciones, podría ser pertinente muestrear animales domésticos para determinar si un patógeno que afecta a la fauna salvaje está presente o ausente en una determinada zona. Por ejemplo, los perros de granja se han usado para determinar la presencia o ausencia de peste (*Yersinia pestis*) en poblaciones locales de roedores. Los perros, que cazan roedores, son más fáciles de capturar y manipular que los propios roedores salvajes. Por último, puede ser útil centrar los esfuerzos en especies que "muestran" una variedad de otras especies, sobre todo para la detección de enfermedades. Esto puede implicar el muestreo de especies depredadoras o vectores que se alimentan de una variedad de otras especies. En última instancia, la elección de las especies o grupos de especies que se incluyan dependerá de la situación; sin embargo, la evaluación de la biología y la epidemiología del hospedador y el patógeno, las limitaciones logísticas y las influencias sociales a través de la lente de los objetivos del programa de vigilancia, garantizará que la vigilancia no sólo sea eficiente sino también eficaz.

## Dónde obtener las muestras

El siguiente aspecto a tener en cuenta es dónde deben recogerse las muestras para informar el programa de vigilancia general o específica. Si se instaura un programa de vigilancia específica destinado a buscar un patógeno que se sabe que afecta a animales de un territorio vecino, las actividades de vigilancia deberían focalizarse a lo largo de la región fronteriza. La finalidad del programa de vigilancia delimita igualmente dónde buscar el patógeno. Si se pretende detectar un agente patógeno zoonótico relevante para la salud pública, la vigilancia de especies centinela de fauna salvaje debería llevarse a cabo esencialmente en aquellas áreas urbanas donde se concentre un mayor número de personas. De igual modo, si la finalidad es detectar un patógeno importante para los animales domésticos, habría que centrarse en vigilar la fauna salvaje de las áreas agrícolas más destacadas y sus alrededores.

En la vigilancia específica, la región geográfica donde se realizará el muestreo dependerá de dónde se ubican los animales hospedadores de interés y si su ubicación cambia o no a lo largo del tiempo. Este aspecto resulta particularmente importante cuando los objetivos del programa de vigilancia son especies migratorias. Por ejemplo, la vigilancia de la influenza aviar en las aves

acuáticas salvajes del hemisferio norte suele llevarse a cabo a finales de verano y principios de otoño cuando los animales se congregan en zonas de tránsito antes de migrar hacia el sur. En ese momento y en esos lugares, muchas aves se concentran en pequeñas áreas, por lo que resulta más fácil atraparlas, y muchos de los ejemplares son polluelos del año en curso, que tienden a ser más susceptibles a la infección por influenza aviar que las aves de más edad.

Una vez establecida la extensión espacial global que se incluirá en el programa de vigilancia, hay que elegir subregiones o unidades dentro de esa región si no se puede estudiar toda la extensión. El primer paso en el muestreo de unidades geográficas es decidir si la extensión espacial se tratará como una superficie continua o si se agregará (por ejemplo, dividida en celdas de cuadrícula discretas) y el método de agregación (por ejemplo, cuadrícula de celdas de igual tamaño o polígonos que describen los límites políticos). La agregación es el enfoque más común y será el principal foco de nuestra discusión. En general, estas unidades de muestreo pueden considerarse como diseños de muestreo de una o dos etapas. En primer lugar, se selecciona una muestra de unidades geográficas y, posteriormente, se realiza un censo (de una etapa) o una segunda muestra de individuos (de dos etapas) dentro de las unidades geográficas seleccionadas. Hay muchos diseños probabilísticos que pueden utilizarse. Describiremos varias opciones comunes centradas en la selección de unidades geográficas, pero pueden aplicarse procedimientos similares en la segunda etapa si los animales individuales no pueden ser muestreados completamente dentro de las unidades geográficas seleccionadas. Obsérvese que para aplicar muchas de las técnicas de muestreo que se describen a continuación, es necesario conocer el número total de unidades geográficas que se incluirán en el programa de vigilancia. La determinación de ese número total se describe en la siguiente sección de este manual.

El muestreo aleatorio simple es el diseño de muestreo probabilístico más común y más fácil de aplicar. Requiere que cada unidad tenga la misma probabilidad de ser incluida en el programa de vigilancia. Si los datos están agregados, esto puede lograrse asignando a cada celda de la cuadrícula una probabilidad igual de ser seleccionada. Luego, se puede extraer una muestra aleatoria utilizando muchos programas informáticos. Si los datos se tratan como continuos, hay que generar "n" puntos aleatorios dentro de la extensión espacial. Existen varios paquetes de software especializados que facilitan la selección de puntos, incluido el programa estadístico R (<https://www.r-project.org/>), así como muchos paquetes de software de Sistemas de Información Geográfica.

Otro tipo de muestreo común es el muestreo aleatorio estratificado. Un muestreo aleatorio estratificado se utiliza cuando se desea una muestra aleatoria, pero hay varios estratos no superpuestos dentro de la extensión espacial que son importantes y, por lo tanto, deben ser incluidos en el programa de vigilancia. Para emplear esta técnica, se extraen muestras aleatorias independientes de igual tamaño de cada estrato utilizando los procedimientos descritos anteriormente. De este modo, el número total de unidades geográficas que serán objeto de seguimiento durante la vigilancia se divide uniformemente entre todos los estratos de interés. Por ejemplo, supongamos que tenemos estratos desarrollados y no desarrollados por los humanos dentro de nuestra extensión espacial, y que las regiones desarrolladas cubren un área geográfica significativamente menor. Podemos estar interesados en evaluar las diferencias en la intensidad del brote entre estos estratos. En este caso, el muestreo aleatorio estratificado es un diseño de muestreo adecuado. Es importante tener en cuenta que hay varios medios posibles para asignar el tamaño de las muestras entre los estratos más allá de los tamaños de muestra iguales. Se debe consultar a un estadístico para asegurarse de que se aplican los diseños de muestreo óptimos.

En los tipos de muestreo descritos anteriormente, la probabilidad de que se seleccione una unidad geográfica o ubicación ha sido igual en todas las unidades o ubicaciones. Sin embargo, los diseños de muestreo con probabilidades desiguales, con diferentes probabilidades de selección, también pueden ser apropiados y a menudo son deseables en algunas situaciones. El muestreo con probabilidades desiguales se utiliza cuando se dispone de información auxiliar que debe tenerse en cuenta. Esta información puede utilizarse para mejorar (es decir, disminuir la variabilidad) nuestras estimaciones de las medidas de la enfermedad, o para aumentar nuestra probabilidad de detectar un patógeno si está presente dentro de nuestra extensión espacial. Por ejemplo, supongamos que creemos que la probabilidad de detectar un patógeno está relacionada con la densidad del huésped en el paisaje. Además, tenemos estimaciones de la densidad de huéspedes que varían espacialmente en nuestra extensión espacial de interés. Si hemos agregado nuestra extensión espacial, podemos estimar la densidad de cada célula. Luego, se puede utilizar el método de probabilidad acumulada para estimar la probabilidad de muestreo de cada celda de la cuadrícula. En general, los paquetes de software estadístico como el programa R (<https://www.r-project.org/>) pueden seleccionar fácilmente las unidades utilizando un diseño de muestreo con probabilidades desiguales. Otro uso común de los diseños de muestreo con probabilidades desiguales es utilizar la proximidad espacial de una celda de cuadrícula a la ubicación de un sitio donde se conoce que ocurrió un brote. Así, las celdas de la cuadrícula cercanas al brote se muestrean con una alta probabilidad, y esa probabilidad disminuye al aumentar la distancia del sitio. Si la extensión espacial de interés no está agregada, se pueden utilizar métodos de muestreo con probabilidades desiguales para generar ubicaciones geográficas; sin embargo, estas técnicas son más complicadas y se debe consultar a un estadístico. Por lo tanto, este tema no se abordará aquí.

Los detalles para la aplicación de estos tres diseños de muestreo se describieron en el [4° Ciclo del Manual de Formación sobre Investigaciones de Brotes de Enfermedades de la Fauna Silvestre](#), utilizando las investigaciones de brotes como estudios de caso. Sin embargo, las técnicas se aplicarán igualmente a la selección de unidades geográficas en las que llevar a cabo la vigilancia.

El último tipo de muestreo que describiremos es el muestreo de conveniencia, que es el tipo de muestreo más común, en particular para los esfuerzos de vigilancia general. Desafortunadamente, a pesar de ser el medio más común de selección de unidades para la vigilancia, también es el menos riguroso. El muestreo de conveniencia no se basa en una base probabilística para elegir las unidades o ubicaciones geográficas, sino que los investigadores utilizan su propio juicio para decidir qué cuadrículas o ubicaciones se seleccionan. La decisión suele basarse en consideraciones logísticas, como la facilidad de acceso. Aunque este enfoque de muestreo es el más fácil de aplicar, es problemático por varias razones. En primer lugar, no es repetible, lo cual es un principio de las investigaciones científicas. En segundo lugar, puede crear muestras sesgadas que conduzcan a conclusiones incorrectas. Por último, puede limitar en gran medida las conclusiones que pueden hacerse a partir de los datos recogidos, a menos que se hagan suposiciones fuertes y generalmente inválidas. No recomendamos el muestreo de conveniencia y sugerimos que se utilice un esquema de muestreo probabilístico siempre que sea posible.

Independientemente del tipo de muestreo que se utilice para seleccionar las unidades geográficas que se incluirán en el programa de vigilancia, el resultado final es una lista de unidades dentro de la extensión espacial de interés más amplia en la que se centrará el programa. Si es posible, sugerimos incluir a un estadístico en el diseño del programa de vigilancia. Éste puede aportar los conocimientos técnicos necesarios para garantizar que la

selección de las unidades geográficas, el número de unidades y los animales (descritos a continuación) se realice de una forma que se ajuste a los objetivos del programa.

## Tamaño de la muestra– ¿Cuántas unidades geográficas se deben incluir?

Determinar los tamaños de muestra necesarios cuando se incorporan consideraciones geográficas a los diseños de muestreo probabilístico puede ser complejo, ya que para un coste determinado existen compensaciones entre el número de unidades geográficas muestreadas y el número de individuos muestreados dentro de una unidad geográfica (descrito a continuación). En general, la siguiente información o una aproximación será mínimamente necesaria:

1. Nivel de precisión o confianza deseado para la medida utilizada por el programa de vigilancia.
2. Sensibilidad y especificidad de una prueba de diagnóstico.
3. Costes asociados al muestreo de unidades geográficas y animales individuales.
4. Variabilidad de la medida a lo largo de las unidades geográficas.
5. Variabilidad en las medidas entre los animales individuales dentro de las unidades geográficas.

Para los diseños de muestreo de una etapa, se pueden utilizar las herramientas utilizadas para determinar el tamaño de las muestras para los individuos de un solo sitio, como se describió anteriormente. Además, AusVet en <https://epitools.ausvet.com.au/> proporciona algunas herramientas para calcular el tamaño de las muestras cuando el objetivo es demostrar la ausencia de una enfermedad/patógeno utilizando un diseño de dos etapas. Las herramientas están configuradas para el muestreo de individuos en múltiples manadas, pero también pueden utilizarse para el muestreo de unidades geográficas reconociendo que las unidades geográficas pueden utilizarse en lugar de las manadas individuales. Sin embargo, en general, cuando se utilicen diseños de muestreo en dos etapas para estimar las medidas de intensidad de la enfermedad durante la vigilancia específica, será necesario consultar a un estadístico porque los tamaños de muestra requeridos de las unidades geográficas y de los animales individuales dentro de las unidades requerirán el cálculo de las variantes y a menudo serán un problema de optimización informática. En concreto, para encontrar la solución óptima puede ser necesario escribir un código informático personalizado para maximizar la precisión y minimizar los costes, y tendrá que adaptarse a cada investigación de brotes.

## Tamaño de la muestra – Cuántas muestras de vigilancia deben recogerse en una unidad geográfica

Esto es principalmente una consideración para el sistema de vigilancia específica, porque supuestamente se recogen tantos animales moribundos o muertos como sea posible en las unidades geográficas durante los programas de vigilancia general. Por lo tanto, dentro de cada unidad geográfica incluida en un programa de vigilancia específica, los cálculos del tamaño de la muestra pueden utilizarse para estimar el esfuerzo de muestreo de animales individuales que

se requiere para alcanzar los objetivos del programa de vigilancia. El primer paso para estimar los tamaños de muestra necesarios es definir claramente la población de interés. Esto puede ser bastante sencillo, por ejemplo, los murciélagos en un hibernáculo, o puede requerir un poco de "reflexión". Por ejemplo, una investigación sobre la mortalidad de aves migratorias que incluya varias especies. Cualquiera sea el caso, nunca se insistirá lo suficiente en la importancia de este paso porque determina el marco de muestreo, que proporciona el contexto para los cálculos del tamaño de la muestra. Por ejemplo, si digo "quiero recoger suficientes muestras a través de mi programa de vigilancia general para detectar una prevalencia del 1% del patógeno X con una confianza del 95%", pero no proporciono una definición de la población, esta afirmación no tiene ningún significado probabilístico. En otras palabras, esto significa que el requisito de la prevalencia del 1% supone intrínsecamente que hay una población a la que se aplica la prevalencia, y si falta la definición de la población, el valor del 1% no tiene ninguna interpretación. Definir la población también es importante para determinar la extensión espacial del muestreo (que se describe a continuación) que hay que realizar y es necesaria a la hora de comunicar los resultados.

Una vez establecida la población de interés, el número de animales que deben ser muestreados en el marco de un programa de vigilancia depende de tres factores principales:

1. El nivel de confianza deseado en las estimaciones generadas por los datos de la vigilancia. La mayoría de los programas de vigilancia, sin importar su objetivo, pretenden alcanzar un nivel de confianza del 95% o del 99%:
  - Si la finalidad del programa de vigilancia consiste en demostrar la ausencia de infección y ninguno de los animales analizados resulta positivo, el nivel de confianza mide hasta qué punto se puede estar seguro de que el patógeno no está presente en la población.
  - Si la finalidad del programa de vigilancia consiste en estimar la prevalencia del patógeno en la población, entonces el nivel de confianza indica hasta qué punto se puede estar seguro de que la prevalencia real está dentro del rango de prevalencia aparente calculado.
2. El tamaño o una estimación del mismo de la población de interés
  - La mayoría de las poblaciones salvajes son bastante grandes, por lo que el tamaño de la población de interés no influye mucho en cuántos animales es necesario incluir en el programa de vigilancia. Sin embargo, en contadas ocasiones, como en el caso de especies amenazadas o de otras poblaciones reducidas, el tamaño de muestra necesario calculado representa una proporción muy amplia de todos los animales de esa población o incluso un número mayor que la población total. En estas situaciones, es posible, y debería, recalcularse el tamaño de la muestra teniendo en cuenta que la población total es pequeña (véase más abajo).
3. Las características de las pruebas de diagnóstico usadas

Las pruebas de diagnóstico pocas veces son perfectas y pueden sobreestimar o subestimar el número de animales infectados o no infectados (descrito a continuación). Éste es específicamente el caso de las poblaciones de animales salvajes para las que existen pocas

pruebas de diagnóstico validadas. La sensibilidad y la especificidad de las pruebas de diagnóstico pueden hacer aumentar o disminuir el tamaño necesario del muestreo.

Utilizando esta información, existen algunas ecuaciones básicas que permiten calcular el tamaño de muestra necesario para los programas de vigilancia. Estas ecuaciones difieren un poco en función de la finalidad del programa. Para detectar una infección, o para demostrar que el patógeno no está presente o bien lo está por debajo de un determinado valor se puede utilizar la ecuación descrita a continuación para lograr una aproximación al tamaño de muestra requerido:

$$n = \left(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{D}}\right) \times \left(N - \frac{(D-1)}{2}\right),$$

donde  $\alpha$  = nivel de confianza deseado,  $N$  = número de animales de la población de interés,  $D$  = número de animales infectados en la población de interés, y  $n$  = tamaños mínimos de muestra necesarios para tener una confianza del 95% de que el patógeno está presente a o por debajo de una prevalencia específica, (es decir  $\frac{D}{N}$ ), si no se observan animales infectados. Dos propiedades fundamentales en cuanto al cálculo del tamaño de la muestra que se deben tener en cuenta son:

- cuánto más escasa se espere que sea la infección, mayor número de animales habrá que examinar y;
- cuanto mayor sea la población de interés, mayor número (pero menor proporción) de animales habrá que examinar.

La ecuación anterior presupone una sensibilidad y especificidad perfectas de la prueba de diagnóstico utilizada y, por tanto, no ha considerado las características de las pruebas de diagnóstico utilizadas. Cuando es necesario incluir las características de las pruebas de diagnóstico en los cálculos del tamaño de la muestra, éstos se complican y a menudo se resuelven numéricamente. Por suerte, hay una serie de herramientas disponibles que toman información sobre los tres factores descritos anteriormente y pueden utilizarse para determinar los tamaños de muestra necesarios. Un conjunto de herramientas disponible en Internet se llama EpiTools y se puede acceder a él en <https://epitools.ausvet.com.au/>. Este conjunto de herramientas es bastante amplio y constituye una valiosa herramienta de planificación de la vigilancia cuando se intenta detectar una enfermedad.

Si ya se ha detectado un patógeno en una población, a menudo se implementa un programa de vigilancia para determinar la intensidad de la enfermedad en una población. La cuestión es entonces cuántos animales hay que analizar para determinar la prevalencia del patógeno en la población de interés.

Para calcularlo, se recurre a diversas ecuaciones, aunque la información que se requiere es similar: 1) una estimación de la prevalencia real y 2) el nivel de confianza deseado o requerido. También es necesario decidir cuán próxima se quiere que esté la estimación de la prevalencia de sus datos de vigilancia de la prevalencia real. Cuando no se disponga de información adecuada sobre la prevalencia del patógeno en la población, se puede calcular el tamaño de la muestra en función de varias estimaciones diferentes, aunque posibles, de prevalencia, y luego adecuar el conjunto de tamaños de muestras obtenidos en función de los recursos disponibles.

Ecuaciones:

a) Para un nivel de confianza del 95%:  $n = \frac{4 \times P(1-P)}{L^2}$

b) Para un nivel de confianza del 99%:  $n = \frac{6.6 \times P(1-P)}{L^2}$

donde P = estimación de la prevalencia real del patógeno en la población de interés, y L = error permitido, que mide lo cerca que se quiere que estén la prevalencia aparente y la prevalencia real.

En general, cuanto más extrema sea la estimación de la prevalencia (es decir, si se cree que casi toda la población está infectada o, por el contrario, se piensa que prácticamente ningún animal está infectado), menor será el número de muestras necesario para alcanzar el nivel de confianza deseado. Cuando hay que incluir las características de la prueba en los cálculos del tamaño de la muestra, las ecuaciones anteriores son insuficientes, pero, de nuevo, existen programas disponibles en línea que calculan el tamaño de la muestra necesario para estimar la prevalencia, y tienen en cuenta las imperfecciones de las pruebas. Como ejemplo, se han introducido las mismas cifras en la página de Ausvet (<http://epitools.ausvet.com.au/content.php?page=PrevalenceSS>).

Si se está vigilando una población pequeña (p. ej., especies raras), convendrá corregir la estimación del tamaño de la muestra para adaptarlo a esa población reducida. En los ejemplos anteriores se ha determinado (asumiendo que la prueba es perfecta) que se necesitaban 3458 animales. Pero ¿qué ocurre si la población de interés solo cuenta con 5000 animales? Hay suficientes animales, pero puede resultar muy difícil obtener muestras de tantos especímenes. Si el tamaño de la muestra calculado representa el 10% o más de la población total, puede ajustarse el tamaño de la muestra mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{n^*} = \frac{1}{n} + \frac{1}{N},$$

donde  $n^*$  = tamaño de la muestra corregido,  $n$  = tamaño estimado de la muestra antes de la corrección de las ecuaciones anteriores o mediante una herramienta en línea, y  $N$  = tamaño de la población. Otra opción es añadir esa información al programa en línea EpiTools, que tendrá en cuenta el tamaño reducido de la población, así como los parámetros de comportamiento de la prueba.

En conclusión, todos los cálculos del tamaño de la muestra proporcionan estimaciones del tamaño mínimo requerido. Es recomendable aumentar el número de muestras por encima de ese valor mínimo, aunque se hayan tenido en cuenta las características de la prueba de diagnóstico, a fin de poder cubrir aquellos casos donde algunas de las muestras se hayan manipulado incorrectamente, se haya producido algún problema en el laboratorio o bien en caso de que surgiera cualquier otro acontecimiento inesperado.

## Qué animales se deben muestrear dentro de un área o población de interés

La elección de los animales que cabe incluir en el programa de vigilancia específica dependerá de los objetivos de dicho programa de vigilancia. Por ejemplo, si la finalidad del programa de vigilancia específica es detectar la llegada potencial de un nuevo patógeno, conviene centrarse en los animales que muestren signos clínicos del patógeno o de la infección. En este caso, solo

se pretende averiguar si el patógeno está presente en la población o no. Es más probable que el subgrupo de animales de esa población que manifiestan signos clínicos esté infectado con el patógeno de interés que el restante subgrupo, mucho mayor, de los animales aparentemente sanos. Al centrarnos en los animales enfermos, se está aumentando efectivamente la prevalencia real en la población de interés y, por lo tanto, la prueba de laboratorio que se use en el programa de vigilancia predecirá de forma más efectiva la infección (mejores valores predictivos positivos). Esta idea es la base de la vigilancia del índice de masa corporal, que se ha utilizado para aumentar la eficacia de la detección de la caquexia crónica en Norteamérica.

Por el contrario, cuando el propósito del programa de vigilancia específica de las enfermedades de la fauna salvaje sea determinar la prevalencia de un patógeno en una población, los animales muestreados deberán asemejarse lo máximo posible al conjunto de su población (es decir, si las hembras representan el 60% de la población total, lo idóneo sería que el 60% de los animales del muestreo fueran igualmente hembras). Pero no es fácil obtener una muestra representativa de una población de animales salvajes. Idealmente, a fin de garantizar que la muestra de animales es representativa del conjunto de una población, debería adoptarse un enfoque basado en el muestreo aleatorio. Por desgracia, los muestreos verdaderamente aleatorios rara vez son posibles en el caso de la vigilancia de los animales salvajes. Además, por lo general, escasea la información sobre la población de interés y suelen faltar estimaciones adecuadas del número de animales que la componen, de su sexo, edad o ubicación. Por lo tanto, se debe hacer el máximo esfuerzo para obtener una muestra lo más representativa posible cuando el objetivo de la vigilancia es estimar la intensidad de una enfermedad o un agente patógeno dentro de una población o área de interés; sin embargo, se debe reconocer que puede existir un sesgo en las mediciones derivadas de una muestra no representativa.

## Sesgo

Siempre que se toma una muestra de una población, existe la posibilidad de que se introduzca un sesgo. Se entiende por muestra sesgada aquella que es sistemáticamente diferente del conjunto de población, que en esencia significa que las medidas pueden ser mayores o menores a lo que deberían ser. Por ejemplo, si las muestras son tomadas por cazadores, es posible que los animales cazados no sean representativos del conjunto de la población de interés. Puede que los cazadores tiendan a seleccionar preferentemente a los animales más grandes y sanos de una población. Puede que las muestras sean mayoritariamente de animales de más edad o que procedan más de un sexo que de otro. Si se obtienen muestras de animales capturados vivos, es posible que éstos sean de alguna manera diferentes del resto de la población. Todas estas diferencias introducen un sesgo en los hallazgos de la vigilancia, y puede que ni siquiera sea posible saber la dirección del sesgo en los resultados (es decir, si las estimaciones son demasiado altas o demasiado bajas). Por lo tanto, se debe tener en cuenta la existencia potencial de un sesgo a la hora de interpretar y comunicar los resultados.

# OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE LA FAUNA SILVESTRE PARA LAS PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO

El material de esta sección ha sido adaptado de:

White, C.L. y Dusek, R.J., 2015, Wildlife specimen collection, preservation, and shipment, in Franson, J.C., Friend, M., Gibbs, S.E.J., and Wild, M.A., eds., Field manual of wildlife diseases: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 15–C4, 24 p., <http://dx.doi.org/10.3133/tm15c4>.

## Elección del tipo de Muestra

A la hora de seleccionar un tipo de muestra para las pruebas de diagnóstico durante la vigilancia de la fauna salvaje deberán tenerse en cuenta tanto el objetivo de la vigilancia como la disponibilidad de especímenes (Cuadro 1). Para determinar la causa de la muerte, normalmente se necesitan varios cadáveres frescos e intactos de animales afectados, de modo que puedan examinarse los tejidos para detectar lesiones macroscópicas y microscópicas, así como recogerse para las pruebas de diagnóstico. Cuando el objetivo de la obtención de muestras es determinar la presencia de agentes patógenos que circulan en animales aparentemente sanos o cuando los animales enfermos no pueden ser capturados o eutanasiados, se pueden recoger diversas muestras de animales vivos. Entre ellas se encuentran la sangre, el pelo, las plumas, las heces, los ectoparásitos o las muestras obtenidas mediante el hisopado de lesiones u orificios. La obtención de muestras ambientales (por ejemplo, agua, suelo, heces) también puede ser útil cuando los agentes patógenos son causados por (por ejemplo, las toxinas producidas durante las floraciones de algas nocivas) o persisten en el medio ambiente (por ejemplo, el ántrax).

## Elección de ejemplares individuales para la toma de muestras

Durante la investigación de un evento de mortalidad, una combinación de animales enfermos eutanasiados (después de observar y registrar los signos clínicos) y los cadáveres más frescos disponibles son los especímenes ideales para la evaluación diagnóstica. Si se examinan de 2 a 3 especímenes enfermos y muertos de cada especie afectada, se maximizará la capacidad de detectar la presencia de múltiples enfermedades, lo que suele ocurrir durante un evento de mortalidad. Para la evaluación diagnóstica deben utilizarse los cadáveres más frescos, ya que el proceso de descomposición puede impedir la capacidad de detectar lesiones en los tejidos, así como la presencia de patógenos. Los animales que han muerto recientemente suelen tener las siguientes características: los ojos están intactos (preferiblemente no hundidos ni nublados), las plumas/pelo no se arrancan fácilmente, no hay olor perceptible y no hay carroñeo aparente. Antes de proceder a la eutanasia de los animales, debe considerarse el tipo de pruebas que deben realizarse. Por ejemplo, los disparos o el aturdimiento en la cabeza no deben utilizarse en el caso de enfermedades como la rabia, que requieren muestras de cerebro para las pruebas. La inyección letal de productos químicos también puede afectar a los resultados de las pruebas de diagnóstico de algunos patógenos.

Tabla 1. Tipos de muestras comunes utilizados para detectar la presencia o la exposición de agentes causantes de enfermedades en la fauna salvaje. Las Fichas Técnicas de Enfermedades que no figuran en la lista de la OMSA proporcionan información adicional sobre el tipo de muestras y las pruebas necesarias para las enfermedades importantes de la fauna silvestre.

Tipo de Muestra	Usos	Ejemplos	Comentarios
Cadáveres intactos	Determinación de la causa de la muerte/ morbilidad	Diversos agentes infecciosos (virales, bacterianos, parasitarios) o no infecciosos (sustancias tóxicas)	Permite analizar múltiples tejidos en busca de múltiples patógenos y examinar los tejidos en busca de lesiones macroscópicas y microscópicas
Sangre	Evidencia de exposición o exposición previa a diversos agentes patógenos (anticuerpos) y contaminantes (por ejemplo, residuos o actividad enzimática alterada) y presencia de agentes patógenos transmitidos por la sangre (por ejemplo, hematozoos)	Morbillivirus, herpesvirus endotrópico del elefante, gripe equina  Plomo, intoxicación por insecticidas, mercurio, bifenilos policlorados  Paludismo, leucocitosis, babesiosis	El hecho de que los anticuerpos indiquen una infección actual o una exposición previa depende de la enfermedad y a veces de la especie. A veces se puede utilizar la evaluación de pares de individuos para establecer el estado de la infección.
Hisopos	Presencia y excreción de patógenos	Influenza Aviar (hisopos cloacales e hisopos orofaríngeos o traqueales)  Batrachochytrium dendrobatidis (hisopo de piel)	Útil para el muestreo de un gran número de especímenes para un solo patógeno (vigilancia específica); no indica si el patógeno está causando la enfermedad
Heces	Excreción de patógenos, presencia de parásitos.	Salmonella, Escherichia coli, Cryptosporidium spp., Paratuberculosis  Toxoplasmosis gondii, Sarcocystis neurona	Útil para determinar la presencia de un patógeno o parásito en una población o área cuando la captura de animales no es posible. Es difícil emparejar los resultados con animales individuales. No indica si el patógeno está causando la enfermedad en la población.



# Toma de Muestras de la fauna silvestre

## Toma y conservación de muestras de cadáveres

La obtención de los cadáveres debe realizarse con el equipo de protección personal adecuado (guantes como mínimo) y cada animal debe colocarse individualmente en una bolsa o contenedor antes de abandonar el lugar del evento. Al recoger los cadáveres, se debe tener cuidado para evitar la propagación de fluidos infecciosos de los cadáveres en el medio ambiente y todo el equipo de campo debe limpiarse y desinfectarse antes de abandonar el lugar.

Enfriar los cadáveres lo antes posible después de recogerlos ayudará a ralentizar el proceso de descomposición, que descompone los tejidos y hace proliferar las bacterias que pueden interferir en la detección de organismos patógenos. Los procesos de descomposición se aceleran a temperaturas más altas; por lo tanto, es especialmente importante durante los meses más cálidos utilizar una nevera con hielo o bolsas de hielo para transportar los cadáveres desde el lugar donde se recogen. Si es necesario examinar los tejidos para detectar lesiones macroscópicas o microscópicas (histología), los cadáveres no deben congelarse, ya que la congelación provoca la ruptura de la membrana celular e interfiere en la interpretación del daño en los tejidos causado por un patógeno. Sin embargo, la congelación no interfiere con la mayoría de las pruebas de detección de patógenos, incluidos los cultivos bacterianos, víricos y fúngicos, los residuos químicos, las pruebas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la identificación de parásitos. Por lo tanto, la congelación se recomienda generalmente si los cadáveres no pueden ser examinados dentro de las 72 horas siguientes a su obtención.

## Toma de Muestras de Tejidos

Cuando no es posible recoger un cadáver entero para realizar pruebas de diagnóstico, se pueden extraer muestras de tejido de varios órganos y conservarlas para su análisis. Antes de disecar un animal, debe realizarse una evaluación externa para observar cualquier anomalía, ya que puede proporcionar pistas iniciales sobre la causa del suceso. Los suministros y equipos básicos que se deben incluir en un kit de campo para la recogida de tejidos variarán en función de las especies de las que se tomen muestras y de los tipos de análisis de laboratorio. Disponer de un kit pre empaquetado con los suministros básicos de muestreo almacenados con los kits de recogida de cadáveres en la oficina o en el vehículo mejorará las posibilidades de tener todo lo que se necesita cuando se necesita, ya que los eventos de mortalidad pueden ocurrir en cualquier momento.

Las pequeñas bolsas de plástico a prueba de filtraciones son contenedores de muestras de tejido útiles y económicos. La identificación de los ejemplares debe escribirse directamente en la bolsa con un rotulador resistente al agua. Si se observan lesiones, se deben recoger varias muestras de ellas si es posible. Cada muestra para microbiología y virología debe ser de aproximadamente 1 gramo (g). Aproximadamente 2 g de tejido suelen ser suficientes para las pruebas toxicológicas, pero pueden necesitarse de 5 a 10 g si se van a realizar varias pruebas toxicológicas. Para la histología, las secciones no deben tener más de 1 cm de grosor para permitir que el fijador penetre en el tejido. Las muestras de tejido deben incluir la totalidad o partes de la lesión, así como el tejido adyacente aparentemente sano.

Las muestras de tejidos deben enfriarse o congelarse rápidamente si no pueden examinarse en un plazo de 72 horas. Si se dispone de conservantes, los tejidos para histología pueden colocarse inmediatamente en formalina tamponada al 10% o en una solución de etanol al 95% (excepto en el caso de los anfibios, en los que debe utilizarse etanol al 70-75%). Si se utiliza formalina, debe tenerse especial cuidado para evitar el contacto con la piel o la inhalación de los vapores. Algunos patógenos también pueden detectarse mediante técnicas moleculares en muestras almacenadas en solución de formol al 10% (o etanol); sin embargo, se debe contactar al laboratorio que realiza el análisis si no se está seguro de si los conservantes afectarán al análisis. El volumen de conservante debe ser aproximadamente 10 veces el volumen del tejido. Los recipientes de almacenamiento pueden ser de vidrio, plástico o metal, pero tenga en cuenta que algunos materiales plásticos y metálicos pueden contener sustancias que interfieren con el análisis químico, por lo que es prudente ponerse en contacto con el laboratorio antes de la obtención si estos análisis pueden ser necesarios. Después de 2 ó 3 días en formol al 10%, los tejidos pueden transferirse a bolsas de plástico a prueba de filtraciones que contengan suficiente formol para mantener los tejidos húmedos. Los números de identificación de las muestras pueden escribirse con rotulador permanente o lápiz en una tarjeta de papel que se coloca dentro de la bolsa con los tejidos. La información de identificación también debe escribirse en la propia bolsa. Las bolsas deben guardarse de manera que se evite que los tejidos se aplasten.

## Toma de muestras de sangre

Las personas que recojan muestras de sangre de animales vivos deben recibir formación sobre las técnicas de extracción de sangre y la sujeción de los animales para evitar lesiones traumáticas al animal y a la persona que toma las muestras. El uso de anestésicos puede ser necesario cuando el procedimiento de toma de muestras cause más que dolor o angustia leve o momentánea. Las muestras de sangre pueden utilizarse para una variedad de análisis, incluyendo el cribado sanitario, la detección de patógenos o la exposición (por ejemplo, anticuerpos) y el análisis de contaminantes. Las pruebas de diagnóstico pueden ir desde la determinación relativamente sencilla del volumen celular empaquetado (PCV) para la anemia y la preparación de frotis de sangre para examinar la presencia de parásitos en la sangre hasta el análisis más complejo de PCR para la detección de ARN de patógenos y las técnicas de aislamiento de virus. Aunque existen numerosas pruebas para diversos componentes sanguíneos, algunos de los tipos de muestras más comunes son el hematocrito, los frotis/ extendidos de sangre delgados, el suero sanguíneo, el plasma sanguíneo, la conservación del ADN o el ARN tanto de los patógenos como de los huéspedes, y la sangre entera.

El número y los tipos de pruebas a realizar, así como el tamaño del animal, determinan el volumen de sangre y las técnicas de conservación necesarias para obtener un resultado preciso. Para las aves y los mamíferos, una regla de conservación a seguir es que la cantidad de sangre extraída de una sola vez de un animal sano debe ser  $\leq 1\%$  de su peso corporal. La relación entre el volumen de sangre y el peso de los reptiles es ligeramente inferior y las extracciones de sangre deben limitarse al 0,5-0,8% del peso corporal de los animales sanos (Campbell, 1996). Los lugares de extracción de sangre y el tamaño de los instrumentos varían según el taxón y el tamaño del animal y pueden encontrarse en numerosos manuales veterinarios y en el material publicado.

El uso previsto dictará si se necesita sangre entera, plasma o suero, así como el método de manipulación, procesamiento y almacenamiento posterior a la recogida. Los tubos y frascos que pueden centrifugarse son los más utilizados para el almacenamiento de las muestras de sangre. En algunos casos, se pueden utilizar tubos con un separador de suero para permitir la

congelación sin transferir el suero a otro tubo de almacenamiento una vez centrifugada la muestra. Varios tipos de tubos también pueden promover o prevenir la coagulación o proporcionar aditivos adicionales necesarios para pruebas específicas.

Al igual que en el caso del almacenamiento de cadáveres, la refrigeración o la congelación son fundamentales para evitar la degradación de la muestra, ya sea por el calor o por la proliferación de bacterias. Una vez secos, los frotis de sangre pueden almacenarse generalmente a temperatura ambiente. El suero y los glóbulos rojos pueden almacenarse normalmente congelados hasta el análisis; la temperatura preferida es  $< -70\text{ }^{\circ}\text{C}$  si se pretende aislar el virus u otros organismos. Las manchas de sangre secas en tiras de papel de filtro deben almacenarse preferentemente congeladas, o al menos refrigeradas hasta su análisis. Con los conservantes adecuados para el análisis, algunas muestras pueden almacenarse a temperatura ambiente.

## Toma de Muestras con Hisopo

Los hisopos pueden utilizarse para tomar muestras de un gran número de animales vivos o muertos para detectar la presencia de muchos tipos de patógenos. Los patógenos que se desprenden de las membranas mucosas se detectan a menudo mediante el uso de hisopos traqueales (normalmente utilizados en aves muertas), hisopos orofaríngeos, cloacales o nasales. Se pueden utilizar hisopos de materiales fecales y ambientales para comprobar la persistencia ambiental de los patógenos o cuando no se dispone de hisopos directos de los animales.

La ubicación adecuada del hisopo puede determinarse según el tipo de patógeno y su modo de transmisión (secreciones respiratorias, heces, etc.). Por ejemplo, los hisopos orales pueden ser apropiados para la detección de virus transmitidos en las secreciones respiratorias, pero pueden no serlo para la detección de las bacterias implicadas en una infección oral, ya que el hisopado aleatorio de la cavidad oral probablemente arrojaría una mezcla de bacterias orales y ambientales comunes. Deben utilizarse elementos de toma de muestras, contenedores de muestras, medios de cultivo y almacenamiento adecuados para garantizar una recuperación óptima de los microorganismos (Koneman y otros, 1997) durante las pruebas de diagnóstico. La toma y almacenamiento inadecuados pueden dar lugar a resultados falsos.

## Toma de otras muestras comunes no invasivas

Las muestras fecales pueden utilizarse para determinar la presencia de virus o bacterias, parásitos gastrointestinales, el estado nutricional y reproductivo y el estrés (Bechert, 2012; Leendertz y otros, 2006; Waits y Paetkau, 2005). La orina también se ha utilizado para detectar patógenos y examinar el estado reproductivo, la función urinaria y el estrés en la fauna silvestre (Bechert, 2012; Cameron y otros, 2008; Leendertz y otros, 2006). Las técnicas de recogida y almacenamiento dependerán de la aplicación del estudio y del tipo de análisis que se vaya a realizar (Palme y otros, 2005).

## Recolección de Anfibios

Los anfibios se descomponen rápidamente y suelen presentar un gran número de bacterias y hongos en todo su cuerpo para cuando llegan a un laboratorio de diagnóstico. Por lo tanto, los anfibios vivos y enfermos se consideran generalmente los mejores ejemplares de diagnóstico para obtener cultivos bacterianos significativos y la mayoría de los tipos de cultivos de hongos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todos los laboratorios de diagnóstico tienen protocolos y aprobaciones para manejar ejemplares de anfibios vivos.

Los anfibios muertos pueden ser adecuados para realizar cultivos de virus, exámenes microscópicos (histología) y pruebas toxicológicas. Sin embargo, los anfibios se descomponen rápidamente y son eliminados rápidamente por los depredadores, por lo que los animales afectados suelen tener que ser recogidos el mismo día en que se encuentran. Si es posible, alrededor de la mitad de los cadáveres recogidos debe conservarse en un fijador (para poder examinar los tejidos) y la otra mitad debe congelarse (para permitir la detección de patógenos). Los fijadores que se utilizan habitualmente son la formalina tamponada al 10% o el etanol al 70-75%. Si hay un pequeño número de canales frescos, se pueden recoger hisopos de la boca, el hocico, la piel y las anomalías cutáneas (lesiones) antes de sumergir el animal en el fijador. Antes de sumergir el cadáver en el fijador, la cavidad corporal debe abrirse a lo largo de la línea media ventral para asegurar la fijación de los órganos internos. Durante los primeros 3 ó 4 días de fijación, el volumen de fijador en relación con el volumen de las canales debe ser de al menos 10:1. Transcurridos 3 ó 4 días de fijación, los cadáveres pueden transferirse a una cantidad mínima de fijador fresco, lo que evita que el ejemplar se seque.

## Descontaminación/ Desinfección del Equipo de Campo

Antes de abandonar una zona en la que se recojan cadáveres, se deben quitar los guantes y la ropa exterior y depositarlos en una bolsa doble. Las botas y el exterior de las bolsas de plástico deben desinfectarse con un desinfectante comercial o con una solución de lejía (hipoclorito de sodio) al 10% (1 parte de lejía por 9 partes de agua). Los ejemplares individuales deben ser etiquetados y luego pueden ser embolsados juntos en una segunda bolsa antes de retirarlos de la zona. Estas precauciones ayudarán a proteger a las personas en el campo y a minimizar la transmisión de la enfermedad a las poblaciones de fauna silvestre no afectadas.

Es importante lavar y desinfectar todo el equipo de campo que haya estado en contacto con animales y superficies en el lugar del evento de la enfermedad (redes, trampas para peces, trípodes, instrumentos para medir la calidad del agua), así como los neumáticos y los huecos de las ruedas de los vehículos y barcos utilizados para acceder al lugar. Se debe utilizar un disolvente (agua) o jabón (preferiblemente biodegradable) para limpiar los trozos de barro y los residuos o la vegetación. Una solución de lejía de uso doméstico al 10% es uno de los desinfectantes más utilizados por su eficacia, disponibilidad y rápida descomposición en el medio ambiente. Las soluciones de lejía requieren un tiempo de contacto de 10 minutos con las superficies para completar la desinfección.

La desinfección implica el uso de un producto químico para eliminar los microorganismos, pero como los desinfectantes no pueden penetrar en los trozos de barro y escombros, sólo deben utilizarse después de haber lavado los objetos. Los objetos libres de barro y desechos deben sumergirse completamente en la solución desinfectante o mojarse completamente con ella. Los jabones y desinfectantes no deben desecharse en las aguas superficiales, ya que muchos son tóxicos para los anfibios, peces e invertebrados.

# PRINCIPIOS GENERALES DE LAS PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO REALIZADAS EN LA FAUNA SILVESTRE

La interpretación de los resultados de las pruebas realizadas a partir de ejemplares de la fauna salvaje puede resultar complicada por la falta de datos de referencia y de pruebas validadas para el patógeno o la especie de interés. La validación de una prueba de diagnóstico, que incluye la determinación de la sensibilidad y la especificidad de una prueba, requiere tiempo, dinero y experiencia, por lo que, cuando se validan las pruebas, a menudo sólo se hace para un pequeño número de especies. Las directrices para la validación de ensayos en la fauna silvestre están disponibles en el capítulo 3.6.7 del Manual de las Pruebas de Diagnóstico y de las Vacunas para los Animales Terrestres de 2017. Los dos escenarios descritos en ese capítulo incluyen el proceso de validación de pruebas para nuevos patógenos, así como la validación de pruebas existentes para nuevas especies.

Algunas cuestiones clave que deben considerarse antes de iniciar las pruebas de diagnóstico son:

- ¿Se ha validado la prueba en la especie huésped y el patógeno de interés?
- ¿Qué pretende medir esta prueba? (por ejemplo, la exposición pasada, la presencia de patógenos), y ¿cumple sus objetivos?
- Teniendo en cuenta la calidad de las muestras obtenidas, ¿qué fiabilidad tendrá esta prueba?
- ¿Cuáles son las características (por ejemplo, la sensibilidad y especificidad) de la prueba?
- ¿La prueba es de fácil acceso en su región? Si no es así, ¿hay otros laboratorios que puedan realizar la prueba?
- ¿Qué recursos se necesitan para llevar a cabo la prueba?
- ¿Existen mandatos legales o reglamentarios que exijan pruebas específicas?

Cuando no se dispone de pruebas validadas para la especie de interés, otra táctica para seleccionar una prueba adecuada es utilizar aquellas que difícilmente vayan a verse afectadas de forma significativa por el tipo de especie animal huésped de la que se tomaron las muestras. Por ejemplo, una prueba que detecte directamente un patógeno, como un cultivo bacteriano de un tejido, tendrá menos probabilidades de verse afectada por la especie hospedadora que una prueba basada en la respuesta del animal frente a una infección, como una prueba de anticuerpos u otros tipos de pruebas basados en la respuesta inmune generada (Tabla 2). Las Fichas Técnicas de Enfermedades de la fauna silvestre que no figuran en la lista de la OMSA también pueden servir de guía útil para el diagnóstico de varias enfermedades importantes de la fauna silvestre.

Los campos emergentes de la genómica y la metabonomía también se están aplicando cada vez más a la epidemiología de la fauna salvaje (Blanchong et al. 2016). La genómica es el estudio de los genes de un organismo, incluidas las interacciones de esos genes entre sí y con el medio ambiente, y aplica las técnicas de la genética y la biología molecular a la cartografía genética y la secuenciación del ADN de conjuntos de genes o de los genomas completos de organismos seleccionados. Esta tecnología se ha utilizado de forma exitosa para identificar el origen y la transmisión de brotes recientes, incluidos los virus del Ébola y de la gripe aviar (Gire et al. 2014, Lam y Pybus 2018). Del mismo modo, la metabonomía mide el conjunto completo de metabolitos presentes en un organismo o en muestras biológicas asociadas, y examina los cambios que se producen en ellos debido a perturbaciones como la infección o la enfermedad (Nicholson y Lindon 2008). La metabonomía está estrechamente relacionada con la metabolómica, y aunque hay cierto desacuerdo sobre las diferencias entre estos dos campos, la metabolómica se centra generalmente en los metabolitos creados a nivel celular u orgánico bajo el metabolismo endógeno normal; mientras que la metabonomía se centra en los efectos de los factores exógenos, como las enfermedades, y en comprender el cambio sistémico a través del tiempo de estos factores en los perfiles metabólicos de los sistemas multicelulares complejos. Por último, la transcriptómica es el estudio de los transcritos de ARN de una célula, tejido u organismo.

Tabla 2. Ejemplos de pruebas de diagnóstico para la vigilancia de las enfermedades de la fauna silvestre y la probabilidad de verse afectadas por la especie hospedadora.

	<b>Menor probabilidad de verse afectada por la especie animal hospedadora</b>	<b>Opción intermedia</b>	<b>Mayor probabilidad de verse afectada por la especie animal hospedera</b>
<b>Pruebas de detección de patógenos</b>	Identificación directa: p. ej., parásitos. Cultivo bacteriano, fúngico, protozario PCR Inmunohistoquímica Análisis químico (toxicología)		
<b>Pruebas de anticuerpos u otro tipo de respuestas inmunes</b>	Neutralización del virus ELISA de bloqueo (competitivo)		Mayor parte de las pruebas serológicas (ej.: ELISA)  Pruebas cutáneas de antígenos (ej., TB)
<b>Otras</b>	Genómica	Actividad colinesterasa cerebral <sup>a</sup>	Metabolómica Transcriptómica

<sup>a</sup> La actividad colinesterasa cerebral Se emplea como prueba de detección para el envenenamiento por organofosforados y carbamatos. Sin embargo, las especies animales varían enormemente en contextos normales

## Calidad de la Muestra

El estado de las muestras puede afectar significativamente los resultados de las pruebas. De hecho, si los cadáveres presentan un proceso de autólisis muy avanzado, puede que ni siquiera sea posible realizar las pruebas de diagnóstico. En general, la obtención de muestras biológicas de animales moribundos o de muertes recientes proporciona la mayor cantidad de opciones para las pruebas de diagnóstico. Sin embargo, si no es posible obtener muestras frescas, una opción posible son las pruebas para el diagnóstico del patógeno buscado, en particular las técnicas de base molecular que no requieren un agente viable. Un segundo aspecto a tener en cuenta es la manipulación de la muestra una vez obtenida. La manipulación puede influir directamente en la calidad de la muestra y puede afectar a la utilidad de una prueba de diagnóstico. La manipulación implica muchos aspectos diferentes, como la temperatura, el medio de transporte, el tiempo transcurrido desde su obtención hasta el momento en que se realiza la prueba diagnóstica y el tipo de recipiente.

## Características de las pruebas de diagnóstico

A la hora de seleccionar una prueba de diagnóstico, es esencial conocer las características de la prueba y qué tan bien funciona. Si una prueba arroja con frecuencia resultados incorrectos, su utilidad para la vigilancia o la investigación de brotes puede ser limitada. La evaluación de la probabilidad de que una prueba arroje resultados precisos puede determinarse mediante el proceso de validación de la prueba. La validez de la prueba incluye dos componentes: la sensibilidad y la especificidad.

La sensibilidad y la especificidad se pueden determinar mediante el uso de tablas de 2X2, como se ejemplifica a continuación. El concepto clave que cabe retener aquí es que un resultado positivo en una prueba de diagnóstico no siempre significa que el patógeno buscado esté efectivamente presente o que el animal haya estado expuesto a él. Y, del mismo modo, un resultado negativo no siempre significa que el patógeno esté ausente.

ESTATUS REAL DEL PATÓGENO		
RESULTADO POSITIVO	Verdaderos positivos (A)	Falsos positivos (B)
RESULTADO NEGATIVO	Falsos negativos (C)	Verdaderos negativos (D)

- La sensibilidad es la capacidad de una prueba para identificar correctamente a los animales con la enfermedad/patógeno (es decir, los verdaderos positivos)

$$\text{Sensibilidad (SE)} = A/A + C$$

- La especificidad es la capacidad de una prueba para identificar correctamente a los animales que no tienen la enfermedad/patógeno (es decir, los verdaderos negativos).

$$\text{Especificidad (ES)} = D/D+B$$

Una prueba con sensibilidad baja subestimaría la prevalencia real del patógeno (la prueba podría no identificar muchos animales infectados).

Esto contrasta con una prueba con especificidad baja que sobreestimaría la prevalencia real del patógeno (muchos animales no infectados dan positivo). Es posible que nunca se conozca realmente la prevalencia real de una población, a menos que todos los animales de la población hayan sido sometidos a una prueba con una precisión del 100%, lo que es extremadamente raro para cualquier prueba, incluso las utilizadas para la salud humana. La buena noticia es que cuando se conocen la sensibilidad y la especificidad de la prueba, podemos calcular la prevalencia aparente y utilizar esta información para estimar la prevalencia real.

- La prevalencia aparente es el número de animales que dan positivo en una prueba de diagnóstico dividido por el número total de animales de la muestra analizada.

$$\text{Prevalencia Aparente (PA)} = \frac{A+B}{A+B+C+D}$$

$$\text{Prevalencia Real (PR)} = \frac{AP + ES}{SE + ES} - 1$$

Entender estos conceptos no solo es útil para la correcta interpretación de las pruebas, sino que también puede orientar la elección de la prueba en función de si el objetivo de la misma es “descartar” o “incluir” un agente concreto.

- Se debe utilizar una prueba de sensibilidad alta si el objetivo principal de las pruebas de diagnóstico es “descartar” la presencia de un agente específico o demostrar la ausencia de la enfermedad. Esto se debe a que una prueba de sensibilidad alta tiene una baja probabilidad de que un animal infectado/enfermo dé un resultado negativo (bajo número de falsos negativos).
- Se debe utilizar una prueba de especificidad alta si el objetivo principal de las pruebas de diagnóstico es “incluir” la presencia de un agente o una enfermedad específicos. Esto se debe a que una prueba de especificidad alta tiene una baja probabilidad de que un animal sano dé positivo (bajo número de falsos positivos).

Lo cierto es que las investigaciones y la vigilancia de la fauna silvestre pueden no tener una prueba validada o no conocer la prevalencia real subyacente. Pero los conceptos anteriores pueden seguir siendo útiles. Por ejemplo, una prueba de PCR para un patógeno suele ser más sensible que un método basado en el cultivo, por lo que puede ser la elección correcta si la prioridad es limitar el número de falsos negativos. También se pueden realizar pruebas múltiples en serie o en paralelo para mejorar la precisión de los resultados.

- El muestreo en serie se realiza analizando las muestras varias veces y declarando un resultado positivo sólo si todas las pruebas detectan el agente.

Para las actividades de vigilancia se suele realizar un muestreo en serie en el que se utiliza primero una “prueba de detección” más económica y de alta sensibilidad. Las muestras que resultan positivas se vuelven a analizar posteriormente con una prueba de confirmación más cara

y de alta especificidad. Para que se declare un resultado positivo, un animal debe haber dado positivo en la primera y en la segunda prueba.

- El muestreo paralelo consiste en analizar las muestras con varias pruebas y declarar una detección positiva si al menos una de las pruebas arroja un resultado positivo.

Para que se declare un resultado positivo cuando se utiliza el muestreo paralelo, un animal debe dar positivo en la primera o la segunda prueba. El muestreo paralelo se suele utilizar para aumentar la sensibilidad, pero se debe tener en cuenta que disminuye la especificidad. En el [4to Ciclo del Manual de Formación para los Puntos Focales de la Fauna Silvestre de la OMSA](#) se ofrece información adicional sobre la relación entre la sensibilidad y la especificidad durante las pruebas múltiples.

## Disponibilidad de las Pruebas

La disponibilidad de una prueba de diagnóstico deseada es otro aspecto a tener en cuenta para la elección de la prueba. Si la prueba preferida no está fácilmente disponible, puede ser necesario ver si otras regiones tienen la capacidad y la predisposición de asociarse para llevar a cabo el diagnóstico. Estas asociaciones ofrecen una excelente oportunidad para crear colaboraciones y redes regionales de socios que puedan apoyarse mutuamente en la realización de investigaciones sobre brotes de fauna salvaje. La mayoría de los países no cuentan actualmente con los recursos necesarios para mantener un laboratorio de diagnóstico exclusivo para las enfermedades de los animales salvajes. La identificación de las enfermedades de los animales salvajes suele hacerse en laboratorios establecidos para el diagnóstico veterinario o médico.

- Laboratorios de diagnóstico veterinario gubernamentales
- Laboratorios de diagnóstico de facultades/ universidades de veterinaria
- Laboratorios de diagnóstico veterinario privados
- Laboratorios médicos gubernamentales
- Laboratorios médicos privados
- Laboratorios de investigación universitarios
- Laboratorios de Hospitales
- Laboratorios médicos o veterinarios militares

Los laboratorios internacionales y regionales, como la red de laboratorios y centros colaboradores de la OMSA, son otro recurso potencial. La OMSA ha designado laboratorios particulares, en función de su experiencia, como Laboratorios de Referencia de la OMSA para algunos patógenos.

- Centros Colaboradores de la OMSA: <https://www.woah.org/es/que-ofrecemos/red-de-expertos/centros-colaboradores/#ui-id-3>

- Laboratorios de Referencia de la OMSA: <https://www.woah.org/es/que-ofrecemos/red-de-expertos/laboratorios-de-referencia/#ui-id-3>

Estos laboratorios pueden ser recursos invaluable para el análisis de patógenos específicos e interpretación de los resultados de las pruebas. El envío de muestras a los laboratorios de referencia de la OMSA puede plantear problemas, como la concesión de permisos entre países, que deben investigarse para determinar si el envío de muestras a estos laboratorios es una opción viable. Si no se pueden superar estos obstáculos, puede ser necesario utilizar una prueba de diagnóstico diferente, aunque sea menos preferible.

## Recursos Necesarios

Los recursos necesarios son un aspecto importante a la hora de seleccionar una prueba de diagnóstico. Establecer la disponibilidad de fondos para las pruebas de diagnóstico durante la investigación de un brote puede limitar la elección de las pruebas de diagnóstico. Algunas pruebas también pueden requerir equipos, materiales (por ejemplo, un medio particular) o personal especializado para la obtención o interpretación, y estos factores también deben considerarse antes de seleccionar una prueba.

## Mandatos Legales

Una última consideración es si existen mandatos legales específicos asociados a las pruebas para un patógeno o agente. Por ejemplo, dentro de los Códigos Sanitarios para los Animales Terrestres y Acuáticos de la OMSA, se prescriben pruebas para patógenos específicos "para garantizar la seguridad sanitaria del comercio internacional de animales terrestres y acuáticos, y sus productos". Por lo tanto, para demostrar que un brote no está causado por un patógeno específico de la lista de la OMSA, deben realizarse estas pruebas particulares. Los Manuales para los Animales Terrestres y Acuáticos proporcionan más orientación sobre la aplicación específica de las pruebas.

- Enfermedades, Infecciones e Infestaciones de la Lista de la OMSA: [https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmfile=chaptre\\_oie\\_listed\\_disease.htm](https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmfile=chaptre_oie_listed_disease.htm)
- Código Sanitario para los Animales Terrestres: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/>
- Manual de las Pruebas de Diagnóstico y de las Vacunas para los Animales Terrestres 2021: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-terrestre/>
- Código Sanitario para los Animales Acuáticos: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-acuatico/>
- Manual de las Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuáticos 2021: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-acuatico/>

# RECOPIACIÓN DE DATOS DURANTE UN EVENTO DE MORTALIDAD

La mayoría de las investigaciones de brotes de enfermedades de la fauna silvestre buscan definir respuestas sobre quién (que población se ve afectada), qué (etiología de la enfermedad), dónde (extensión geográfica del problema), y cuándo (marco temporal del evento) para un evento de enfermedad de la fauna silvestre. Los datos recopilados durante un evento de morbilidad o mortalidad son fundamentales para entender los factores que causaron el evento. Por ejemplo, registrar la existencia reciente de un evento meteorológico como una tormenta de granizo puede servir para entender por qué el diagnóstico primario en una gran mortalidad de aves acuáticas resultó en un impacto contundente. Muchas enfermedades, como el botulismo o las floraciones de algas nocivas, son causados por factores ambientales, por lo que el registro de la información (por ejemplo, las altas temperaturas y la escasez de precipitaciones) puede acelerar y garantizar las pruebas de diagnóstico adecuadas.

Los datos necesarios para investigar la morbilidad y la mortalidad de la fauna salvaje pueden desglosarse en dos niveles: datos a nivel de evento y datos a nivel individual. Los datos a nivel individual deben recogerse para cada ejemplar que vaya a someterse a pruebas de diagnóstico y asociarse (mediante números de identificación o algún otro sistema) con los datos a nivel de evento.

**Datos a nivel individual** (recogidos para cada uno de los ejemplares sometidos a la prueba):

- Especie
- Sexo y edad (si se conoce)
- Fecha de recolección
- Lugar de recolección
- Identificación del evento (u otro tipo de mecanismo de asociación con los datos a nivel del evento)
- Método de conservación (ej.: en frío, congelado, en formalina)
- Información de contacto

**Datos a nivel de evento:**

- Ubicación del evento (coordenadas GPS o una descripción lo más precisa posible)
- Uso del suelo y factores ambientales (por ejemplo, condiciones meteorológicas en torno al brote)
- Población(es) en riesgo (es decir, información contextual sobre las especies presentes en el lugar)

- Estimación de la fecha de inicio y fin de la morbilidad/mortalidad (el estado de los cadáveres puede ser útil para evaluar estas fechas)
- Especies afectadas
- Número estimado o conocido de animales muertos por especie
- Número estimado o conocido de animales enfermos por especie
- Signos clínicos (por ejemplo, comportamiento o aspecto físico inusual)
- Edad de los animales afectados (por ejemplo, jóvenes/adultos)
- Sexo de los animales afectados
- Signos clínicos observados en los animales afectados
- Contacto: persona(s) que informa(n) del suceso y su información de contacto en caso de que se necesite información adicional.
- Laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas de diagnóstico, y número de identificación de las muestras enviadas para analizar.

## Mejores prácticas de almacenamiento y gestión de datos

Para combinar con éxito los conjuntos de datos, o incluso para examinar las tendencias en una única serie de datos, es necesario recoger información similar a lo largo del tiempo. Lo ideal sería que existiera un conjunto de campos de datos y definiciones universalmente aceptados para la salud de la fauna salvaje. Sin embargo, dado que actualmente no existen normas globales para la mayoría de los campos de datos, es de vital importancia que cada persona encargada de recopilar datos documente cómo ha definido y medido la información en cada campo. Lo ideal es que los campos de datos se definan antes de que se recojan los datos para garantizar que se recojan los mismos datos de un punto temporal a otro y que los datos se recojan con el mismo nivel de especificidad. Por ejemplo, si en algunas ocasiones se registran la latitud y la longitud de un evento de mortalidad y en otras sólo se registra el condado o la provincia, puede que no sea posible saber si los informes de un evento representan el mismo evento o múltiples eventos. Algunas opciones y consideraciones para definir los campos más comunes también se describen detalladamente en el [5° Ciclo del Manual de Formación sobre Gestión de la Información Sanitaria de la Fauna Silvestre](#). Junto con los datos se debe guardar un diccionario de datos (que se detalla al final de esta sección) que describa los datos de cada campo de datos.

### Ubicación del evento

Tal como se mencionó en el ejemplo anterior, es importante aclarar la escala y la precisión de la información de ubicación registrada. La latitud y la longitud proporcionan la estimación más precisa de la ubicación y se puede acceder a ellas a través de la mayoría de los smartphones o

dispositivos móviles con GPS. Especificar las preferencias de formatos (por ejemplo, grados decimales, grados minutos segundos) y datums geodésicos (por ejemplo, WGS 84, NAD 83, ETRS 89) reducirá el tiempo que requieren las conversiones después de que se recopilen los datos. También puede ser útil solicitar información adicional sobre la ubicación, como el nombre del parque, del cuerpo de agua, la ciudad u otros puntos de referencia, especialmente si la distribución de los animales afectados abarca grandes escalas espaciales. Si existieran problemáticas relacionadas a la divulgación de ubicaciones exactas (por ejemplo, ubicaciones exactas de especies en peligro o protegidas, granjas u otras tierras privadas), las ubicaciones pueden ajustarse por escalas espaciales más grandes (por ejemplo, condado/provincia/estado/país) antes de que los datos se distribuyan más ampliamente.

## Uso del territorio y factores ambientales

Los factores ambientales, como los cambios climáticos repentinos, las tormentas y la sequía, son fuentes potenciales de estrés para la fauna silvestre que pueden influir en los eventos de mortalidad. Los cambios en el nivel del agua pueden hacer que la población de fauna silvestre se concentre o se disperse, así como influir en la presencia de vectores como los mosquitos. El registro del uso del territorio (agrícola, industrial, etc.) y de otras actividades humanas (por ejemplo, la aplicación reciente de fertilizantes o pesticidas) en los alrededores de la zona también puede ayudar a orientar las investigaciones del evento de mortalidad, ya que la información podría estandarizarse si hay un conjunto limitado de posibilidades para el conjunto de datos, pero la mayoría de las veces se registra como un campo de texto libre en las bases de datos de salud de la fauna silvestre o en las hojas de cálculo.

## Estimación de la fecha de inicio y fin de la morbilidad/ mortalidad

Las fechas de inicio y fin del evento de la enfermedad suelen ser una estimación, ya que es poco probable que se observe directamente la primera o la última incidencia de la enfermedad. Sin embargo, estas fechas siguen siendo fundamentales para establecer los ciclos temporales de los eventos y comprender si éstos cambian temporalmente a lo largo del tiempo. El estado de los cadáveres, la proporción de animales enfermos frente a los muertos, la fecha en que se sospecha que se produjo un factor ambiental (por ejemplo, una tormenta) y la fecha en que se visitó el lugar por última vez pueden servir de ayuda para esta estimación. Las fechas pueden registrarse en diversos formatos, por lo que especificarlas tanto en los formularios de presentación en papel como en las bases de datos u hojas de cálculo electrónicas puede garantizar que los días, meses o años no se hayan invertido (por ejemplo, "12" podría significar el día 12 de un mes, el mes de diciembre o 2012).

## Especies afectadas

El término especies afectadas suele referirse a todas las especies para las cuáles se observan animales muertos o enfermos en una ubicación específica durante un evento.

Conocer cuáles especies se vieron afectadas, especialmente en relación con las especies presentes, puede proporcionar pistas sobre la causa del evento, ya que algunas enfermedades tienen un rango de hospedadores reducido, mientras que otras tienen un rango de hospedadores amplio. La presencia de especies afectadas en múltiples grupos también puede indicar la presencia de una toxina. Dado que muchas especies tienen nombres comunes que varían según

la región o el idioma, el uso de nombres científicos puede ayudar a garantizar la consistencia entre los informes. La inclusión de menús desplegables para las especies en las bases de datos puede aumentar aún más la garantía de calidad, al evitar errores como las faltas de ortografía.

## Signos clínicos

Los signos clínicos de muchas enfermedades de la fauna salvaje no son específicos, como la apatía o la falta de respuesta a las molestias. No obstante, los signos clínicos pueden ayudar a reducir las posibles causas de la enfermedad y a orientar las investigaciones para el diagnóstico. Al igual que con los factores ambientales, este campo suele registrarse como un campo de texto libre en las bases de datos de sanidad de la fauna salvaje y en las hojas de cálculo, a menos que exista una lista conocida de signos clínicos esperados que pueda especificarse como un menú de opciones (es decir, una lista desplegable). Los signos clínicos comunes para muchas de las enfermedades significativas de la fauna salvaje se describen en las Fichas Técnicas de Enfermedades no incluidas en la lista de la OMSA.

## Edad de los animales afectados

Al igual que en el caso de las especies afectadas, la edad de los animales afectados puede proporcionar pistas para determinar la causa del evento ya que algunos agentes patógenos pueden afectar primariamente a los animales jóvenes debido a la resistencia a la enfermedad relacionada con la edad (por ejemplo, ranavirus, caquexia crónica). Las categorías generales como juvenil, adulto y adulto envejecido pueden proporcionar un nivel de detalle suficiente para este campo de datos, sin embargo, si se necesita información más detallada (por ejemplo, polluelo o volantón), deberá especificarse en la hoja de datos impresa o electrónica.

## Sexo de los animales afectados

Asimismo, como sucede en el caso de la edad de los animales afectados, registrar las diferencias que se observen teniendo en cuenta el sexo de los animales afectados puede proporcionar pistas para orientar las investigaciones. Las diferencias de sexo pueden deberse a diferencias de comportamiento, como por ejemplo las diferencias entre las áreas de distribución de los machos y las hembras o el cuidado de las crías, pero, no obstante, pueden aportar información importante para determinar la causa del suceso.

## Número de animales afectados

El número de ejemplares afectados suele referirse al conteo del número de animales muertos o enfermos de una especie particular, en una ubicación específica durante un evento. Se pueden utilizar campos separados que indiquen el número de enfermos y el número de muertos para cada especie en caso de que fuera importante distinguir entre ambos. Se puede calcular un conteo total de los animales afectados a partir de los números registrados de las especies individuales. En muchos lugares y tipos de vegetación, puede ser difícil de determinar el número real de los animales afectados, por lo que es más fácil obtener estimaciones del número de animales afectados. Sin embargo, dado que la probabilidad de sobrestimar o subestimar el número variará de acuerdo a cada investigador individual, es importante señalar en la base de datos y en los metadatos que estas cifras son estimaciones.

## Diagnósticos

Proporcionar una lista de diagnósticos puede ayudar a estandarizar la terminología diagnóstica de preferencia (por ejemplo, infección por hongo quitrido frente a quitridiomycosis) y para que los socios sepan qué diagnósticos son de interés a efectos de notificación. La OMSA mantiene una lista de enfermedades de los animales salvajes que, si bien no figuran en la Lista de la OMSA, han sido seleccionadas para su seguimiento por el Grupo de Trabajo de la OMSA sobre enfermedades de los animales salvajes debido a su importancia para los mismos y con fines de alerta temprana para proteger la salud humana y de los animales salvajes. Esta lista puede encontrarse aquí:  
[https://www.woah.org/wahis\\_2/public/wahidwild.php/Diseaseinformation/popup/diseaselist](https://www.woah.org/wahis_2/public/wahidwild.php/Diseaseinformation/popup/diseaselist)

También es importante garantizar que los criterios utilizados para realizar los diagnósticos se aplicaron de forma consistente entre los animales de un mismo evento y entre los eventos a lo largo del tiempo y el espacio. Las definiciones de casos, tal como las define la OMSA, son "un conjunto de criterios utilizados para distinguir un animal o una unidad epidemiológica de un caso de los que no lo son". Las definiciones de casos suelen incluir un conjunto de criterios científicamente aceptados y claramente definidos de campo, macroscópicos, histopatológicos, de laboratorio y epidemiológicos utilizados para asignar a un individuo a una categoría de enfermedad específica a efectos de notificación y son importantes para contar y clasificar los casos de una enfermedad de forma coherente en todos los territorios. Se han establecido previamente definiciones de casos para varias enfermedades que afectan a las especies silvestres que también tienen importancia para la agricultura o la salud humana y pueden afectar al comercio internacional de animales o de sus productos. Cuando exista una de éstas, se deberá consultar la definición de caso del capítulo específico del Código Terrestre o Acuático de la OMSA.

## Elaboración de un diccionario de datos

La elaboración de un diccionario de datos permitirá definir variables y proporcionar información de contexto que no es posible registrar en el conjunto de datos en sí mismo (Tabla 3). Dicha información debería registrarse junto con los datos para su correcta interpretación por parte de los usuarios actuales o futuros del conjunto de datos. Un diccionario de datos generalmente incluye:

- Nombre de la variable
- Tipo de datos (número entero, texto, etc.)
- Cómo se ha medido la variable y precisión de la medición
- Unidades de datos
- Formato de los datos
- Valores mínimos y máximos
- Valores codificados y su significado

- Representación de los valores nulos
- Otras observaciones importantes sobre los datos

Tabla 3. Ejemplo de diccionario de datos para varios de los campos principales descritos en esta sección. Las unidades y el tipo de datos de cada campo se han especificado en la columna "Tipo de datos" (*Data type*). En la columna "Definición de datos" (*Data definition*) se ha proporcionado una descripción detallada de cada campo.

	A	B	C
1	<b>Field Name</b>	<b>Data Type</b>	<b>Data Definition</b>
2	Event_Type	Integer	1 = Morbidity/Mortality: Sick or dead animals linked spatially and temporally. Occurrence of single animals is included if there is special interest in the species, the suspected agent, the location, or the time of year (e.g., a solitary species, an endangered species, a possible new pathogen, or a range or temporal expansion for an existing pathogen)  2 = Surveillance: positive detections of a pathogen during active surveillance of healthy live, hunter-killed, or euthanized animals (that were not sick before euthanizing).
3	Start_Date	ISO 8601 YYYYMMDD	Beginning date for event (considering all locations).
4	End_Date	ISO 8601 YYYYMMDD	Ending date for event (considering all locations).
5	Affected	Integer	Total number of individuals affected in event. A count of sick plus dead for a morbidity/mortality event and a count of positives for a surveillance event.
6	Dianosis_id	Integer	ID for event diagnosis. Foreign key link to diagnosis look up table.
7	Species	Integer	Species ID. Foreign key link to species lookup table
8	Population	Integer	Estimate of the total population of this species at this location (population at risk). Use the peak number during the course of the event.
9	Sick	Integer	Actual count of the number of sick or injured animals of this species at this location. Include euthanized animals, if any. Use 0 if known to be 0 (instead of leaving blank). Leave blank if there is no count. Avoid re-count of animals, especially if there are repeated visits to a location to assess wildlife health. Consider whether animals initially observed sick were later counted as dead; if so, only count them as dead. Numbers reported should reflect either a snapshot of morbidity/mortality as observed during a one-time site visit, or a synopsis of the numbers affected over the course of an event (e.g., dead = cumulative dead during multiple site visits and sick = number remaining sick or recovered from being sick at the end of the event).
10	Dead	Integer	Actual count of the number of dead animals of this species at this location. Do NOT include euthanized animals. Use 0 if known to be 0 (instead of leaving blank). Leave blank if there is no count. Avoid re-count of animals, especially if there are repeated visits to a location to assess wildlife health. Consider whether animals initially observed sick were later counted as dead; if so, only count them as dead. Numbers reported should reflect either a snapshot of morbidity/mortality as observed during a one-time site visit, or a synopsis of the numbers affected over the course of an event (e.g., dead = cumulative dead during multiple site visits and sick = number remaining sick or recovered from being sick at the end of the event).

# GESTIÓN DE ENFERMEDADES DE LOS ANIMALES SALVAJES

## Objetivos de la gestión de enfermedades

Los tres objetivos principales de la gestión de enfermedades en animales salvajes son la prevención, el control y la erradicación. La elección de un objetivo de gestión es fundamental para evaluar el éxito de una acción. En la elección de un objetivo de gestión también deben tenerse en cuenta factores como la presencia o ausencia de la enfermedad en una zona, la disponibilidad de métodos de gestión y los recursos disponibles. Antes de emprender la gestión, conviene plantearse algunas preguntas útiles:

- ¿Por qué se lleva a cabo la gestión (por ejemplo, amenaza para los animales salvajes, la salud humana o los animales domésticos)?
- ¿De qué herramientas se dispone para la gestión?
- ¿Existe un apoyo público y social a la gestión?
- ¿De qué recursos (por ejemplo, financiación y personal) se dispone para la gestión?
- ¿Qué se considerará éxito (por ejemplo, erradicación completa, reducción de la prevalencia, ausencia de la enfermedad durante 5 años)?
- ¿Cómo se medirá el éxito?

Por **prevención** de enfermedades se entiende como la exclusión o la prevención de la introducción de una enfermedad en animales no afectados o en una población. Las medidas de prevención de enfermedades pueden aplicarse a nivel individual, poblacional o de comunidad. Los esfuerzos de prevención suelen estar dirigidos a restringir o modificar las actividades humanas (por ejemplo, las restricciones al comercio) en lugar de impedir físicamente la entrada del agente en una población o comunidad. La prevención también puede lograrse a través de la toma de medidas como la inmunización, que puede proporcionar protección directa a los individuos y protección indirecta a las poblaciones a través de la inmunidad de rebaño. Las inmunizaciones son un método primario de prevención de enfermedades en los seres humanos y en los animales de granja; sin embargo, como analizaremos con más detalle en una sección posterior, la inmunización de los animales salvajes presenta numerosos desafíos más allá del desarrollo de vacunas. Una vez que una enfermedad entra en una población salvaje es increíblemente difícil de controlar debido a factores complejos como la administración de la vacuna y el movimiento generalizado de las poblaciones salvajes.

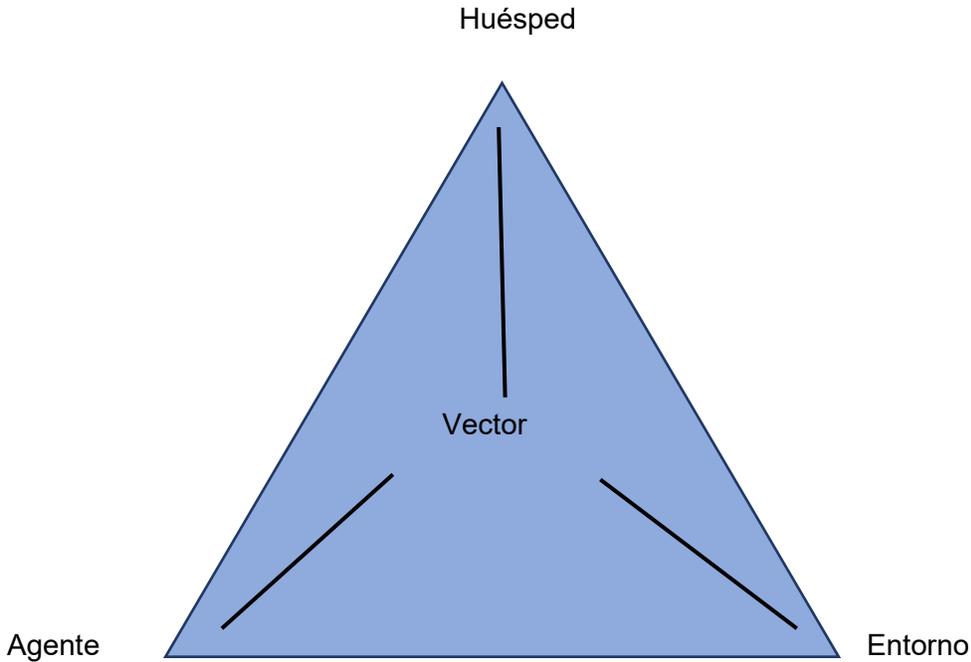
El **control** de enfermedades se refiere a las actividades diseñadas para reducir la frecuencia de aparición o los efectos de una enfermedad existente en una población a un nivel predeterminado. El nivel de control suele estar determinado por los recursos disponibles y el nivel de tolerancia a la enfermedad. La financiación disponible suele determinar el punto final de los esfuerzos de control, ya que los responsables de la toma de decisiones deben evaluar cuándo el coste de un mayor control supera cualquier beneficio adicional. De este modo, el control suele dar lugar a la

persistencia de cierto nivel de la enfermedad en la población y suele requerir medidas continuas (y recursos) de intervención para mantener la reducción.

La **erradicación** de una enfermedad es la eliminación total (es decir, la incidencia cero) de una enfermedad existente en todo el mundo. Los términos erradicación y eliminación suelen utilizarse indistintamente, pero la Organización Mundial de la Salud define la erradicación de la enfermedad como la incidencia cero de la infección causada por un agente patógeno a nivel mundial, mientras que la eliminación de una infección o enfermedad se refiere a la incidencia cero dentro de un área geográfica definida (Dowdle 1998). Un requisito fundamental para la erradicación de una enfermedad es que debe contar con una intervención eficaz que pueda prevenir, curar o interrumpir de otro modo la transmisión. Hasta la fecha, sólo se han erradicado dos enfermedades: la viruela en 1980 y la peste bovina en 2011. La viruela se erradicó mediante la vacunación y la peste bovina se erradicó mediante la vacunación y las medidas sanitarias. En 1955 se estableció un programa mundial de erradicación de la malaria, pero se abandonó en 1969. Sin embargo, existe un interés renovado por desarrollar un plan para su erradicación (véase <http://endmalaria2040.org/>). La erradicación de enfermedades requiere una importante inversión financiera y una increíble coordinación. Por ejemplo, los esfuerzos para erradicar la poliomielitis han costado hasta la fecha aproximadamente 4.500 millones de dólares. Además de los costes financieros y de la necesidad de aplicar tratamientos eficaces, la erradicación de las enfermedades de la fauna salvaje también se complica por las características de las propias poblaciones silvestres, incluidas las dificultades para capturar y administrar un tratamiento en masa a los animales que se mueven libremente.

## Puntos de intervención

Uno de los modelos más sencillos de causalidad de enfermedades es la tríada epidemiológica. Consiste en un **agente** externo, un **huésped** susceptible y un **entorno** que pone en contacto al huésped y al agente. En algunas infecciones, un **vector**, o un organismo que transporta un patógeno de un huésped a otro, también forma parte del proceso de la enfermedad. En este modelo, la transmisión se produce cuando un agente sale de su reservorio (que puede ser un ser humano, un animal o el medio ambiente), se transmite por algún modo de infección (contacto directo, gotitas, transmisión por el aire, transmisión por vehículos, transmisión por vectores) y entra en un huésped susceptible para causar la enfermedad. Presentamos este modelo de transmisión de la enfermedad porque también es una herramienta útil para considerar dónde pueden ser más eficaces las intervenciones de gestión de la enfermedad.



Los agentes pueden ser microorganismos infecciosos (virus, bacterias, parásitos, etc.) o causas químicas y físicas de enfermedades y lesiones.

## Prevención y Control– Agentes and Vectores

En el caso de algunas enfermedades, la intervención más adecuada es eliminar su causa. En la mayoría de los casos, este tipo de gestión tiene como objetivo la eliminación del agente de una zona definida, más que su erradicación total. El control de los agentes no infecciosos (por ejemplo, las toxinas) suele presentar menos desafíos técnicos, ya que la gestión suele estar dirigida a detener o reducir la liberación de una sustancia en el medio ambiente. Dado que los agentes no infecciosos no se replican, si se libera una cantidad conocida en el medio ambiente debería ser posible, en teoría, eliminar físicamente una parte o la totalidad del agente y evitar su liberación adicional. Sin embargo, algunas toxinas, como los bifenilos policlorados, son muy persistentes en el medio ambiente y causan efectos indirectos a través de la bioacumulación en la cadena alimentaria. Además, muchos agentes tóxicos (o sus subproductos) son muy útiles para el ser humano, por lo que controlar estas sustancias puede ser un reto debido a los costes económicos o sociales (*Wobeser 1994*). En general, las sustancias que tienen efectos directos y agudos y que tienen el potencial de afectar a la salud humana (por ejemplo, el envenenamiento por mercurio acuático) han tenido más apoyo para los esfuerzos de control que aquellas con efectos retardados que afectan principalmente a la vida silvestre (por ejemplo, el DDT y el plomo).

En el caso de los patógenos que persisten en el medio ambiente, puede ser necesario tomar medidas para minimizar la contaminación del área circundante. Por ejemplo, los procesos de putrefacción en los cadáveres sin abrir pueden destruir las células vegetativas de *Bacillus anthracis*, sin embargo, la contaminación del medio ambiente por patógenos puede seguir ocurriendo a través de los fluidos que salen de la nariz, la boca y el ano. Dado que la incineración de los cadáveres de animales silvestres a menudo no es posible durante los eventos de ántrax,

los cadáveres pueden cubrirse con plástico o humedecerse con formalina al 10% para matar los organismos externos del ántrax mientras se preservan las condiciones anaeróbicas necesarias para la descomposición (OMS 2008). Durante los eventos de botulismo aviar, la producción de toxinas puede aumentar en los cadáveres en descomposición, ya que la bacteria *Clostridium botulinum* prefiere las condiciones anóxicas ricas en nutrientes. Los gusanos que se alimentan de los cadáveres concentran la toxina e infectan a nuevos huéspedes cuando los consumen. La eliminación de los cadáveres durante un evento de botulismo puede, por tanto, ayudar a reducir el número de nuevas infecciones. La eliminación de los cadáveres durante los eventos de mortalidad también puede ser importante para minimizar el movimiento de materiales infecciosos a nuevos lugares a través de carroñeros, moscas y roedores.

Los métodos habituales de eliminación de los cadáveres de animales salvajes son los siguientes:

- Incineración
- Entierro profundo
- Vertedero
- Compostaje

La selección de los métodos de eliminación de cadáveres debe tener en cuenta sus efectos sobre el medio ambiente (por ejemplo, la calidad del aire y la contaminación de las aguas subterráneas), la salud pública (es decir, el potencial de transmisión de enfermedades) y la percepción del público. La eliminación de los cadáveres debe tener en cuenta las directrices específicas de cada país, pero el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*Vantassle y King 2018*) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (*Friend y Franson 1999a*) han publicado los métodos generales.

En el caso de los patógenos transmitidos por vectores invertebrados, el control puede estar dirigido a la reducción de las poblaciones de vectores. Aunque existen numerosos plaguicidas muy eficaces, muchos de ellos tienen graves efectos secundarios en el medio ambiente y su uso continuado y generalizado puede ejercer una presión selectiva para los organismos resistentes. Por ejemplo, los hurones de patas negras (*Mustela nigripes*), especie que se encuentra en peligro de extinción, y sus presas, los perros de las praderas (*Cynomys spp.*), son altamente susceptibles a la *Yersinia pestis*, que es transportada por las pulgas. El control de la peste se ha intentado mediante plaguicidas dirigidos a las pulgas infectadas utilizando productos químicos como el DDT (*dicloro-difenil-tricloroetano*), el carbaril y las permetrinas. Sin embargo, al igual que ocurre con el control de las pulgas en todo el mundo (*Rust 2016*), las pulgas adquirieron resistencia a los productos químicos tras su uso continuado (*Barnes 1982*). Otros factores que afectan a la utilidad de los plaguicidas para los patógenos de la fauna silvestre es que muchos son de amplio espectro y afectan a los invertebrados que no son su objetivo, causando consecuencias no deseadas o desconocidas para la función del ecosistema. Por lo tanto, el uso de pesticidas para controlar los patógenos puede ser más útil en lugares pequeños y cuando se utiliza en combinación con otros métodos como el control ambiental y los controles biológicos (*Wobeser 2004*).

El control también puede estar dirigido a prevenir la introducción de patógenos y vectores en nuevas zonas y nuevos huéspedes susceptibles. Este tipo de métodos de gestión deben estar dirigidos a proteger o complementar las barreras ecológicas y modificar los comportamientos humanos para evitar la translocación de patógenos. La translocación es una herramienta de

gestión común para introducir nuevas especies y restaurar poblaciones extirpadas, pero existen numerosos casos de movimiento de patógenos con estas translocaciones. Por este motivo, se han desarrollado una serie de medidas para reducir el movimiento de patógenos durante las translocaciones, entre ellas (*Wobeser 2004*):

- Evaluación del estatus sanitario de la población de origen, incluyendo pruebas para detectar enfermedades específicas; esto también puede incluir restricciones al movimiento de animales desde áreas donde se sabe que ocurren enfermedades específicas;
- Cuarentena de los animales que se van a trasladar durante un período de tiempo igual al período máximo de incubación de las enfermedades de interés;
- Pruebas de diagnóstico y tratamiento profiláctico para detectar enfermedades preocupantes de los animales que se van a trasladar.

## Control – Manipulación de hospedadores

### Teoría

La manipulación de la(s) población(es) hospedadora(s) es otra de las principales formas de gestión de las enfermedades de las poblaciones silvestres, sobre todo cuando no hay un huésped intermedio (caracoles, vectores, etc.). De hecho, puede ser la forma más común a través de la cual los encargados de la gestión intentan controlar las enfermedades de la fauna salvaje, ya que las técnicas de gestión de poblaciones suelen estar bien desarrolladas y son conocidas por los gestores. La eficacia de este tipo de gestión radica en los primeros principios de la epidemiología. A saber, si se minimiza o elimina la exposición a los agentes infecciosos, el huésped estará protegido del riesgo de enfermedad. Asimismo, si se pueden reducir los contactos entre los huéspedes no infectados y los infectados, se puede minimizar igualmente la transmisión de la enfermedad.

El objetivo final previo a la introducción de un agente infeccioso es reducir número reproductivo básico ( $R_0$ ) de la enfermedad. El número reproductivo describe el número de nuevos casos que surgen de un solo individuo infectado en una población compuesta en su totalidad por individuos susceptibles a la enfermedad en una unidad de tiempo determinada. Si  $R_0$  tiene un valor inferior a 1, un agente infeccioso no puede invadir una población debido a la falta de individuos infecciosos para mantener la transmisión. Los esfuerzos de control preventivo de la enfermedad que utilizan la manipulación de las poblaciones hospedadoras tratan de reducir  $R_0 < 1$  mediante la reducción de los contactos infecciosos o la exposición directa al agente infeccioso. Una vez que la enfermedad se ha establecido en una zona, las manipulaciones de las poblaciones hospedadoras pueden seguir siendo una ventaja para reducir la intensidad de la enfermedad a lo largo del tiempo.

Ilustramos estas ideas utilizando un modelo básico de compartimentos SIR (Susceptibles-Infectados-Recuperados) sin demografía para una población dada (es decir, 10.000 animales) dentro de un área fija (es decir, 1.000 km<sup>2</sup>). El sistema de ecuaciones de este modelo es el siguiente:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI,$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I,$$

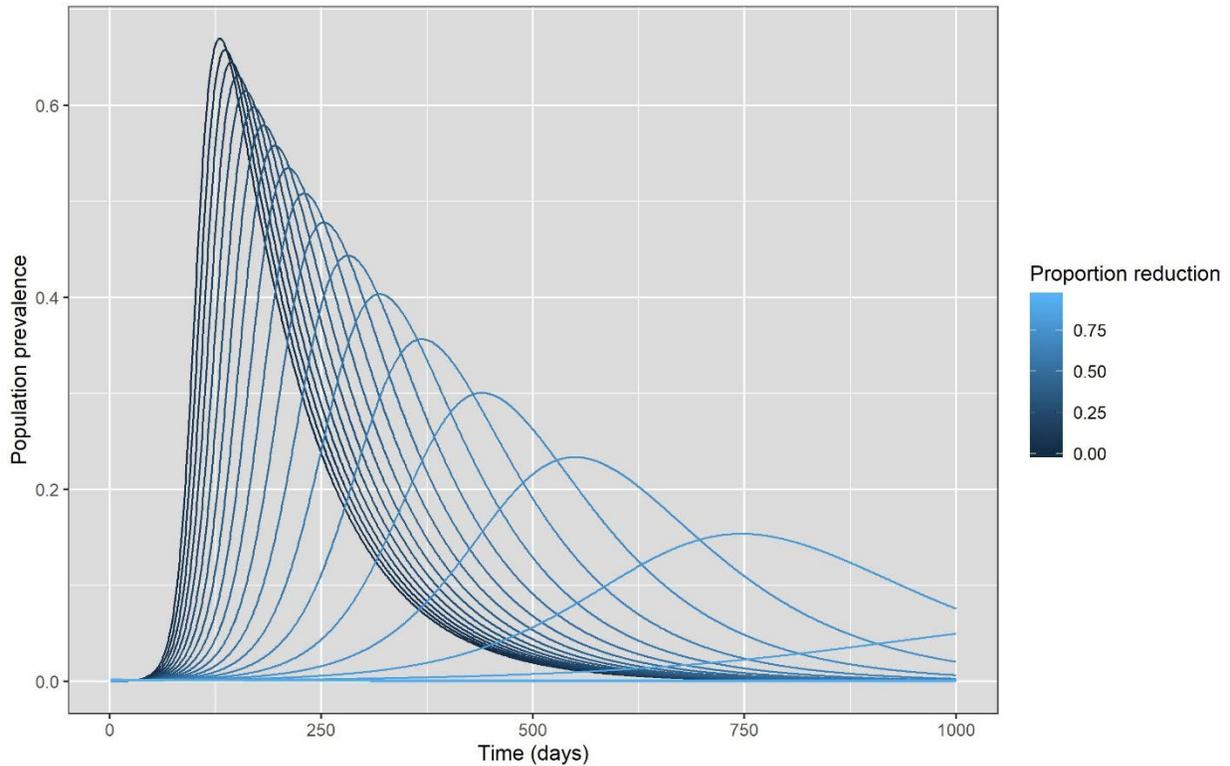
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I,$$

donde  $\beta$  = el coeficiente de transmisión,  $\gamma$  = la tasa de recuperación, y  $S, I, R$  es el número de individuos en los compartimentos susceptible, infectado y recuperado, respectivamente. Por lo general, los esfuerzos de control dirigidos a manipular las poblaciones hospedadoras tienen la finalidad de influir en  $\beta$ . Si definimos;

$$\beta = \kappa \times \frac{N}{A} \times \frac{I}{N} \times v = \kappa \times \frac{I}{A} \times v,$$

donde  $N$  = tamaño total de la población,  $A$  = área ocupada por la población,  $\kappa$  = es una constante tal que la tasa de contacto entre individuos dentro de una población es proporcional a la densidad,  $\frac{N}{A}$ , y  $v$  = la probabilidad de transmisión del patógeno a partir de un contacto. Está claro que la tasa a la que se infectan los individuos susceptibles (es decir, la fuerza de infección) es el producto de la tasa de contactos (es decir,  $\kappa \times \frac{N}{A}$ ), la prevalencia (es decir,  $\frac{I}{N}$ ) y la probabilidad de transmisión exitosa (es decir,  $v$ ). La ecuación anterior demuestra que la reducción de la tasa de contacto ralentizará el movimiento de los individuos del compartimento susceptible al compartimento infectado. Si esta reducción es suficiente para disminuir el coeficiente de transmisión de manera que  $R_0 = \frac{\kappa \times v \times N}{A \times \gamma} < 1$ , un patógeno no causará una epidemia. Aunque este modelo es bastante simple, demuestra la teoría subyacente en la que se basa el control de la enfermedad a través de la manipulación de las poblaciones de hospedadoras. Al examinar la ecuación del coeficiente de transmisión o  $R_0$ , podemos ver que la manipulación de la densidad de animales (es decir,  $\frac{N}{A}$ ) afectará la tasa de transmisión.

En la Figura 1 se demuestra cómo se reduce la prevalencia máxima y se altera el ritmo de la epidemia al reducir la densidad de animales utilizando el modelo anterior. La figura se presenta como la proporción de reducción de la densidad (es decir, 0,5 representa una reducción del 50% de la densidad) a partir del valor inicial de 10 animales/km<sup>2</sup>.



*Figura 1 – demostración de las curvas de prevalencia a medida que se reduce la densidad de la población.*

Asimismo, cabe destacar que los términos  $\kappa$  y  $\nu$  utilizados en estas ecuaciones son propiedades inherentes del hospedador y el agente patógeno y, por lo tanto, suelen no estar influenciados por los esfuerzos de manipulación de huéspedes.

También se puede utilizar el modelo anterior para analizar cómo la manipulación de poblaciones huéspedes, antes de la introducción de un agente infeccioso, puede reducir la probabilidad de una epidemia. La Figura 2 muestra cómo influye en  $R_0$  la reducción de la densidad, suponiendo una densidad inicial de 10 animales por  $\text{km}^2$ . Si se analiza la figura, se puede observar que, dados los parámetros de nuestro modelo, la reducción de la densidad tiene un efecto lineal negativo sobre  $R_0$ , pero se necesita una reducción significativa (es decir,  $> 90\%$  de reducción de la densidad) para asegurar que no se produzca una epidemia (es decir,  $R_0 < 1$ ). Por lo tanto, en este ejemplo, se necesitaría un esfuerzo importante si el objetivo del programa de control de la enfermedad fuera prevenir una epidemia. Obviamente, estos resultados no son generales y dependen de los parámetros especificados en nuestro modelo, pero ilustran los fundamentos teóricos de muchos esfuerzos de manipulación de hospedadores. Este ejercicio también muestra la utilidad de aprovechar este tipo de modelos, especialmente cuando existen datos para establecer sus parámetros, para orientar los esfuerzos de control y definir expectativas realistas de los impactos esperados.

Hacemos hincapié en la comprensión de la teoría que subyace a las manipulaciones propuestas de las poblaciones hospedadoras, ya que es fundamental para elegir y diseñar medidas de gestión adecuadas, así como para comunicar estas expectativas a los políticos y al público. Aunque, a menudo, cuando se trata de agentes infecciosos de la fauna salvaje, puede faltar información clave para modelar explícitamente una enfermedad como hemos hecho aquí, sin

embargo, puede ser posible recurrir a otras enfermedades humanas, de animales salvajes o domésticos similares que se sospecha que se comportan de forma parecida. Estos datos indirectos pueden utilizarse para desarrollar una comprensión del comportamiento potencial de la enfermedad y su impacto en las poblaciones hospedadoras de interés. Estos ejercicios también son valiosos para organizar los conocimientos existentes y articular de forma clara el problema y los objetivos de los esfuerzos de gestión.

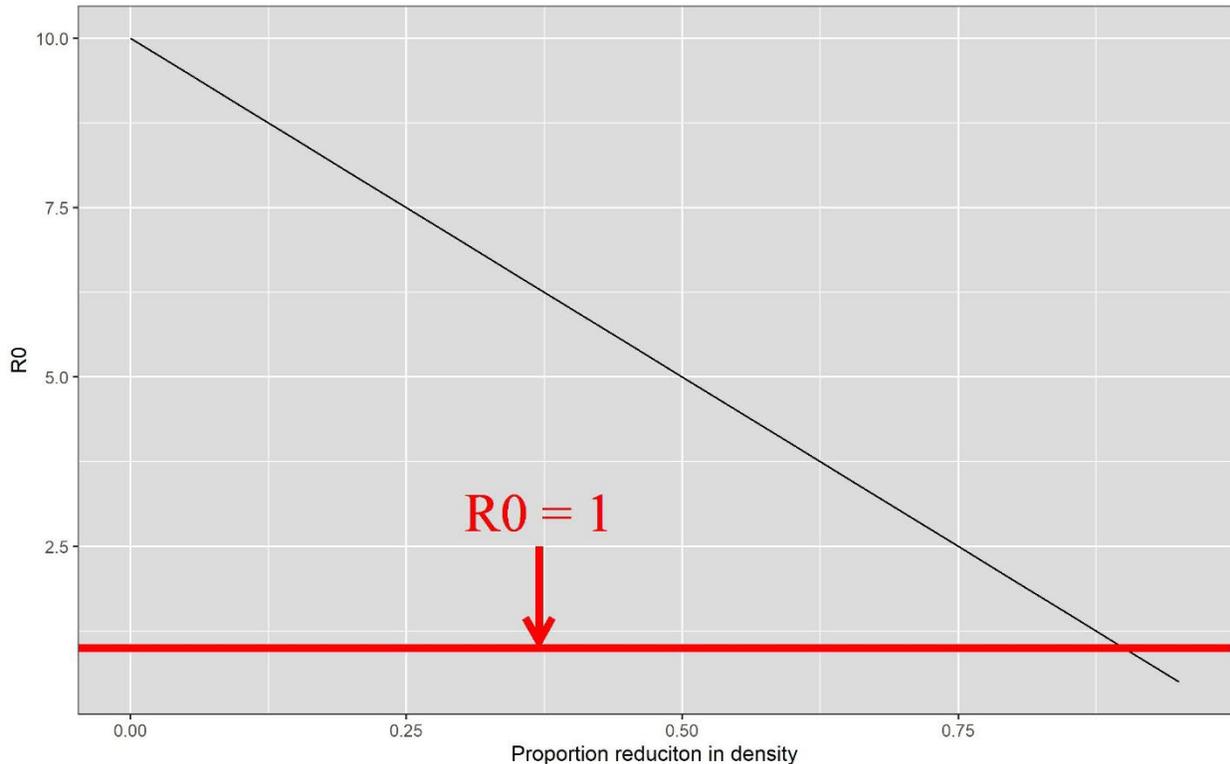


Figura 2 – Demostración de los impactos de la reducción de la densidad en  $R_0$ .

En la siguiente sección se describen las principales consideraciones a la hora de diseñar los esfuerzos de gestión para manipular las poblaciones hospedadoras. Nuestro objetivo no es detallar todas las consideraciones posibles, lo cual es una tarea imposible porque variarán según las regiones, las poblaciones hospedadoras y los agentes infecciosos. Más bien, nuestra intención es describir los principales factores que es esencial tener en cuenta para maximizar la probabilidad de que un programa de gestión de enfermedades tenga éxito.

## Consideraciones sociales

Aunque comúnmente se utiliza a modo de control de enfermedades, la manipulación de las poblaciones hospedadoras es una tarea que representa múltiples retos por varias razones. Uno de los mayores desafíos gira en torno a la aceptación social de estas actividades. Las percepciones y expectativas del público en torno a las acciones de manipulación pueden variar ampliamente dentro de las regiones y entre ellas, y pueden estar influidas por muchos factores, como consideraciones económicas, usos antropogénicos de las poblaciones, falta de conocimientos biológicos, valores o creencias muy arraigados respecto a las poblaciones silvestres, y/o desconfianza general en las instituciones gubernamentales. Asimismo, la reacción

del público puede cambiar de forma rápida e inesperada, probablemente debido a eventos ajenos al ámbito de los esfuerzos reales de control de la enfermedad. Con estos cambios, no cabe duda de que también habrá variaciones en el ámbito político, lo que puede repercutir directamente en la eficacia y la viabilidad de los programas de control de enfermedades. Aunque puede resultar imposible prever todos los posibles problemas sociales que rodean a la manipulación de las poblaciones hospedadoras, trabajar para entender el clima social *antes* de intentar estas manipulaciones puede ayudar a identificar la respuesta pública probable y cualquier obstáculo posible. Esta información puede utilizarse para seleccionar la estrategia adecuada que permita maximizar la aceptación del público y, si es necesario, su participación, disminuyendo la probabilidad de fracaso debido a las presiones sociales. También puede delinear diversas oportunidades para construir la confianza de la opinión pública sobre las manipulaciones de hospedadores. Asimismo, la transparencia en la aplicación de las acciones y el establecimiento de un plan de comunicación que permita informar al público los detalles de las manipulaciones previstas, la importancia y la necesidad asociadas a dichas manipulaciones, cómo se medirá el éxito y el estado actual de los esfuerzos pueden ser una herramienta poderosa para facilitar y mantener el apoyo público. Sin embargo, a menudo ocurre que durante los esfuerzos de control de una enfermedad que emerge rápidamente puede haber poco tiempo para realizar un análisis del entorno social. En estos casos, es aún más crítico que la información se comunique de manera oportuna al público afectado, porque la falta de información puede conducir a la difusión involuntaria o deliberada de información errónea y, en última instancia, puede conducir a la caída del programa de gestión. Además, se puede evaluar el nivel de apoyo de las múltiples partes interesadas sobre las manipulaciones de hospedadores a través de encuestas sociales formales o informales, el seguimiento de los medios de comunicación populares, y la convocatoria de reuniones públicas de forma simultánea a la ejecución de una acción, que además puede ayudar a orientar las campañas educativas, y también arrojar luz sobre las opciones para el perfeccionamiento de las manipulaciones para hacerlas más aceptables socialmente. El mensaje que se debe retener es que la manipulación de las poblaciones hospedadoras estará sin duda bajo el escrutinio público, y es esencial darse cuenta de que los motores sociales pueden ser los más influyentes dentro del ecosistema de gestión. Para tener éxito a largo plazo, las manipulaciones de hospedadores deben ser aceptadas socialmente.

## Consideraciones sobre el sistema

Una vez más, la tríada epidemiológica es un esquema útil para considerar la variedad de formas de manipular las poblaciones hospedadoras para controlar la enfermedad, ya que cada componente proporciona piezas básicas de información que pueden ayudar a elegir, diseñar e implementar las acciones de gestión adecuadas. Cabe destacar una vez más que la vigilancia representa "datos para la acción", por lo que gran parte de la información que se necesita para implementar la gestión de la enfermedad puede y debe recogerse durante los programas de vigilancia de enfermedades de la fauna silvestre, ya sean específicos o generales.

### *Agente*

El primer factor que se debe considerar son las características del agente etiológico. Por ejemplo, es fundamental determinar si el agente es infeccioso o no infeccioso. Esto determinará si el objetivo de la gestión de la población será reducir la exposición, el contacto entre miembros de la misma especie o ambos. También definirá el riesgo que supone para el ser humano, los animales domésticos y otras especies silvestres. Otra característica importante es si el agente es una reintroducción reciente en el sistema, un problema reemergente o se produce con mayor frecuencia. Los sistemas que ya han estado expuestos a un agente, en particular a un agente

infeccioso, probablemente responderán de forma diferente a la manipulación de las poblaciones hospedadoras que aquellos en los que se trata de una nueva introducción. Por lo tanto, la elección y el alcance de la implementación de la gestión variarán sin duda en función del historial del agente en el sistema. El cambio de huésped es otro aspecto importante a la hora de planificar los esfuerzos de control. En el caso de un agente no infeccioso, esta información delimita el conjunto de especies que pueden verse afectadas y debe tenerse en cuenta durante la planificación. Esto también es aplicable para los agentes infecciosos, pero además el cambio de huésped ayuda a identificar las especies reservorio potenciales, los eventos de transmisión entre especies que pueden ser significativos y el grado de esfuerzo que puede ser necesario para el control. Del mismo modo, es útil conocer la extensión geográfica de la enfermedad. El hecho de que una enfermedad esté localizada o ampliamente distribuida en una región determinará el conjunto de acciones de gestión que pueden utilizarse. La vía de exposición/transmisión del agente también influye en el modo en que pueden manipularse las poblaciones hospedadoras. Por ejemplo, los agentes que se transmiten tanto directa como indirectamente pueden ser mucho más difíciles de controlar y pueden requerir varias manipulaciones para reducir la infección derivada de los múltiples modos de transmisión. Incluso la información sobre la tasa de transmisión, el curso clínico de la enfermedad y cualquier mortalidad asociada a la misma es útil para tener en cuenta a la hora de manipular las poblaciones hospedadoras. Estas características del agente determinan el impacto de la invasión de un patógeno en las poblaciones, el plazo en el que se producirá la enfermedad y el riesgo que suponen los individuos infectados para los miembros de su misma especie.

Estas características del agente son sólo algunas de las piezas clave de información que pueden utilizarse para diseñar las acciones de manipulación de hospedadores. Obviamente, cuanto más información se pueda aportar al problema, mayor será la probabilidad de que la acción de manipulación no sólo sea eficiente, sino también eficaz. Si los conocimientos sobre el agente son limitados, es importante utilizar la información disponible. Además, si el tiempo lo permite, se puede llevar a cabo una vigilancia específica en la población de interés para ayudar a adquirir más conocimientos sobre el agente.

### *Hospedadores*

Los atributos de la población hospedadora también deben tenerse en cuenta durante la planificación de la gestión de la enfermedad. Se recomienda encarecidamente la participación de biólogos y ecologistas de la fauna salvaje para que ayuden a describir los atributos de cada uno de los hospedadores y sus poblaciones, ya que estos profesionales suelen tener conocimientos directos sobre las especies que serán necesarios para diseñar estrategias de manipulación eficaces.

A nivel poblacional, el primer atributo a considerar, especialmente en el caso de los agentes infecciosos, es la estructura social de la población. Por ejemplo, los animales de manada pueden tener muchos contactos infecciosos potenciales de forma regular, mientras que los animales territoriales pueden tener sólo contactos limitados con otros miembros de la misma especie. La estructura social determinará la dinámica de transmisión (por ejemplo, la dependencia de la densidad frente a la frecuencia), la forma en que una enfermedad avanza a través de una población y las técnicas de gestión adecuadas. Un segundo atributo importante es el comportamiento de la población a lo largo de un ciclo anual. ¿Migra la especie hospedadora? ¿Los individuos utilizan su área de distribución de forma similar a lo largo del año, o cambia ese patrón de uso (por ejemplo, utilizan un área mayor durante la temporada de cría)? Describir cómo los hospedadores utilizan su hábitat y el alcance espacial de sus movimientos puede ayudar a dilucidar la escala a la que habrá que aplicar las manipulaciones de la población, los costes y

beneficios potenciales desde el punto de vista ecológico de las posibles medidas de control, y puede sugerir las épocas del año en las que deberían llevarse a cabo esas manipulaciones.

También es útil para comprender las posibles interacciones interespecíficas que se producen entre los individuos de una población y otras especies del ecosistema. Esto es especialmente cierto cuando un agente infeccioso tiene una amplia gama de hospedadores. Cuantas más interacciones se produzcan entre hospedadores susceptibles, más difícil será controlar la enfermedad cuando la transmisión directa sea uno de los principales motores de los avances de la enfermedad. Para algunas de las posibles manipulaciones de la población, también es imperativo comprender las necesidades de hábitat del huésped a escala individual y poblacional. Proteger o alterar el hábitat de la población no sólo puede servir para manipular el crecimiento de la población y el uso de un área, sino que también puede ser una herramienta poderosa para ayudar a las poblaciones a recuperarse de la enfermedad y ser resistentes a futuras invasiones. Por último, el tamaño o la densidad general de una población es una información valiosa para la planificación de la gestión. La eficacia de una manipulación puede estar directamente ligada al tamaño de la población y determinará el nivel de esfuerzo que puede requerirse para su control. Además, la protección de las poblaciones raras o amenazadas puede ser la máxima prioridad y cualquier manipulación que no garantice esa protección a largo plazo puede ser inaceptable.

A nivel del huésped individual, los efectos de la enfermedad son necesidades básicas de información. ¿La enfermedad manifiesta signos clínicos? Esto puede determinar si las manipulaciones dirigidas a los individuos infectados pueden aplicarse fácilmente. ¿Cuáles son los puntos finales de la enfermedad para el individuo? Estos puntos finales determinarán cuán agresivas deberían ser las acciones de gestión, informarán sobre las previsiones del impacto a largo plazo de los agentes en los huéspedes, la eficacia de varias pruebas de diagnóstico y el alcance y la duración de la gestión que puede ser necesaria. También es interesante saber si existe una susceptibilidad diferencial entre los individuos de una población. La heterogeneidad individual en la respuesta a la enfermedad puede servir de base para manipulaciones específicas, pero también puede obstaculizar los esfuerzos de gestión (por ejemplo, un grupo demográfico es asintomático, pero funciona como gran difusor dentro de una población). Asimismo, la tasa de reproducción de un hospedador puede influir directamente en los procesos de la enfermedad. Puede ser difícil gestionar la enfermedad mediante manipulaciones de la población cuando una especie tiene una tasa de reproducción elevada. En este caso, las crías pueden servir de fuente continua de individuos susceptibles, lo que puede mantener las epidemias durante largos periodos de tiempo. También puede ser difícil mantener los efectos de las manipulaciones poblacionales a lo largo del tiempo debido a la rápida afluencia de crías. Por el contrario, las especies con altas tasas de reproducción pueden recuperarse mucho más rápidamente de los impactos de las enfermedades y, por tanto, pueden no justificar grandes esfuerzos de gestión. Por último, la tasa de supervivencia es otro parámetro demográfico que puede tener importantes repercusiones en las decisiones de gestión. Los impactos de las manipulaciones poblacionales pueden tener efectos muy diferentes en las especies que son longevas en comparación con las que tienen una mayor mortalidad natural. La supervivencia individual influye directamente en el número de individuos susceptibles, infectados y recuperados (utilizando las descripciones de los modelos anteriores), lo que se traduce en una dinámica de la enfermedad y de la población que varía en función de las diferentes tasas de supervivencia y de la eficacia de las posibles manipulaciones de las poblaciones hospedadoras. Por lo tanto, comprender los procesos demográficos de los hospedadores es fundamental para desarrollar y aplicar acciones de gestión de la enfermedad.

Existen otros atributos de los hospedadores y sus poblaciones que pueden ser importantes en sistemas específicos. Pero, independientemente de ello, es necesario comprender la biología y

la ecología básicas del hospedador para lograr la eficacia en la gestión de la enfermedad dentro de las poblaciones hospedadoras mediante manipulaciones de la población. Se debe hacer todo lo posible por recopilar y cotejar la información pertinente sobre el hospedador antes de diseñar cualquier actividad de manipulación para evitar que se produzcan consecuencias no deseadas o incluso contraproducentes que puedan inhibir el control de la enfermedad y afectar potencialmente de forma negativa al bienestar a largo plazo de la población hospedadora.

### *Entorno*

Ya hemos descrito algunos aspectos del entorno que son importantes cuando se habló sobre las necesidades de hábitat del huésped. Sin embargo, si consideramos que el entorno tiene un significado más holístico, debemos considerar la relación del huésped con otros componentes del ecosistema a la hora de decidir los esfuerzos de manipulación adecuados. Por ejemplo, la manipulación de la población hospedadora puede tener un impacto directo o indirecto en otras especies importantes. Este impacto puede ser positivo o negativo, pero dadas las relaciones intrínsecamente interconectadas dentro de un ecosistema, sin duda habrá consecuencias más allá de las asociadas a la especie huésped focalizada. Estos impactos posteriores deben incluirse en el proceso de decisión cuando se eligen las acciones de gestión para minimizar las repercusiones negativas no deseadas de la gestión. En otras palabras, la necesidad de mantener la función del ecosistema puede limitar las acciones de gestión de la enfermedad a aquellas que no afecten gravemente a la integridad del sistema, incluso si las acciones son menos eficaces para la población huésped concreta.

Los atributos físicos del entorno también determinan si algunas manipulaciones de la población son viables. Por ejemplo, un terreno irregular puede impedir el acceso del humano y, por tanto, limitar la capacidad de implementar acciones de gestión a las poblaciones que habitan esas regiones. Del mismo modo, algunos entornos pueden tardar mucho tiempo en recuperarse de las perturbaciones, lo que puede reducir las estrategias de manipulación viables a aquellas que afectan mínimamente a los lugares de tratamiento.

El entorno también es un factor crítico cuando sirve de fuente o reservorio del agente etiológico. En estos casos, es necesario incluir el entorno en el diseño de la acción de manipulación para reducir la reinfección y las nuevas infecciones a través de esta vía de transmisión. También hay algunos casos en los que la comprensión de la heterogeneidad ambiental y su efecto en el proceso de la enfermedad será clave para dirigir los esfuerzos de gestión hacia los huéspedes de las regiones de mayor riesgo. Esto puede aumentar la eficacia de las manipulaciones de la población y conservar los recursos limitados.

Comprender el papel del entorno y las repercusiones de la gestión a nivel del ecosistema es una de las tareas más difíciles a la hora de diseñar manipulaciones poblacionales. Requiere un conocimiento profundo de los procesos naturales a múltiples escalas. Es probable que haya importantes lagunas de conocimiento que limiten la comprensión; sin embargo, dedicar tiempo a trazar un mapa de las funciones significativas del sistema y que las impulsa puede poner de relieve las posibles respuestas del ecosistema que hay que vigilar, y puede dar inicio a una investigación más profunda para abordar las principales y más evidentes deficiencias en la comprensión.

## Consideraciones logísticas

Hasta ahora hemos centrado nuestro debate en las consideraciones sociales y del sistema en torno a la manipulación de las poblaciones hospedadoras. Una consideración igualmente importante son las limitaciones logísticas en torno a las acciones de gestión propuestas. Obviamente, la disponibilidad de recursos para llevar a cabo las manipulaciones de la población va a determinar el tipo y el alcance de las mismas. Estos incluyen no sólo los recursos financieros, sino también el personal. Este último no solo requiere que el número de personal sea adecuado, sino también que cuenten con la experiencia pertinente. Para implementar con éxito cualquier acción de gestión de enfermedades se necesitan los conocimientos de una amplia variedad de disciplinas, como la ecología, la epidemiología, la estadística, la ciencia veterinaria, la parasitología, la patología, la virología, la microbiología y la ciencia de los datos. Esta experiencia puede ser aprovechada desde dentro o fuera de una organización/entidad, pero el éxito será el resultado de tener a las personas adecuadas involucradas en la gestión.

Otra consideración logística que se debe tener en cuenta es la disponibilidad de pruebas de diagnóstico adecuadas (para más detalles, ver sección sobre vigilancia de este manual). Algunos tipos de manipulaciones pueden requerir explícitamente la disponibilidad de una buena prueba de diagnóstico (es decir, el sacrificio de los individuos infectados) si se van a utilizar en absoluto. Pero, incluso para aquellas que no lo requieren para su implementación, la mayoría de las manipulaciones requieren la disponibilidad de una prueba de diagnóstico adecuada (es decir, la capacidad de distinguir entre animales infectados y no infectados) para el seguimiento de los impactos y el éxito o fracaso final de un programa de control. El objetivo de un programa de control suele ser reducir el crecimiento y la propagación de una enfermedad en una población, y sólo mediante el seguimiento de la población a través de la vigilancia específica se puede evaluar la eficacia de las manipulaciones de la población.

La última consideración logística que describimos es la de evaluar si las manipulaciones pueden hacerse de forma pasiva o si deben hacerse de forma activa desde la perspectiva de una organización. Por ejemplo, si la especie hospedadora es una especie cinegética, puede ser posible manipular las poblaciones a través de la regulación de las capturas. Esto permitiría manipular la población de forma pasiva a través de los cazadores, lo que puede ser un enfoque más eficaz y eficiente en comparación con la manipulación directa de la población por parte de una organización. También puede ocurrir que sea necesario aplicar tanto enfoques de manipulación activa como pasiva para que la gestión tenga éxito. Independientemente de la aplicación, es útil explorar la variedad de opciones que existen para llevar a cabo las manipulaciones de hospedadores.

Las consideraciones logísticas varían en gran medida entre regiones, enfermedades y sistemas. Si bien no es posible contemplarlas todas, son una consideración importante que por lo general determina cómo, dónde y cuándo se implementa la gestión. Por ello, las hemos incluido de forma explícita.

## Medidas del Éxito

Igual de importante que las consideraciones sociales y del sistema antes mencionadas para el diseño de manipulaciones de las poblaciones hospedadoras es determinar los parámetros con los que se evaluará la gestión. A menudo se pasa por alto la definición de los parámetros de éxito a la hora de diseñar estrategias de gestión. Este descuido se debe probablemente al propósito aparentemente obvio de las prácticas de control de enfermedades (es decir, controlar la

enfermedad dentro de una población). Por lo tanto, parece implícito que el éxito = control de la enfermedad. La dificultad surge cuando profundizamos y nos planteamos la siguiente pregunta: ¿en qué consiste el éxito del control? Al profundizar en esta cuestión, se observa que el control, a menos que se defina explícitamente, es un concepto ambiguo para las enfermedades de la fauna salvaje. Por ejemplo, ¿por control se entiende la erradicación completa, la reducción de alguna medida de intensidad (prevalencia, incidencia, frecuencia, etc.), la prevención de la propagación o el desarrollo de nuevos focos, etc.? Es esencial que se especifique cómo se evaluará la eficacia de una manipulación antes de iniciar cualquier actividad. Esto garantizará que se aplique la manipulación correcta para lograr el éxito y que se recoja la información necesaria para evaluar la eficacia desde el inicio de las actividades de control. Del mismo modo, es crucial definir el objetivo de una acción de gestión en función de estas medidas de éxito. Esto ayudará a determinar la distribución de los recursos, cuándo puede cesar la gestión o debe abandonarse, y es necesario a la hora de comunicárselo a los políticos o el público. Esto último es especialmente importante porque, a menudo, el éxito y la disponibilidad de recursos para las manipulaciones poblacionales dependen de contar con un apoyo público y político sostenido. Tener objetivos claros basados en parámetros definidos no sólo proporciona validez científica, sino también transparencia a las acciones de gestión que pueden ser controversiales. En resumen, antes de instituir una gestión destinada a manipular las poblaciones hospedadoras, es necesario delinear cómo se medirán los resultados de la gestión y establecer objetivos en torno a estos parámetros antes de ponerla en práctica.

## Manipulación de Poblaciones Hospedadoras

Ahora que hemos descrito la teoría y algunas de las principales consideraciones de diseño para llevar a cabo manipulaciones de las poblaciones hospedadoras, describiremos algunas de las manipulaciones más comunes utilizadas en las especies silvestres.

### *Distribución*

El primer tipo de manipulación del huésped que abordaremos es la manipulación de la distribución de la población de huéspedes para el control de la enfermedad. El fundamento teórico de esta acción de gestión es reducir los contactos de los individuos susceptibles con los individuos de su misma especie infectados o reducir la exposición a un agente no infeccioso. La modificación de la distribución no cambia el número total de hospedadores, sino que tiene como objetivo cambiar el área que habitan esos hospedadores. Si se utiliza nuestro sencillo modelo de enfermedad infecciosa descrito anteriormente, esta manipulación cambia esencialmente el parámetro  $A$ , lo que cambia efectivamente la densidad. La figura 3 muestra el resultado de duplicar el área que utiliza una población en la prevalencia global a lo largo del tiempo para luego introducir un patógeno. Obsérvese que utilizamos los mismos parámetros descritos anteriormente para el modelo anterior.

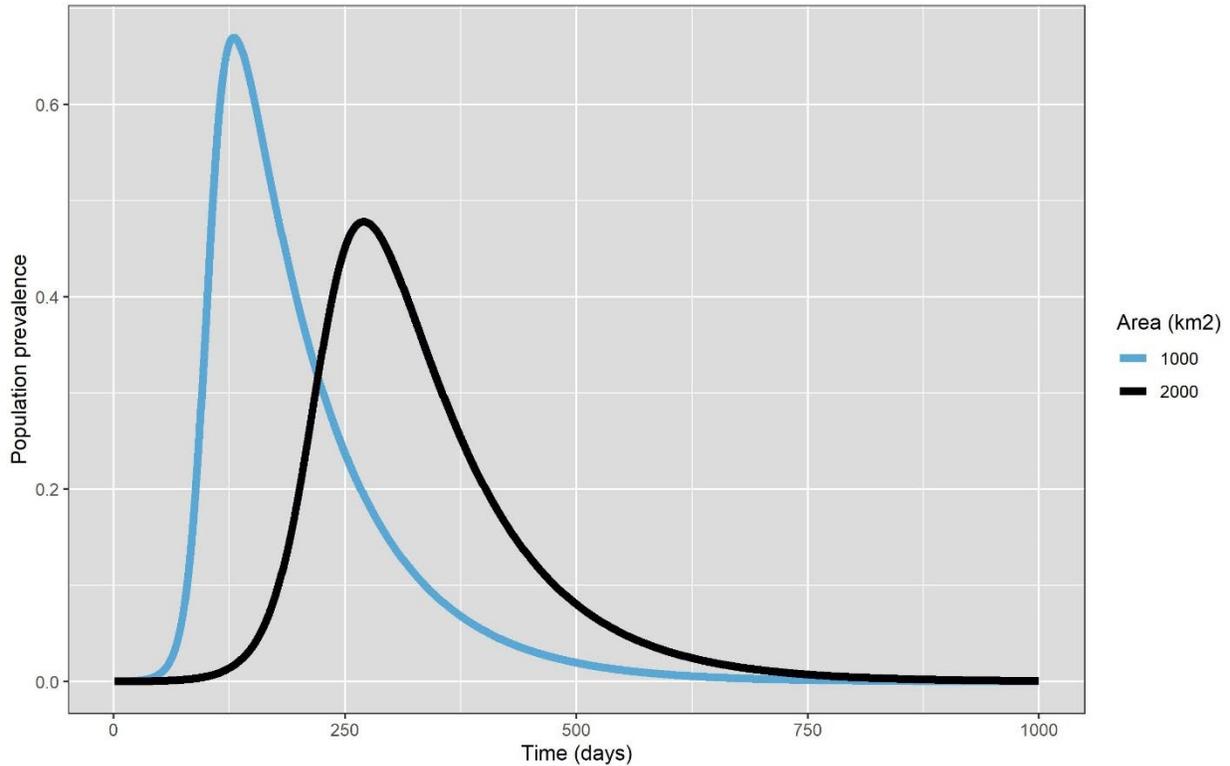


Figura 3- Impacto del aumento del área que utiliza una población en la prevalencia.

De este ejemplo se desprende que, al duplicar el área de distribución de una población, se logra reducir la prevalencia máxima, el número total de infectados y se aplana la curva epidémica en el tiempo. Por lo tanto, estos serían los resultados esperados que la manipulación de la distribución de los huéspedes puede lograr, aunque los impactos exactos pueden variar dependiendo de cuándo se implementó la manipulación en relación a cuándo se introdujo la enfermedad. Además, en algunos casos, cuando hay una fuente puntual de agente no infeccioso o la enfermedad está muy localizada, la alteración de la distribución puede tener efectos mucho más drásticos.

Hay varias formas posibles de alterar la distribución de los huéspedes. La primera consiste en dispersar o cambiar las zonas utilizadas por la población de hospedadores. Esta estrategia puede recomendarse especialmente cuando un brote o la exposición a un agente no infeccioso están localizados, y existe un hábitat adicional no afectado y adecuado dentro de la región. Un ejemplo de los casos en los que puede recomendarse la dispersión es cuando un lugar está altamente contaminado con perdigones de plomo o un complejo de humedales está experimentando un brote de botulismo (*Friend y Franson 1999b*). En este caso, se puede engañar o capturar y translocar las aves acuáticas y otras especies de aves a nuevas zonas alejadas de estos lugares. También se puede atraer a los animales mediante cebos o mejoras del hábitat lejos de los lugares problemáticos. Es importante no subestimar los recursos y el esfuerzo que supone la dispersión o traslocación de las poblaciones de fauna silvestre, sobre todo en el caso de algunas especies, como el bisonte, que son peligrosas y difíciles de manejar o ahuyentar (*Wobeser 1994*). Además, si la dispersión tiene éxito, es probable que sus efectos y beneficios sean sólo transitorios, a menos que los esfuerzos se mantengan a lo largo del tiempo, o que se altere el hábitat para reducir su idoneidad para la población huésped (por ejemplo, drenando un humedal para desalentar su uso por las aves acuáticas). Esto último debe considerarse cuidadosamente en el

contexto de los impactos sobre las especies a las cuales no está dirigida la dispersión. Además, a la hora de decidir sobre la dispersión de una población huésped, es imprescindible tener en cuenta el riesgo de dispersión de un agente infeccioso. Si la enfermedad es emergente y su extensión es limitada, la dispersión de individuos puede ser contraproducente y obstaculizar los esfuerzos de control de la enfermedad. En estos casos, puede ser aconsejable despoblar el área local para proteger a la población mayor del huésped (Wobeser 1994). Por el contrario, si se sabe que la enfermedad o el patógeno ocurren a gran escala y otros factores impulsan la aparición, como las características ambientales, la dispersión puede ser una opción de gestión viable.

También es importante tener en cuenta otras repercusiones de la dispersión, como el aumento de la depredación de cultivos o las interacciones entre la fauna salvaje y el ganado que pueden resultar de los esfuerzos de dispersión. Por ejemplo, en Wyoming, EE.UU., se creó un complejo de zonas de alimentación de alces para proporcionar fuentes de alimentación alternativas durante el invierno a las manadas de alces (*Cervus canadensis*) en proceso de declive y para reducir los conflictos con los intereses agrícolas y ganaderos. Desde entonces, las manadas de alces se han recuperado y ahora un gran número de alces se reúne en los comederos cada invierno. La aparición de la brucelosis (*Brucella abortis*) en estos rebaños de alces, así como en los rebaños de bisontes de la región circundante, es especialmente preocupante. Esto supone un gran dilema para quienes se encargan de la gestión de enfermedades ya que, si bien los comederos ayudan a mantener separados al ganado y a los alces, las grandes congregaciones de individuos crean un mayor riesgo de infección. Un ejemplo más reciente es el de la caquexia crónica (CWD por sus siglas en inglés) que supone una amenaza para estos rebaños, ya que una alta concentración lograda de manera artificial aumenta los riesgos (Cotterill et al. 2018). Este ejemplo evidencia tanto los beneficios como los riesgos de influir en la distribución de los animales mediante cambios distributivos intencionados. En resumen, la dispersión o el cambio de zonas de uso puede ser una herramienta eficaz para gestionar la distribución de los animales con el fin de alcanzar los objetivos de control de enfermedades, pero los efectos directos e indirectos deben sopesarse cuidadosamente.

Otra opción de gestión que puede emplearse para influir en las distribuciones de huéspedes es la separación forzada de los individuos infectados de los no infectados o prevenir el contacto con un agente no infeccioso. Cuando se considera el vallado como una opción de gestión, por lo general se pretende reducir la propagación de los huéspedes infectados en las regiones o reducir la transmisión dentro de las zonas ya afectadas, mediante la alteración de la distribución de los huéspedes. En la mayoría de los casos en los que el vallado dio resultados exitosos este implicó la separación de la fauna salvaje y el ganado. Por ejemplo, se ha utilizado el vallado extensivo para reducir la incidencia de la Fiebre Aftosa y la *trpanosomiasis* en el ganado, especialmente en Botsuana, Zimbabue, Namibia y Sudáfrica (Thomson et al. 2013); sin embargo, con el tiempo ha disminuido la eficacia del vallado y otras medidas de control. El vallado también se ha utilizado para proteger a las poblaciones saludables reintroducidas del demonio de Tasmania en Australia de los individuos infectados con la enfermedad del Tumor Facial Del Diablo (DFTD; Woods et al. 2018). A pesar de estos ejemplos, es poco común encontrar pruebas sólidas de la eficacia del vallado para el control de enfermedades que afectan exclusivamente a la fauna silvestre, en particular, si la intención es separar la fauna infectada de la no infectada (Mysterud y Rolandsen 2019). Es más probable que el vallado sirva como herramienta eficaz de gestión de las enfermedades de la fauna silvestre cuando se utiliza para impedir el acceso a lugares/fuentes puntuales que se sabe que están contaminados con agentes infecciosos o no infecciosos (Mysterud y Rolandsen 2019, Wobeser 1994).

Existen múltiples consideraciones en torno al uso de vallas que repercuten en el éxito de esta herramienta de gestión (*Mysterud y Rolandsen 2019*). Por ejemplo, si el cercado tiene como fin separar a los individuos infectados de los no infectados, será necesario implementar un programa de vigilancia específica riguroso para informar sobre la colocación del cercado. Las características de comportamiento del huésped también deben tenerse en cuenta en el diseño de las vallas. La capacidad de salto, la capacidad de excavación, la tendencia a desafiar la valla, la capacidad de nadar, etc., determinarán aspectos del diseño del cercado como la altura, la colocación, la necesidad de construcción subterránea o el uso de electricidad. También es esencial comprender el tipo y las características del agente. Si un agente infeccioso se transmite a través de vectores, el vallado puede ser ineficaz. Del mismo modo, si se transmite directamente, puede ser necesario colocar una doble valla para minimizar la posible transmisión a través de los contactos de la línea de vallado. Esto puede duplicar el costo de construcción y mantenimiento. Los agentes que afectan a múltiples huéspedes también pueden plantear desafíos importantes, ya que en ese caso se debe diseñar el vallado para cambiar los patrones de movimiento de todos los huéspedes potenciales. Esto puede ser poco realista si el cambio de huésped del patógeno incluye especies de tamaño pequeño o especies voladoras.

El estatus de la enfermedad en el sistema también determinará la eficacia y el diseño del vallado. Dentro de las zonas de enfermedades endémicas, el vallado puede ser eficaz si puede excluir a los huéspedes de los "puntos focales" de la infección (por ejemplo, los lamederos de minerales, las fuentes de alimentos infectados, etc.; *Mysterud y Rolandsen 2019*) y, por lo tanto, reducir la tasa de transmisión indirecta. Pero cuando se trata de separar de forma activa a los individuos infectados de los no infectados durante un brote de la enfermedad, el cercado puede ser menos eficaz para el control de la enfermedad.

Además de diseñar y colocar correctamente las vallas, el mantenimiento continuo del mismo puede resultar difícil. El mantenimiento del vallado será un esfuerzo constante, y el costo asociado en recursos de personal no es trivial, sobre todo cuando otras especies salvajes (por ejemplo, los elefantes) u otros acontecimientos naturales (por ejemplo, las tormentas de viento) presentan un riesgo constante de romper el vallado además de los fallos estructurales rutinarios. Una ruptura en una única ocasión puede permitir el paso de individuos infectados y el fracaso completo del esfuerzo de control de la enfermedad (*Mysterud y Rolandsen 2019*). Por último, a la hora de decidir si la valla es una opción viable y en cualquier diseño posterior se debe tener en cuenta el papel que desempeñan los movimientos del patógeno o del hospedador asistidos por el hombre o los movimientos que se producen como resultado de las rupturas de la valla donde se construya infraestructura humana (es decir, las carreteras) (*Bode y Wintle 2010*). Estos factores proporcionan un marco simple para el diseño del vallado que puede ser útil durante las fases de planificación.

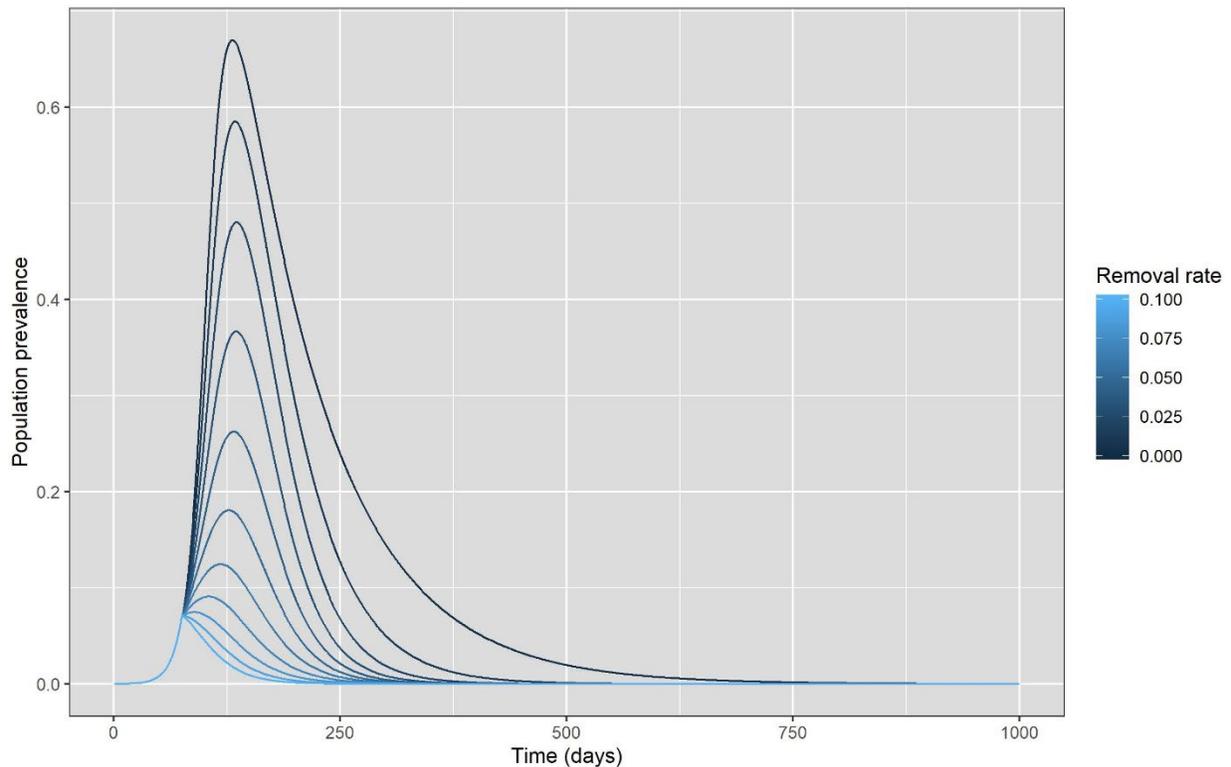
A pesar de los efectos positivos que pueda tener el vallado, también puede presentar consecuencias negativas profundas e involuntarias, como la destrucción de hábitats extensos durante la construcción, la interrupción de las rutas migratorias de muchas especies salvajes, la limitación del flujo genético entre poblaciones, la destrucción de redes sociales, la creación de sumideros de población y la mortalidad directa. Es importante recordar que los esfuerzos de control de enfermedades, incluyendo el vallado, no se realizan en el vacío, y los responsables de la toma de decisiones deben sopesar los impactos directos e indirectos en todo el sistema a la hora de elegir la estrategia más adecuada para el control de enfermedades.

En conclusión, existen diferentes métodos que pueden utilizarse para manipular la distribución de las poblaciones huéspedes. Estas opciones de gestión tienen la ventaja de no requerir la reducción directa del tamaño de la población; sin embargo, su aplicación puede ser difícil, tener

efectos secundarios no deseados y la durabilidad de sus impactos puede ser corta. La Tabla 4 que se encuentra al final de este manual proporciona una herramienta sencilla para organizar los conocimientos y ayudar a evaluar si la modificación de la distribución de los huéspedes puede tener éxito en el control de la enfermedad.

### *Eliminación Selectiva*

Otra posible herramienta de gestión para la manipulación de las poblaciones huéspedes es la eliminación selectiva de individuos de la población huésped. La aplicación más común de esta herramienta consiste en el sacrificio los individuos infectados de la población para reducir el riesgo de transmisión del agente infeccioso. En esencia, funciona según el mismo principio epidemiológico que la cuarentena de individuos en el ámbito de la salud humana (Wobeser 1994), ya que se utiliza para reducir el contacto entre individuos sanos y miembros de la misma especie que están enfermos. Teniendo en cuenta el modelo presentado al principio de esta sección, el objetivo de la eliminación selectiva de animales infectados es reducir el coeficiente de transmisión  $\beta$ , y este objetivo se consigue reduciendo la prevalencia en la población. La Figura 4 ilustra el impacto potencial que la eliminación selectiva puede tener en los procesos de la enfermedad, en la que se inició el sacrificio después del día 75 del brote y se muestran los impactos para varias tasas diarias de eliminación de individuos infectados (es decir, 0,01 = 1% de los individuos infectados fueron eliminados por día). El análisis de esta figura demuestra el impacto drástico que puede tener la eliminación selectiva de individuos infectados en el curso de la enfermedad en una población.



*Figura 4- Impacto de la eliminación selectiva de individuos infectados en la prevalencia en la población huésped.*

Aunque la eliminación selectiva puede tener un gran impacto, para utilizar esta práctica de control de la enfermedad deben darse las condiciones adecuadas. En primer lugar, debe haber un medio adecuado para identificar a los individuos infectados. Si la enfermedad presenta signos clínicos fácilmente discernibles, éstos pueden ser suficientes para permitir la eliminación de los individuos infectados. Sin embargo, si los signos clínicos no son fácilmente perceptibles o si se presentan en una fase tardía de la enfermedad, será importante disponer de una prueba de diagnóstico confiable para detectar a los individuos infectados. En este caso, también será necesario poder asociar los resultados de las pruebas con los animales individuales para poder eliminar los animales infectados (es decir, realizar la prueba y sacrificar). Lo ideal sería realizar la prueba en todos los animales de una población, y que aquellos animales en los que no se realizó la prueba fuesen separados de los animales negativos conocidos hasta que se puedan eliminar todos los animales infectados. En la práctica, esto será poco práctico en la mayoría de los eventos de enfermedades de la fauna salvaje. Es más probable que se requiera un programa sostenido de pruebas y sacrificios de manera que haya una reducción continua de los individuos infectados para frenar o detener la epidemia.

La eliminación selectiva de individuos infectados se ha utilizado para reducir con éxito la prevalencia de la tuberculosis bovina (*Mycobacterium bovis*) en el búfalo africano (*Syncerus caffer*) en Sudáfrica (le Roex et al. 2016). Sin embargo, las pruebas y el sacrificio de bisontes (Bison bison) no han demostrado ser eficaces para controlar la brucelosis (*Brucella abortus*) en la fauna silvestre en libertad en el Parque Nacional de Yellowstone en Estados Unidos (Bienen y Tabor, 2006). Asimismo, el sacrificio selectivo no consiguió frenar la infección ni reducir el impacto de la DFTD en los demonios de Tasmania (Lachish et al. 2010). La falta de éxito de este esfuerzo se atribuyó al patrón de contactos dentro de la población de hospedadores (es decir, dependiente de la frecuencia), al largo periodo latente y al alto grado de infectividad de la enfermedad, y a la presencia de un reservorio críptico oculto de la enfermedad o a la continua inmigración de individuos enfermos. Por lo tanto, por muy atractivo que pueda parecer este método, la eficacia de la eliminación selectiva de los individuos infectados varía en función de las características del sistema.

La eliminación selectiva también puede centrarse en eliminar sólo los individuos infectados clave que impulsan de forma desproporcionada la incidencia de la enfermedad en las poblaciones (es decir, los super difusores). Por ejemplo, en Norteamérica las poblaciones de borregos cimarrones se han visto muy afectadas por una enfermedad respiratoria causada por *Mycoplasma ovipneumoniae* (*M. ovi*). Las epizootias que afectan a todas las edades pueden provocar un descenso significativo del tamaño de la población, así como la incapacidad de obtener corderos. En las poblaciones afectadas, los corderos nacen cada año, pero la mayoría sucumben a la enfermedad respiratoria a las 6-11 semanas de edad, lo que impide la recuperación de la población. Las investigaciones epidemiológicas intensivas recientes han demostrado que la heterogeneidad individual en la excreción de *Movi* es probablemente un motor clave de la dinámica de la enfermedad, con unos pocos individuos crónicamente infectados que impulsan la transmisión en toda la población (Plowright et al. 2017). Al eliminar estos individuos infectados crónicamente (según se determinó mediante pruebas repetidas), de una población de cimarrones en libertad se redujo la enfermedad en los adultos y mejoró la supervivencia de los corderos (Garwood et al. 2020). Por lo tanto, para los sistemas de algunas enfermedades, la eliminación selectiva de individuos crónicamente infectados puede ser una opción de gestión para mejorar la salud del rebaño y puede reducir el número de animales que necesitan ser eliminados en comparación con la eliminación selectiva de todos los individuos infectados.

Aunque se considera con menos frecuencia, la eliminación selectiva también puede utilizarse para reducir sólo las subpoblaciones o grupos demográficos con mayor riesgo de infectarse o

transmitir un patógeno dentro de una población huésped. Al centrar la eliminación en estos grupos dentro de una población, se puede disminuir el riesgo general de introducción o transmisión de la enfermedad. Este enfoque se ha utilizado en la gestión de la enfermedad de Newcastle en los cormoranes de doble cresta (*Phalacrocorax auratus*). La enfermedad de Newcastle es una enfermedad de declaración obligatoria ante la OMSA que provoca una enfermedad aguda en las aves de corral y que se da en poblaciones silvestres de cormoranes de doble cresta en el oeste medio de Estados Unidos (*White et al. 2015*). Sin embargo, la enfermedad causa principalmente signos clínicos en las aves jóvenes y los adultos son en gran medida asintomáticos. Para controlar las poblaciones de cormoranes y reducir el riesgo de la enfermedad de Newcastle, se utiliza el aceitado de huevos para reducir selectivamente la eclosión y la presencia de jóvenes susceptibles en la población (*White et al. 2015*). La eficacia del aceitado de huevos para controlar los brotes de la enfermedad de Newcastle no se ha evaluado de forma crítica; sin embargo, esta práctica constituye un ejemplo de cómo dirigirse a un grupo demográfico específico para eliminarlo de forma selectiva.

Aunque son muchos los factores que hay que tener en cuenta antes de optar por la eliminación selectiva en una población, uno de los más importantes es la aceptación o tolerancia social de estas prácticas. Aunque suelen ser más aceptadas que el sacrificio aleatorio para la reducción de la densidad (que se describe en la siguiente sección), todavía puede haber cierto rechazo social a las prácticas letales de control de enfermedades. Es fundamental establecer objetivos claros, métodos de evaluación bien desarrollados con métricas de éxito claramente definidas y un plan de comunicación que haga hincapié en la difusión oportuna de los resultados del programa al público para garantizar la transparencia en torno a los esfuerzos de control. Esto ayudará a crear y mantener el apoyo público a la eliminación selectiva. Asimismo, las campañas de divulgación pública previas al inicio de la eliminación pueden ser informativas para poner de relieve los posibles obstáculos sociales que pueden interferir en los esfuerzos de control y descubrir mejoras en los procedimientos que pueden aumentar el apoyo público a la eliminación selectiva.

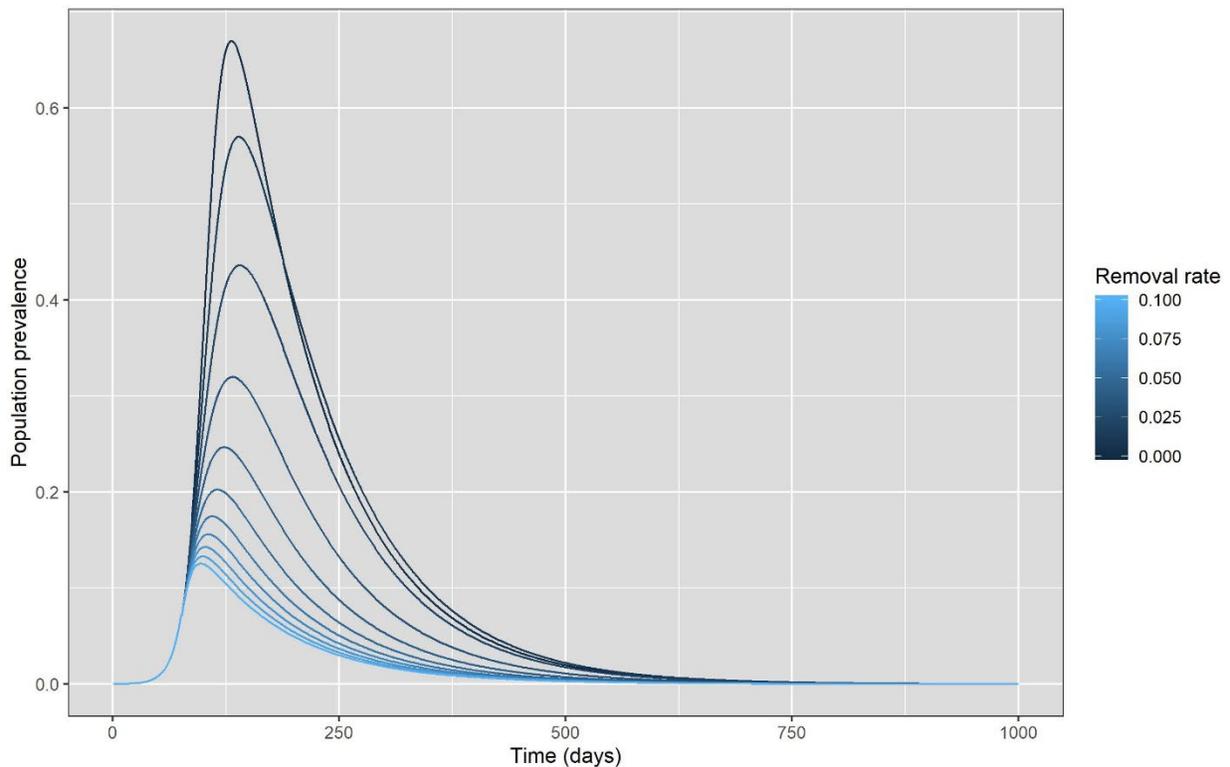
Finalmente, para que la implementación de la eliminación selectiva tenga éxito, se requiere de un enfoque multidisciplinario. A la hora de aplicar esta estrategia de control, no se debe ignorar el impacto de la ecología del huésped y el agente en los procesos de la enfermedad. No integrar a los científicos con conocimientos sobre ecología en el diseño de la gestión puede dar lugar a una menor eficacia de las opciones de control o incluso a resultados contraintuitivos o perjudiciales debido a respuestas inesperadas de la población o la comunidad. Del mismo modo, la modelización matemática del brote puede ser especialmente útil para determinar si los métodos de prueba y sacrificio tienen probabilidades de lograr los resultados deseados, en un plazo razonable, dadas las limitaciones del mundo real del sistema. También se recomienda la incorporación de científicos sociales a la planificación para ayudar a comprender el entorno social en el que se aplicará la gestión, y para ayudar a concebir métodos que garanticen el apoyo a los esfuerzos de control. La realidad es que la manipulación de las poblaciones hospedadoras altera un sistema complejo y entrelazado de actores y procesos ecológicos, y aunque nunca se puede comprender *a priori* la totalidad de los efectos de las perturbaciones en este sistema, el hecho de reunir a científicos de estas disciplinas diversas aumenta enormemente las posibilidades de prever los impactos más relevantes de la gestión en el sistema.

En conclusión, la eliminación selectiva de individuos de una población puede ser una importante herramienta de control de enfermedades. Proporciona una aplicación más precisa de la gestión que el sacrificio general o reduciendo su densidad de población, como se describe a continuación. En algunos sistemas, puede lograr los objetivos de gestión de la enfermedad de

forma más rápida y rentable; sin embargo, se debe evaluar cuidadosamente su idoneidad para cada sistema para el que se proponga su aplicación.

### *Reducción de la Densidad de la Población*

La última herramienta de gestión que analizaremos para manipular las poblaciones de hospedadores es quizá la que más se aplica en la gestión de enfermedades de la fauna salvaje: la reducción de la densidad de la población de hospedadores. El fundamento teórico de este enfoque es que la transmisión, el coeficiente  $\beta$ , del agente surge de un proceso que depende de la densidad. Utilizando de nuevo el modelo simple de la enfermedad que se detalló al principio de esta sección, la Figura 5 muestra los impactos de un programa continuo de reducción de la densidad, que comienza después del día 75 de un brote, en el proceso de la enfermedad.

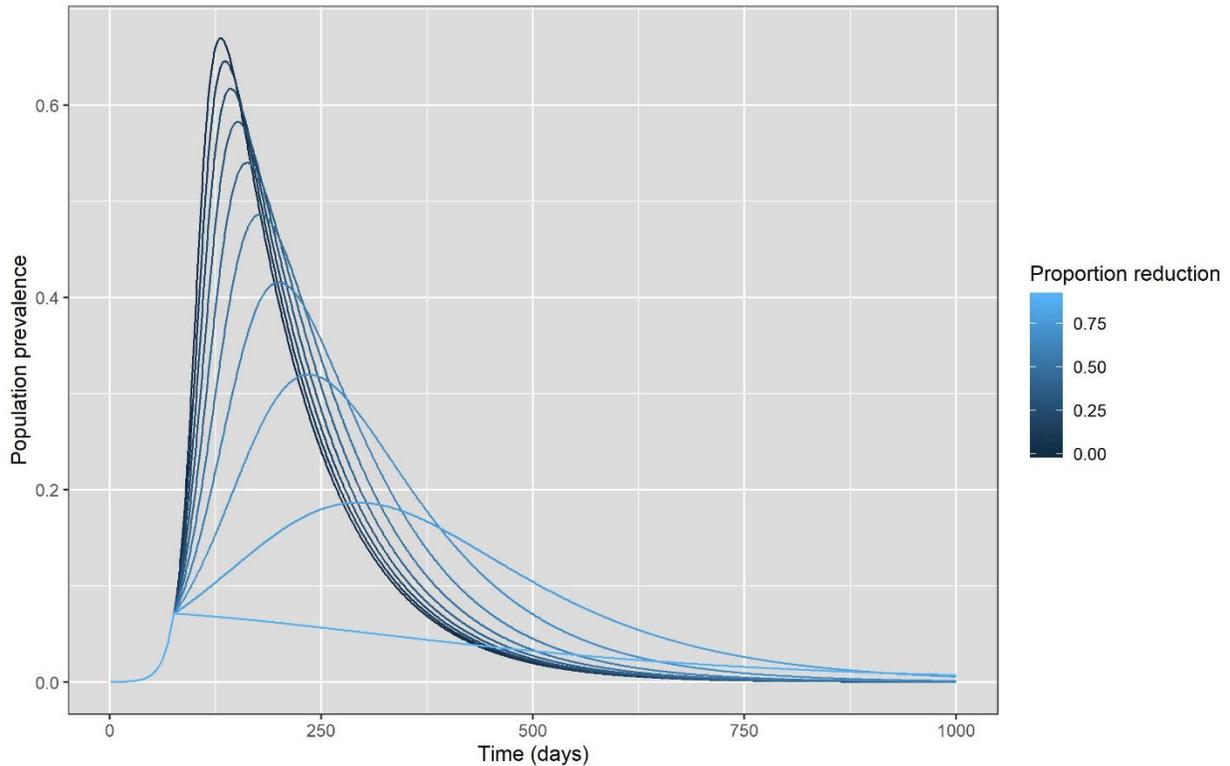


*Figura 5 – Impactos de la reducción continua de la densidad en la prevalencia.*

Aunque esta figura demuestra que una reducción suficiente de la densidad puede alterar el curso de la enfermedad, hay varios aspectos importantes de estos resultados que merecen más atención. En primer lugar, suponen que los animales se seleccionan al azar para su eliminación, independientemente del estado de la enfermedad. Esto significa que los individuos recuperados se eliminan al mismo ritmo que los individuos susceptibles y los infectados. Esto da lugar a una eliminación innecesaria de animales. Además, hemos asumido una tasa constante de eliminación, que puede ser difícil de mantener, e igualmente problemático es que la eliminación sostenida da lugar a tamaños de población que pueden llegar a ser extremadamente bajos. Obviamente, esto no sería deseable en los escenarios reales de control de enfermedades.

También podemos relajar la hipótesis de la eliminación continua y, en su lugar, reducir el tamaño de la población en un momento dado. La figura 6 ilustra el efecto de la reducción de la densidad

en el día 76, sobre la prevalencia de la enfermedad, en función de los esfuerzos de reducción de varios tamaños. Es evidente que, para tener un impacto significativo en la prevalencia, debe eliminarse una gran proporción de la población (es decir, > 80%), y los efectos son mucho menos notables que los de la eliminación continua. Sin embargo, un esfuerzo puntual para reducir la población puede ser más viable en algunos sistemas de enfermedades que un programa de eliminación continua.



*Figura 6- Impacto de una reducción puntual de la población en la prevalencia.*

Los ejemplos anteriores se centran en la eliminación después de que la enfermedad haya aparecido en la población durante 75 días. Pero a menudo la reducción de la densidad se aplica antes de la introducción de la enfermedad. En estos casos, el objetivo es reducir  $R_0$  para una enfermedad dentro de una población, de manera que la epidemia no pueda establecerse en la población si esta estuviera expuesta al agente infeccioso. La figura 2 de la sección de teoría ilustra cómo varían los valores de  $R_0$  para nuestro modelo de ejemplo a medida que se reduce la población. En nuestro caso, la reducción de la población debe superar el 90% antes de que  $R_0$  caiga por debajo de un valor de 1.

A partir de estos sencillos ejemplos, queda claro que la reducción de la densidad puede tener efectos muy variables en el proceso de transmisión, dependiendo del sistema, así como de cuándo y cómo se aplique. Por lo tanto, aunque se utiliza habitualmente para las enfermedades de la fauna silvestre, la reducción de la densidad debe planificarse cuidadosamente para garantizar que es la opción de gestión correcta para lograr los objetivos de control y que se lleva a cabo correctamente para maximizar las posibilidades de éxito.

Para ello, hay numerosas consideraciones asociadas al diseño de las reducciones de densidad. La primera es cómo se llevará a cabo la reducción. La reducción de la densidad se suele llevar

a cabo mediante métodos letales con intervención humana, pero para algunas especies esto no es adecuado. En el caso de las especies de interés para la conservación, los individuos tienen un gran valor, por lo que las operaciones de captura y translocación pueden ser viables para lograr la reducción necesaria. Además, en algunos sistemas la protección o el fomento de las poblaciones de depredadores puede ser un recurso viable para lograr una reducción de las densidades, sobre todo si se utiliza junto con métodos de intervención humana. Las manipulaciones del hábitat también pueden utilizarse para reducir las densidades. Éstas pueden llevarse a cabo a través de amplias manipulaciones en el entorno o cambiando los comportamientos humanos y el uso del paisaje. Por ejemplo, la interrupción de la alimentación suplementaria de la fauna silvestre puede reducir las concentraciones no naturales de animales y también puede afectar a la supervivencia y reproducción de los individuos

Una segunda consideración es la escala a la que se aplicará la reducción. La densidad se puede reducir en un sitio local, en una zona más amplia, tal vez en una zona tampón alrededor de un foco de la enfermedad recién descubierto, o puede producirse en una zona extensa (Wobeser 1994). La determinación de la escala necesaria generalmente requerirá información de un programa de vigilancia específica que pueda evaluar la extensión espacial de la enfermedad en el paisaje. Cuanto más grande sea la escala necesaria, más difíciles serán los esfuerzos de reducción y más recursos serán necesarios, y menos probable será su éxito (Wobeser 1994). Otra consideración a tener en cuenta es si la enfermedad es nueva en el sistema o es endémica. En este último caso, también es importante conocer la intensidad de la infección. Las poblaciones en las que las enfermedades son endémicas son mucho menos susceptibles de ser controladas a través de la reducción de la densidad debido a los niveles potencialmente más altos y a la extensión espacial de la infección dentro de la población. Por lo tanto, la reducción de la densidad será más eficaz para prevenir la entrada de la enfermedad (es decir, para reducir  $R_0$ ), pero probablemente será menos eficaz cuando la enfermedad esté establecida. Cabe señalar que en los casos en los que la enfermedad está bien establecida, la reducción de la densidad puede seguir siendo útil, en particular, cuando su objetivo es prevenir la propagación de la enfermedad a otras poblaciones adyacentes.

Las características del patógeno también determinarán si la reducción de la densidad es una opción viable. El modo de transmisión puede influir en el alcance necesario de los esfuerzos de control de la enfermedad

Por ejemplo, la reducción de la densidad tendrá más probabilidades de éxito si la enfermedad se transmite directamente y tendrá menos éxito cuando la transmisión suponga un reservorio ambiental o se propague a través de vectores. El proceso de transmisión también determinará si la reducción de la densidad tendrá éxito. Si la transmisión sigue un proceso dependiente de la frecuencia, la reducción de la densidad no logrará controlar la enfermedad, y si la tasa de propagación del agente infeccioso es rápida, es posible que no haya tiempo suficiente para diseñar y aplicar programas de reducción de la densidad antes de que tales esfuerzos sean en vano. Además, en el caso de un agente infeccioso con una amplia gama de huéspedes, puede ser necesario reducir las densidades de una serie de huéspedes potenciales. Esto puede aumentar en gran medida el esfuerzo necesario, especialmente cuando los hospedadores varían en sus atributos físicos y de uso del hábitat. Sin embargo, no tener en cuenta a todos los posibles hospedadores en las operaciones de control puede hacer que fracase toda la estrategia de gestión.

Otra consideración fundamental para el diseño es comprender el momento de la posible afluencia de individuos susceptibles a la población hospedadora. El tamaño de la población puede aumentar a lo largo del año a medida que nacen o inmigran nuevos individuos a la población.

Estos procesos demográficos pueden mejorar los efectos de los esfuerzos de reducción de la densidad. Los esfuerzos de reducción de la densidad deben tener en cuenta la posible afluencia de individuos, así como el momento en que es probable que se produzca la reproducción y la inmigración. Las poblaciones con bajas tasas de reproducción y que no experimentan una inmigración abundante de otras poblaciones son generalmente las mejores candidatas para la reducción de la densidad (Wobeser 1994). Del mismo modo, la reducción de la densidad de las especies migratorias debe diseñarse cuidadosamente para garantizar que se eliminan los individuos o la población "adecuados" y que no se eliminan innecesariamente los que sólo están de paso por una región. Además, la estructura social de la población huésped puede influir significativamente en la respuesta de las poblaciones a las reducciones de densidad. Algunas especies pueden tener redes sociales muy estructuradas, y cuando se eliminan individuos, la perturbación del sistema social puede ser bastante drástica. Estas perturbaciones pueden dificultar o incluso afectar negativamente a los esfuerzos de control de la enfermedad. Por ello, es probable que la reducción de la densidad tenga más éxito en las poblaciones que tienen una estructura social limitada.

El hábitat que utilizan las especies a las que está dirigida la reducción de la densidad también desempeñará un papel importante en el éxito de los esfuerzos y debe incorporarse al diseño. Las poblaciones que residen en un hábitat de alta calidad no sólo serán probablemente más grandes, sino que también podrán recuperarse más rápidamente de las reducciones. Por lo tanto, las poblaciones que se encuentran en un hábitat de buena calidad pueden requerir una reducción mayor. La evaluación de la extensión del hábitat adecuado también ayuda a establecer la extensión espacial necesaria de los esfuerzos de reducción al definir la "población" de interés. Por ejemplo, si hay varias parcelas de hábitat adecuado conectadas en el paisaje que actúan como una meta población, los esfuerzos de reducción pueden ser necesarios en todas las áreas interconectadas. Será necesario llevar a cabo una vigilancia específica en cada una de estas parcelas o subpoblaciones para comprender el alcance de la enfermedad y determinar dónde debe producirse la reducción. La configuración del hábitat adecuado también puede orientar dónde pueden ser más eficaces los esfuerzos de reducción. Dependiendo de las características del paisaje, puede ser posible crear zonas tampón de baja densidad alrededor de los focos de infección, aprovechando la yuxtaposición de hábitat adecuado y no adecuado y orientando los esfuerzos de reducción. En resumen, las características del hábitat pueden suponer tanto desafíos como oportunidades para la reducción de la densidad y deberían incluirse en las discusiones sobre el diseño para el control de la enfermedad.

También hay varias consideraciones logísticas a tener en cuenta a la hora de implementar la reducción de la densidad cuando esta se llevará a cabo utilizando métodos letales. La primera es cómo se manejarán y eliminarán los cadáveres durante los esfuerzos de reducción. Es imperativo que existan protocolos de bioseguridad para proteger al personal o al público que realice la eliminación de animales. Esto es para protegerlos tanto de la enfermedad focal, como de cualquier patógeno zoonótico potencialmente desconocido que el huésped pueda estar albergando. El análisis de los animales eliminados puede ayudar a evaluar el éxito de la reducción de la densidad en los procesos de la enfermedad. Para ello es necesario disponer de una prueba de diagnóstico aceptable y asegurarse de que se toman las muestras adecuadas antes de eliminar los cadáveres. La eliminación de los cadáveres (descrita anteriormente) también debe planificarse con suficiente antelación.

Una segunda consideración logística es quién llevará a cabo la reducción de la densidad. Cuando la reducción de la densidad es necesaria para las especies de caza, los cazadores pueden ser una herramienta valiosa para lograr la reducción necesaria de la densidad. Esto puede ser muy valioso, ya que no requiere personal de las agencias, los animales pueden ser

retirados de terrenos privadas, y el cazador es responsable de la correcta eliminación del cadáver. Sin embargo, es necesario evaluar la eficacia de la caza para lograr el nivel de reducción deseado, y puede ser necesario que la agencia lleve a cabo el sacrificio para complementar los esfuerzos de los cazadores si no son suficientes. Por último, la duración de los esfuerzos de reducción que se aplicarán a una población debe especificarse al inicio de las actividades para calcular el nivel de compromiso de los recursos y comunicar los objetivos de la gestión a las partes interesadas. Es poco probable que un solo esfuerzo de reducción de la densidad sea suficiente para alcanzar los objetivos de control de la enfermedad, y puede ser necesario que los esfuerzos de control se realicen durante un periodo de tiempo prolongado. A menudo puede ser difícil determinar cuánto tiempo antes de las actividades de control se necesitarán los esfuerzos, pero los modelos matemáticos pueden ayudar a informar estas estimaciones inicialmente y más tarde pueden mejorarse a medida que se tenga un mejor conocimiento del sistema.

Como se ha descrito anteriormente para la eliminación selectiva, la reducción de la densidad puede ser a menudo muy controvertida. Esto se agrava cuando la eliminación no se limita a los individuos que corren más riesgo o a los infectados. Aunque en el caso de las enfermedades de la fauna silvestre que son zoonóticas o que pueden afectar al ganado doméstico, puede ser menos controvertido, siempre que se planifique la reducción de la densidad es fundamental llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las implicaciones sociales y el desarrollo de un plan de comunicación. La necesidad de contar con la participación de científicos de una amplia gama de disciplinas también es fundamental para los esfuerzos de reducción de la densidad. Hemos descrito una serie de campos científicos que podrían participar en la eliminación selectiva por lo que no es necesario repetirlo, pero si es importante insistir que la reducción de densidades para controlar las enfermedades es una tarea difícil dada la complejidad ecológica y epidemiológica de los sistemas de vida silvestre. La colaboración entre disciplinas es clave para lograr el control de la enfermedad.

Existen numerosos ejemplos del uso de la reducción de las densidades de las poblaciones hospedadoras para el control de enfermedades; sin embargo, resulta más complejo encontrar casos donde los efectos de las acciones de gestión se hayan evaluado de forma crítica. Por ejemplo, la caza es un método que se utiliza ampliamente para la gestión de poblaciones de ciervos en Norteamérica, y con la introducción de la caquexia crónica en varias regiones, la caza también se comenzó a utilizar para el control de la enfermedad. Sin embargo, a pesar de su amplia implementación, hay pocos ejemplos de que esta práctica se evalúe rigurosamente para determinar su eficacia. En gran medida, esta deficiencia se debe a la falta de datos adecuados para realizar una evaluación rigurosa. Esto pone de manifiesto la importancia y la necesidad de determinar los parámetros de éxito antes de iniciar los esfuerzos de control de la enfermedad. Además, medir el éxito no sólo es útil para garantizar una adecuada utilización de los recursos y para mantener el apoyo público a la gestión de la enfermedad, sino que también puede ayudar a orientar las mejoras de las actividades de gestión e identificar cuándo no están teniendo los efectos deseados. Por ejemplo, para proteger a las poblaciones de ganado de la tuberculosis bovina, se llevó a cabo una reducción de la densidad de tejones europeos (*Meles meles*), que son huéspedes reservorios del patógeno. Lamentablemente, los esfuerzos parecen haber aumentado la prevalencia de la tuberculosis bovina en las poblaciones de tejones y en los rebaños de ganado que rodean la zona de tratamiento. El problema en el sistema del tejón se centró en la comprensión insuficiente de la ecología de esta especie huésped. Tras intensos estudios de las poblaciones de tejones, ahora se cree que las actividades de sacrificio, que alteraron la estructura de sexo/edad de la población y, en consecuencia, la probabilidad y el tipo de interacciones sociales, provocaron una perturbación social de esta especie territorial que dio lugar a más excursiones fuera de los grupos sociales normales. La nueva dinámica social acabó provocando una elevada incidencia de la enfermedad en los años siguientes (Tuytens et al.

2000, McDonald et al. 2008). El sistema del tejón europeo resalta la importancia de comprender los procesos ecológicos de las poblaciones de huéspedes cuando se intenta manipular las poblaciones de huéspedes (Prentice et al. 2019). Otro ejemplo en el que el control de enfermedades ha tenido efectos nocivos en las poblaciones de animales salvajes sin mejorar la situación de la enfermedad es la gestión de la rabia en los vampiros comunes (*Desmodus rotundus*) en América Latina. Los murciélagos fueron capturados y cubiertos con una pasta anticoagulante. Luego, los murciélagos volvieron a la colonia y, mediante el acicalamiento propio y social, se administró el veneno a numerosos individuos, lo que dio lugar a una reducción de la densidad en las colonias. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de tratamiento extensivo y a largo plazo, continúa habiendo casos de rabia en humanos y ganado, y la exposición de los murciélagos al virus de la rabia aumentó después del sacrificio (Streicker et al. 2012). Se supuso que la causa de la falta de efecto positivo del sacrificio en la rabia era que el sacrificio se dirigía a los individuos adultos cambiando la estructura de edad de las colonias a cohortes más jóvenes y susceptibles, y que la transmisión estaba funcionando potencialmente de una manera dependiente de la frecuencia (Streicker et al. 2012).

En cambio, la reducción de la densidad consiguió eliminar la fiebre aftosa de los ciervos de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en California. El personal de la agencia eliminó 20.698 ciervos en el transcurso de un año, y desde entonces no se ha detectado la enfermedad (Wobeser 1994). También se afirma que el sacrificio ha mantenido una baja prevalencia de la caquexia crónica en los ciervos de cola blanca de Illinois, Estados Unidos. Desde 2003 se ha llevado a cabo un sacrificio localizado por parte del personal de la agencia en Illinois, mediante la eliminación selectiva de ciervos en focos conocidos de caquexia crónica. El objetivo del sacrificio es mantener una menor densidad de ciervos en estas zonas. La comparación de las tasas de prevalencia de Illinois con el estado adyacente de Wisconsin, donde el sacrificio sólo se produjo entre 2003 y 2008, mostró que las tasas de prevalencia se mantuvieron bajas en Illinois y en Wisconsin durante los años de sacrificio. Sin embargo, una vez que se concluyó el sacrificio en Wisconsin, las tasas de prevalencia aumentaron y fueron significativamente más altas que las de Illinois (Manjerovic et al. 2014). Es importante señalar que el cese del sacrificio en Wisconsin no se debió a que se considerara ineficaz, sino a que fue muy impopular entre el público y perdió el apoyo político. Por lo tanto, proporciona un buen ejemplo de los impactos de la dinámica social en el control de las enfermedades de la fauna silvestre.

Otro ejemplo interesante ocurrió en Uganda. Una gran colonia de murciélagos frugívoros egipcios (*Rousettus aegyptiacus*) habitaba en la mina de Kitaka, una mina activa en el sur de Uganda. En 2007-2008, cuatro mineros y dos turistas contrajeron la fiebre hemorrágica de Marburgo la mina, que desgraciadamente causó dos víctimas mortales. Las investigaciones epidemiológicas encontraron el virus de Marburgo en las poblaciones de murciélagos que se posan en la mina. En respuesta a estos hallazgos, pero en contra de las recomendaciones del personal de recursos naturales, los mineros exterminaron activamente a los murciélagos de la mina para reducir el riesgo de infección. Varios años después se produjo el mayor brote de virus de Marburgo de la historia de Uganda en la ciudad cercana de Ibana. Las investigaciones posteriores volvieron a implicar a los murciélagos que habitaban la mina de Kitaka como fuente de exposición humana. La población de murciélagos era sólo el 1-5% de su tamaño original; sin embargo, la infección activa de los murciélagos era casi 3 veces mayor que la tasa de infección de la población antes de los esfuerzos de exterminio. Se especuló que la despoblación inicial dio lugar a la recolonización de la mina con individuos susceptibles, lo que llevó a tasas de infección más altas y a un mayor riesgo humano (Amman et al. 2014). Este ejemplo permite destacar dos puntos clave sobre la reducción de la densidad. En primer lugar, actuar sin comprender la ecología del sistema puede ser peligroso y tener un alto potencial de consecuencias inesperadas. En segundo lugar, la percepción del riesgo por parte de los humanos puede ser un poderoso motor para la

aplicación del control de la enfermedad y, como en este caso, el miedo puede a veces invalidar la orientación científica en detrimento de la salud humana y de la fauna salvaje. Por lo tanto, en algunos sistemas la gestión de las percepciones humanas es tan importante como la reducción real de la densidad.

Concluimos con un ejemplo que demuestra que el aprovechamiento de los procesos naturales puede mejorar las actividades de control de enfermedades. En concreto, este ejemplo muestra cómo los esfuerzos humanos por controlar las densidades de las poblaciones de hospedadores pueden verse reforzados por la depredación de los mismos. En España, el jabalí (*Sus scrofa*) es un reservorio conocido de la tuberculosis bovina. Además, Asturias, una zona del noroeste de España, tiene una población saludable de lobos (*Canis lupus*), mientras que en las regiones del sur de España no hay lobos. Utilizando datos sobre las diferencias en la prevalencia de la tuberculosis bovina en jabalíes entre estas regiones en combinación con una modelización matemática, se demostró que las zonas con lobos tenían tasas de prevalencia de la tuberculosis bovina más bajas y estables que las regiones que carecen de esta especie depredadora (Tanner et al. 2019). Este ejemplo demuestra cómo el aprovechamiento de las interacciones de las especies dentro de una comunidad puede ayudar en los esfuerzos de control de enfermedades y destaca cómo las especies depredadoras pueden proporcionar servicios ecosistémicos clave que ayudan a proteger el ganado y a alcanzar objetivos antropogénicos.

En conclusión, la reducción de las densidades es, y probablemente continúe siendo, una de las herramientas más utilizadas para el control de enfermedades en los huéspedes de la fauna silvestre. Sin embargo, sostenemos que, en lugar de utilizar esta práctica por defecto para todos los sistemas de enfermedades de la fauna salvaje, debería evaluarse críticamente antes de iniciar las actividades de reducción para determinar la probabilidad de alcanzar con éxito los objetivos basándose en una evaluación de las características del agente, el huésped y el entorno. También es especialmente importante para esta técnica de gestión estudiar y comprender el entorno social en el que se producirán las reducciones. Por último, es necesario evaluar la eficacia de los esfuerzos de reducción de la densidad para determinar mejor cuándo es probable que esta herramienta de gestión sea eficaz y cuándo es probable que fracase, y todos los esfuerzos futuros de control de la enfermedad deberían intentar incluir métricas de éxito.

## Tratamiento e Inmunización de Poblaciones Hospedadoras

Hasta ahora nos hemos centrado en acciones de gestión de enfermedades que han estado dirigidas a procesos demográficos o epidemiológicos a nivel poblacional. A continuación, describiremos medidas de control o prevención dirigidas al individuo con la esperanza de que tengan efectos a nivel de la población sobre los procesos de la enfermedad.

### Tratamiento

Los patógenos en el huésped pueden controlarse mediante tratamientos (por ejemplo, antibióticos y antihelmínticos). Aunque el tratamiento se utiliza comúnmente para los seres humanos y los animales domésticos, la dificultad para administrar los tratamientos limita su utilidad para controlar las enfermedades en los animales salvajes. El tratamiento se ha utilizado con éxito en algunas especies en peligro de extinción cuya población es pequeña y es posible capturar, tratar y liberar a los animales. Por ejemplo, los urogallos rojos (*Lagopus lagopus*) tratados con antihelmínticos para reducir las infecciones por el nematodo *Trichostrongylus tenuis* dieron lugar a mayores tasas de reproducción y a un mayor número de crías (Hudson et al. 1992). Sin embargo, a menudo es necesario administrar un tratamiento continuo, sobre todo si algunos

animales infectados no muestran signos clínicos y sirven de reservorio para nuevas infecciones o para la reinfección de los individuos tratados. El uso continuado y generalizado de productos químicos también puede ejercer una presión selectiva para los patógenos resistentes, como se ha visto en el caso del *Plasmodium falciparum*, el protozoo que causa la malaria (Hyde 2007) y de la *Yersinia pestis*, la bacteria que causa la peste (Gailmand et al. 1997).

Desde un punto de vista práctico, aunque los animales enfermos puedan ser detectados en una fase temprana del curso de la enfermedad, a menudo hay una escasez de suministro eficaz y la probabilidad de éxito del tratamiento puede ser extremadamente baja. La manipulación necesaria y el estrés asociado pueden superar cualquier beneficio terapéutico del tratamiento para la fauna salvaje. También es posible que no exista un tratamiento eficaz conocido para la especie en cuestión. Por ejemplo, son pocos los fármacos etiquetados para su uso en la fauna salvaje, y pueden tener efectos diferentes y desconocidos en las distintas especies. El riesgo de utilizar fármacos variará en función del producto químico y de la afección que se trate, por lo que este problema no puede pasarse por alto. Además, puede haber una falta de personal idóneo o instalaciones adecuadas para el tratamiento, lo que lo hace poco práctico. Una última consideración es que la exposición, la infección y la eventual recuperación de los individuos enfermos crea una categoría de individuos inmunes en la población, lo que puede ser importante para el agotamiento de la epidemia, así como para proteger a la población de una posterior exposición al agente. La interrupción del proceso mediante el tratamiento puede eliminar esta protección de la población, si reduce la respuesta inmune del individuo y el número de animales inmunes en la población.

Si bien el tratamiento es poco común, las situaciones en las que puede ser un enfoque recomendable para el control de la enfermedad incluyen (Wobeser 1994):

- El tratamiento puede realizarse eficazmente para una gran proporción de la población.
- Cuando un individuo es de especial importancia, como cuando se gestionan especies de interés para la conservación.
- El tratamiento se lleva a cabo antes de la captura y traslocación de los animales.
- Se dispone de los recursos adecuados para los programas de tratamiento sin desviarlos de otros programas fundamentales de gestión de enfermedades de la fauna silvestre.
- El tratamiento se utiliza como medio para la formación de personal o el aprovechamiento del interés público y conseguir el apoyo necesario para la gestión de la enfermedad.

Por ejemplo, el tratamiento de los animales en libertad puede ser acertado tras su captura y antes de su liberación en una nueva zona. En esta situación, el objetivo es evitar la propagación de los agentes en las poblaciones que ya habitan una región, o crear poblaciones libres del agente en lugares nuevos y deshabitados. A estos tratamientos les suele seguir un periodo de cuarentena y posterior liberación, si se demuestra que los animales están libres del agente. El hecho de no tener en cuenta el movimiento de patógenos durante el traslado puede tener consecuencias negativas de gran alcance, como demuestran la epidemia de rabia en los mapaches del este de Norteamérica (Nettles et al. 1979), las extinciones masivas de especies de anfibios de zonas tropicales y templadas debidas al hongo quítrido (Cheng et al. 2011) y el precipitado declive del cangrejo de río europeo tras la tras la proliferación de un agente patógeno fúngico introducido con la llegada los cangrejos de río americanos (Alderman 1996). El [3er Ciclo del Manual de Formación sobre la Evaluación del Riesgo Sanitario en Fauna Silvestre en Apoyo de Decisiones](#)

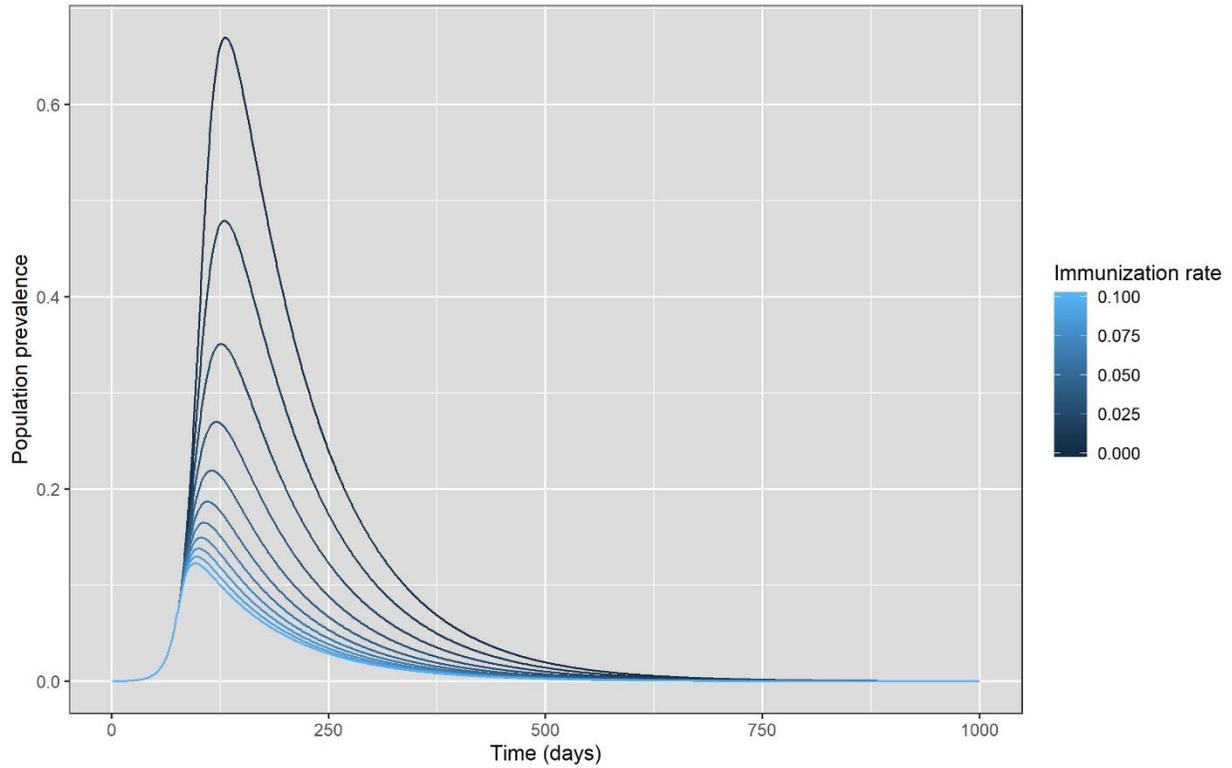
y Políticas proporciona una discusión detallada de las evaluaciones de riesgo y las acciones de gestión para el traslado de fauna silvestre, y es un buen recurso para evaluar el tratamiento como una opción de gestión en estas situaciones. Un punto importante que hay que recordar es que nunca se debe confiar en el tratamiento únicamente para prevenir la propagación de un agente a través del traslado (Wobeser 1994). Puede ser imposible saber con certeza si el tratamiento ha sido 100% efectivo, y como se mencionó anteriormente, por lo general se desconoce la eficacia de los fármacos en la fauna salvaje.

El resultado más valioso del tratamiento de los individuos puede ser su impacto en los seres humanos. El tratamiento de animales salvajes enfermos puede ser una importante oportunidad de aprendizaje para comprender la biología, la ecología y los impactos de la enfermedad en una especie, así como para desarrollar tratamientos eficaces que puedan aplicarse a gran escala. Esta formación puede no estar disponible de otro modo, en detrimento de una mano de obra bien formada en materia de enfermedades de la fauna salvaje (Wobeser 1994). Del mismo modo, la rehabilitación o el tratamiento de animales individuales puede permitir a un organismo aprovechar la preocupación del público por un brote o evento sanitario para promover la conservación y la sanidad de las especies. Por ejemplo, el tratamiento de especies comunes tras un derrame de petróleo puede no tener ningún impacto en la población. Sin embargo, la buena voluntad del público y la educación sobre la ecología del sistema que resultan de este evento podrían tener suficiente valor intrínseco para justificar tales acciones (Wobeser 1994). Por último, el tratamiento de una especie rara puede ser la única opción para protegerla de la extinción. El caso del rinoceronte blanco (*Ceratotherium simum*) ejemplifica esta situación, en la que se han dedicado grandes esfuerzos al tratamiento y cuidado de los individuos, en particular, de los pocos que quedan de la subespecie nortea.

En conclusión, aunque el tratamiento es la norma para el cuidado de los seres humanos y de los animales domésticos, pocas veces es viable para la fauna silvestre o tiene pocas probabilidades de ser impactante. Sin embargo, hay situaciones en las que esta técnica de gestión merece la pena y puede aportar beneficios reales.

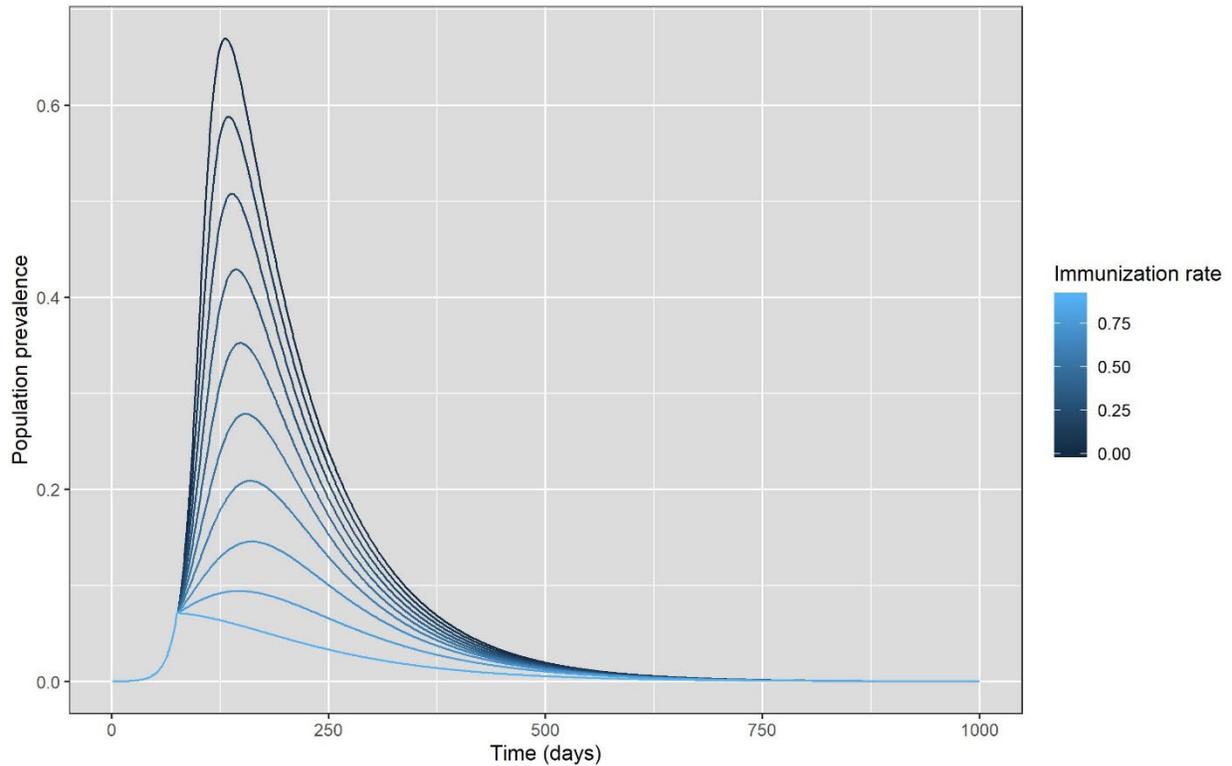
### *Inmunización*

La inmunización puede utilizarse para prevenir la infección o el desarrollo de la enfermedad y es un mecanismo primordial para el control de enfermedades en la medicina moderna de los seres humanos y los animales domésticos. La teoría subyacente que respalda la inmunización es la idea de reducir el  $R_0$  por debajo de 1 para prevenir una epidemia o ayudar a que se extinga reduciendo el número de individuos susceptibles en la población. Este concepto se denomina inmunidad de rebaño y suele ser el objetivo de la mayoría de los programas de inmunización. Para lograr la inmunidad de rebaño, en los modelos de compartimentación simples, normalmente la proporción de individuos que son inmunes, ya sea después de recuperarse de la infección o a través de la inmunización, debe superar  $1 - \frac{1}{R_0}$ , lo que se conoce como el umbral de inmunidad (Fine et al. 2011). Para seguir aprovechando nuestro ejemplo de modelo simple, mostramos los impactos de la vacunación en la prevalencia de la población (Figura 7). En este caso, la inmunización se produce en el compartimento susceptible a un ritmo continuo después del día 75 de un brote. Como se observa en esta figura, la inmunización puede ser una herramienta eficaz para el control de las enfermedades de la fauna salvaje. Además, tiene la ventaja de no afectar al tamaño global de la población, a diferencia de muchas de las herramientas de gestión que se mencionaron anteriormente.



*Figura 7- Impactos de un programa de inmunización continua en la prevalencia de la población.*

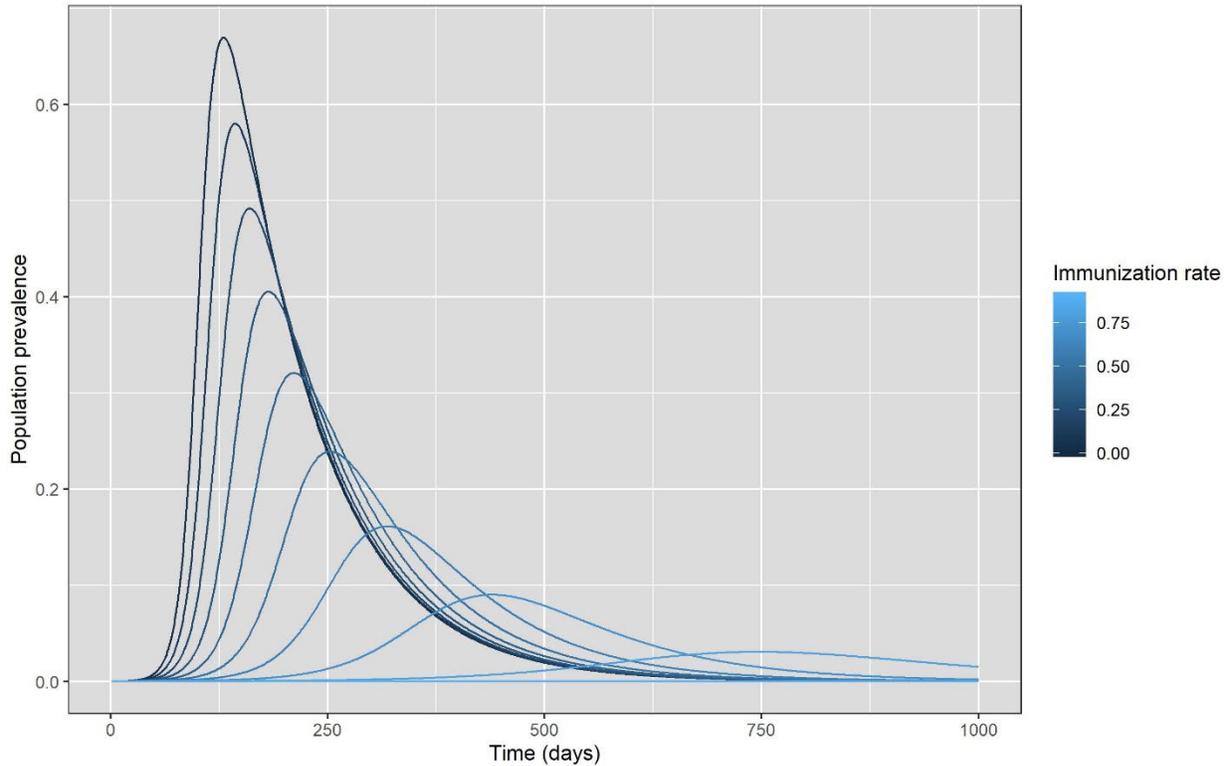
Dependiendo de la especie y/o del método de administración, puede que sea posible inmunizar la población una única vez. La figura 8 muestra los impactos en la prevalencia de la población de un único evento de vacunación en el compartimento susceptible para varios niveles de esfuerzo de inmunización administrados en el día 76.



*Figura 8-Impacto de una única inmunización en la prevalencia de la población.*

Es claro que vacunar una población solo una vez tiene un impacto mucho menor en la tasa de prevalencia de una población en comparación con un programa continuo. Se debe vacunar a una proporción mucho mayor de la población para que se produzcan cambios significativos en la dinámica de la enfermedad en comparación con los de una operación de inmunización continua.

Por último, los esfuerzos de inmunización pueden llevarse a cabo antes de la llegada de la enfermedad (es decir, la vacunación preventiva). La Figura 9 muestra los impactos de este enfoque si se aplica una vez antes de la exposición. Según estos resultados, las campañas de inmunización preventiva reducen la prevalencia máxima y aplanan la curva de prevalencia.



*Figura 9- Impactos de una única vacunación antes de la exposición en la prevalencia en la población.*

Al igual que con todas las opciones de gestión de enfermedades, las estrategias de inmunización tienen algunas consideraciones básicas que deben abordarse para determinar si son apropiadas y para diseñar adecuadamente los esfuerzos de inmunización (Wobeser 1994). La primera es la disponibilidad de una vacuna segura y apropiada para su uso con especies de la fauna salvaje. Una vacuna adecuada debe generar en el huésped una respuesta inmune suficiente para proporcionarle protección contra la infección o la enfermedad y no debe causar la enfermedad en el individuo. Además, lo ideal es que la vacuna sea eficaz en una amplia gama de especies huésped. Es preferible que las vacunas proporcionen protección contra la infección que contra la enfermedad. En este último caso, los animales pueden seguir contribuyendo a la infección de sus congéneres y, por tanto, la vacuna puede ser beneficiosa para el individuo, pero no para la población. Por lo tanto, las vacunas que previenen la infección tienen más probabilidades de cambiar el curso de una epidemia, como se ha demostrado anteriormente utilizando nuestro modelo simple de compartimentación. No obstante, si los individuos son de gran valor (por ejemplo, las especies de interés para la conservación), las vacunas que previenen la enfermedad pueden seguir siendo útiles. Además, las vacunas que confieren una protección de por vida contra todos los serotipos o variedades del agente probablemente sean las más exitosas para controlar la enfermedad. Si no se confiere una protección de por vida, los individuos pueden volver a ser susceptibles al agente y, por tanto, los agentes pueden volver a introducirse en la población. También es conveniente que los animales vacunados sean discernibles de los individuos infectados. Esto es importante para controlar la intensidad de la enfermedad, calcular la tasa de vacunación y prever el impacto de los esfuerzos de control. También es fundamental, si se utiliza la vacunación junto con la eliminación selectiva, para garantizar que se elimine la población correcta de individuos. La vacuna también tiene que ser estable y mantener su inmunogenicidad en las condiciones de campo en las que se administrará. Por último, la vacuna

debe ser segura para las especies no objetivo que puedan estar expuestas a ella directa o indirectamente.

Otra consideración importante es si la vacuna puede administrarse de forma eficiente. Las vacunas que requieren una administración directa y requieren un refuerzo son probablemente menos útiles para la fauna silvestre en comparación con las que pueden administrarse pasivamente en una sola dosis. Por ejemplo, las vacunas que pueden administrarse por vía oral, posiblemente a través de cebos impregnados, serán por lo general más útiles para su aplicación a escala poblacional que aquellas en las que la vacuna requiere una manipulación directa o una inyección, especialmente si la manipulación requiere múltiples instancias de manipulación (es decir, refuerzos). La manipulación de los animales salvajes puede ser peligrosa tanto para el animal como para la persona que manipula el animal, y pueden producirse lesiones o muertes involuntarias. También es importante que, si las vacunas se administran por vía oral, como por ejemplo a través de cebos, el cebo sea del tamaño adecuado para que sea consumido por el huésped inmediatamente en su totalidad para asegurar que el individuo recibe la dosis adecuada. Esto también ayudará a evitar el acaparamiento de cebos por parte del individuo. Las vacunas que pueden transferirse de forma autónoma entre la población son especialmente útiles para la fauna salvaje, ya que se requiere el tratamiento de una pequeña proporción de la población para lograr la inmunidad de rebaño. Esta tecnología se está examinando actualmente para su uso en la prevención del síndrome de la nariz blanca y la rabia en los murciélagos (Bakker et al. 2020). Por último, si la vacuna no confiere una inmunidad perfecta o si la inmunidad disminuye, hay que tenerlo en cuenta a la hora de determinar qué proporción de la población debe ser vacunada. De hecho, el umbral de inmunidad debe inflarse en  $\frac{1}{E}$ , donde E es la eficacia de la vacuna (Fine et al. 2011).

La evaluación de las características del agente también puede ayudar a determinar si la inmunización es una opción de gestión viable. Las enfermedades causadas por virus, bacterias o protozoos (es decir, microparásitos) tienen más probabilidades de ser adecuadas para el desarrollo y la aplicación de vacunas en comparación con las originadas por infecciones de helmintos o artrópodos (es decir, macroparásitos). La razón es que el primer grupo de patógenos suele inducir una inmunidad duradera tras la infección, mientras que los segundos tienden a dar lugar a infecciones persistentes y recurrentes con un nivel de inmunidad correlativo a la carga parasitaria (Wobeser 1994). Por lo tanto, la inmunidad de rebaño será mucho más difícil de conseguir cuando se trate de macroparásitos, ya que los individuos pueden volver a ser susceptibles tras la infección. Además, los agentes que evolucionan lentamente serán más susceptibles de ser controlados mediante la vacunación. Algunos agentes patógenos, como los virus de la gripe, evolucionan rápidamente, lo que les permite sortear las defensas inmunológicas del huésped. El desarrollo de una vacuna para estos agentes puede ser bastante difícil porque probablemente requerirá un perfeccionamiento continuo para que brinden protección (por ejemplo, la vacuna contra la gripe humana). El modo y las heterogeneidades de la transmisión también pueden tener un impacto significativo en la eficacia de los programas de inmunización, la distribución espacial necesaria de los esfuerzos de inmunización, y cuándo y durante cuánto tiempo deberán aplicarse los esfuerzos. Esto significa que, si se utilizan modelos matemáticos para orientar los programas de inmunización, deben incorporar los vaivenes del modo o modos de transmisión para captar adecuadamente la dinámica de la enfermedad y medir con precisión los impactos de la vacunación (Antonovics 2017). Por ejemplo, los patógenos que poseen una alta tasa de propagación requerirán que se vacune a una mayor proporción de la población y la inmunización debe ser rápida para maximizar la eficacia de los esfuerzos de control. La gama de huéspedes del agente es también de especial importancia para la vacunación. Si el patógeno infecta a múltiples hospedadores con diferentes características de vida, puede ser un reto contar

con un programa de inmunización eficaz porque la vacuna debe ser efectiva y aplicable a una variedad de especies. Además, es probable que inmunizar a algunas poblaciones de huéspedes, pero no a otras, no sea eficaz a largo plazo, porque siempre habrá poblaciones reservorio que pueden servir de fuente de infección para todos los huéspedes.

Como siempre, los atributos de la población hospedadora también serán importantes a la hora de planificar los programas de inmunización. La edad media de la infección en los huéspedes determinará el plazo durante el cual la inmunización puede administrarse para ser eficaz. Si la infección se produce en una fase temprana de la vida del huésped, puede que no haya tiempo suficiente para inmunizar a los individuos antes de que se infecten. El ejemplo más extremo de este caso es cuando una enfermedad se transmite verticalmente de la madre a las crías, pero otros patógenos que infectan a las crías poco después de la disminución de los anticuerpos maternos también son igualmente problemáticos de abordar mediante la inmunización. El tamaño y la estructura de contactos de la población huésped también pueden determinar la eficacia de la vacunación. Por ejemplo, las grandes poblaciones hospedadoras que están estructuradas espacialmente (por ejemplo, las especies territoriales) requerirán una cuidadosa consideración sobre la extensión espacial de los esfuerzos de inmunización, y el nivel de vacunación que se necesita en cada sitio local. Asimismo, la tasa de incorporación de individuos susceptibles a la población determinará la proporción de la población que deberá ser inmunizada. Para las especies que tienen altas tasas de reproducción o las poblaciones que experimentan altas tasas de inmigración altas posiblemente se requiera un mayor esfuerzo para alcanzar el umbral de inmunidad debido a la importante afluencia de individuos susceptibles (Wobeser 1994). La depredación también puede ser un importante motor de la dinámica de la enfermedad y puede afectar a la viabilidad de la vacunación. Si la depredación se centra en los individuos susceptibles (por ejemplo, los jóvenes), puede reducir el nivel de vacunación necesario. Sin embargo, si la depredación elimina de forma desproporcionada a los animales vacunados, puede ser un obstáculo para alcanzar los objetivos de inmunización. Por ejemplo, en poblaciones muy cazadas puede haber una selección para la captura de animales más viejos, que pueden ser más propensos a estar vacunados o ser inmunes a la infección anterior.

También existen algunas consideraciones logísticas únicas a la hora de diseñar e implementar un programa de inmunización. Uno de estos factores es la tasa de absorción si la vacuna se administra de forma pasiva. Por ejemplo, si se utilizan cebos orales para la vacunación, es necesario evaluar las tasas de absorción por parte del hospedador en la que se centra la vacunación, así como de las especies no objetivo, para determinar la densidad adecuada de cebos que deben colocarse en el paisaje para garantizar que se inmunice la proporción deseada de la población (Tripp et al. 2014). Asimismo, el tiempo de funcionamiento que requiere el programa de inmunización es fundamental. Es posible que en algunas situaciones en las que existe un riesgo persistente de la exposición se requieran los esfuerzos de inmunización en el futuro previsible. Los recursos y el personal necesarios deben estar disponibles para mantener los esfuerzos de vacunación a largo plazo. También deben establecerse claramente los indicadores y las medidas de éxito, sobre todo si se va a invertir a largo plazo en el programa. Como se mencionó anteriormente, esto significa que debe haber algún medio para distinguir a los individuos vacunados de los que se han recuperado de la infección. La forma en que se implementará el programa de inmunización en el terreno es también una cuestión de diseño importante. A menudo puede haber dificultades para llevar a cabo la vacunación en la extensión del paisaje que se desea debido a la imposibilidad de acceder a las regiones debido a un terreno inhóspito, tierras privadas, urbanización extensa, etc. Estas limitaciones deben abordarse durante la etapa de diseño para garantizar una cobertura espacial adecuada de la vacuna o, como mínimo, una delimitación de las zonas que pueden servir como fuentes de infección debido a una inmunización inadecuada. También es necesario que haya disponibilidad de recursos

económicos para la fabricación de la vacuna y los componentes asociados necesarios para su aplicación (por ejemplo, los cebos) para permitir que el programa de inmunización se implemente a la escala necesaria. Esto no es una consideración trivial porque si la vacuna es específica para un huésped de la fauna silvestre puede no existir una fuente de material fácilmente disponible, lo que significa entonces que los materiales deben ser fabricados por la agencia. Esto puede ser una tarea difícil y que requiere muchos recursos. Por último, es probable que, dependiendo del país, haya que superar numerosos obstáculos administrativos antes de utilizar una vacuna contra la fauna salvaje sobre el terreno. Esto incluye demostrar la seguridad de la vacuna para las especies no objetivo. ¡A menudo pueden pasar años hasta que una vacuna sea aprobada para su uso a gran escala en el campo!

Desde el punto de vista social, los programas de inmunización suelen tener mayor aceptación que los mencionados anteriormente. Esto se debe probablemente a la familiaridad del público y a la aceptación general de la vacunación para promover la salud humana y de los animales domésticos, y a la ausencia de eliminación de individuos animales que implica esta opción de gestión. Sin embargo, también requieren algunas consideraciones únicas. Por ejemplo, si se van a distribuir cebos para la vacunación oral, es importante informar al público de la región para que esté informado y evitar que los retiren o los ingieran, especialmente los niños o las mascotas. Además, es fundamental educar al público sobre la seguridad de la vacuna para las especies en las que se hace foco, pero también para las especies no objetivo, como las mascotas de compañía. El público también puede ser valioso a la hora de implementar la vacunación. Por ejemplo, los cazadores y los clubes de caza pueden distribuir cebos orales o ayudar en los esfuerzos de captura de animales. Por último, al igual que con las demás opciones de gestión descritas, es esencial desarrollar y ejecutar un buen plan de comunicación que mantenga al público y a los responsables de la toma de decisiones al tanto de los objetivos y resultados del programa, especialmente en el caso de los programas de vacunación a largo plazo.

Existen algunos ejemplos de programas de vacunación a gran escala para el control de enfermedades de la fauna salvaje. Uno de ellos es el programa de vacunación contra la peste selvática en el oeste de Estados Unidos. La peste selvática está causada por la bacteria *Yersinia pestis*, y puede tener impactos significativos y causar extirpaciones locales de colonias de perritos de la pradera (*Cynomys spp.*). Los perritos de las praderas son una especie fundamental en los ecosistemas de praderas y son la presa principal del hurón de patas negras (*Mustela nigripes*), una especie en peligro de extinción catalogada por el gobierno federal. La peste amenaza a la población de hurones tanto por su mortalidad directa como por la indirecta, al reducirse considerablemente su base de presas. Recientemente se desarrolló y probó una vacuna oral en 29 lugares del oeste de Estados Unidos (Rocke et al. 2017). La vacuna es un poxvirus recombinante de mapache diseñado para expresar dos antígenos protectores de *Y. pestis*, el F1 y una proteína V truncada (Rocke et al. 2014). La vacuna se administró a través de un cebo oral que contenía mantequilla de maní como atrayente y 0,25% de Rodamina B, un biomarcador que es visible en el pelo, los bigotes y las heces de los animales en las 24 horas siguientes a su consumo. El marcador se utilizó para determinar si un individuo había consumido el cebo y recibido la vacuna. Cabe señalar que, antes de su aplicación a gran escala, la vacuna fue sometida a extensas pruebas de seguridad y eficacia antes de recibir finalmente la autorización del USDA para su uso experimental en el campo. Utilizando la información de las pruebas anteriores (Tripp et al. 2014), los cebos se distribuyeron en los sitios a una tasa de 100/ha. En cada lugar, había parcelas de tratamiento y de control emparejadas. Las parcelas de control sólo recibieron cebos de placebo, mientras que las de tratamiento fueron tratadas con cebos que contenían la vacuna. Se atrapó a los individuos y se utilizó un diseño de marca-recaptura para evaluar la supervivencia. Este enfoque experimental se realizó para evaluar la eficacia de la vacuna. Los resultados de este programa de inmunización demostraron que los

índices de abundancia eran más altos en los sitios que fueron vacunados, y en los sitios donde se produjo la peste durante el estudio la supervivencia aparente fue menor en los sitios que recibieron los cebos con placebo (Rocke et al. 2017). Estos resultados indicaron la eficacia de la vacuna para proporcionar al menos una protección parcial a los perros de la pradera contra la peste. También proporcionaron el impulso para comenzar la aplicación a gran escala de la vacunación en todo el hábitat del hurón de patas negras en 2019 con la distribución de 1 millón de cebos en aproximadamente 8.000 hectáreas. Para facilitar este programa de inmunización, se contrató a una empresa privada para producir grandes cantidades de cebos. Además, se realizaron avances tecnológicos para distribuir eficazmente los cebos, que antes se hacían a mano. Entre ellos, el desarrollo de dispositivos dispensadores que funcionan con drones y vehículos todoterreno. Este programa de vacunación es un buen ejemplo de muchas de las consideraciones que hemos descrito y de la superación de muchos de los retos que plantea el desarrollo de programas de vacunación de la fauna salvaje.

Otro ejemplo de un programa de vacunación de la fauna salvaje que ha tenido éxito es el uso de la vacunación oral para controlar la rabia en la fauna salvaje. La rabia es una enfermedad zoonótica muy extendida causada por virus de ARN del género *Lyssavirus*, familia *Rhabdoviridae*. Esta enfermedad se distribuye ampliamente en la mayoría de los continentes y suele encontrarse en especies mesocarnívoras que pueden servir de fuente de infección para los animales domésticos y los seres humanos. Los esfuerzos de vacunación contra la rabia tienen una larga historia que se remonta a la década de 1970. La vacuna actual que se utiliza es una vacuna con vector recombinante atenuada del virus de la vaccinia, y actualmente hay dos cebos de vacunas orales producidos comercialmente y recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Maki et al. 2017). Hablaremos de la vacuna RABORAL V-RG®, pero esto no constituye un respaldo a este producto. Más bien fue el producto del que se disponía de información detallada y que se utiliza ampliamente (es decir, se han distribuido más de 250 millones de cebos en todo el mundo). Se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar la seguridad, estabilidad y eficacia de esta vacuna (Maki et al. 2017). La vacuna se administra a través de cebos orales, y los cebos están compuestos por una harina de pescado y/o aceite de pescado. Los cebos se distribuyen en el paisaje por vía aérea, usando un sistema de cebo manual o en estaciones de cebo, dependiendo de la especie y del país. El cebo incluye un marcador de tetraciclina que permite detectar a los individuos que han consumido los cebos. Las campañas de vacunación oral a gran escala han tenido éxito en el control de la rabia en todo el mundo. Por ejemplo, se utilizó con éxito en Francia, Bélgica y Luxemburgo para eliminar la rabia en el zorro rojo (*Vulpes vulpes*). También se utilizó en Ucrania para combatir la rabia del zorro y en Israel para controlar la rabia del zorro rojo y de los chacales dorados (*Canis aureus*). En Norteamérica, se han llevado a cabo amplios programas de vacunación oral a largo plazo para controlar y limitar con éxito la propagación de la rabia en mapaches (*Procyon lotor*), zorrillos (*Meles mephitis*), coyotes (*Canis latrans*), zorro rojo y zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*; Maki et al. 2017). No hay duda de que los programas de vacunación contra la rabia en la fauna silvestre tienen éxito. Para alcanzar este éxito, se requirió un gran esfuerzo y recursos no sólo durante el desarrollo de la vacuna, sino también durante el despliegue en el terreno, donde la optimización de la captación para diversas especies ha sido objeto de un amplio estudio. Por lo tanto, está claro que la inmunización puede ser una herramienta valiosa para la gestión de las enfermedades de la fauna salvaje cuando se cuenta con los recursos y la voluntad social para hacerlo, y las campañas de vacunación oral contra la rabia en todo el mundo siguen siendo probablemente uno de los mejores ejemplos de control de las enfermedades de la fauna salvaje mediante programas de inmunización.

En conclusión, los programas de inmunización pueden ser herramientas poderosas y eficaces para controlar las enfermedades en las especies silvestres. Por lo general, cuentan con el apoyo

del público y no requieren la eliminación de individuos. Sin embargo, su uso en la fauna salvaje puede plantear un desafío debido a la necesidad de desarrollar a menudo vacunas personalizadas que sean seguras y estables, la carga normativa asociada a ellas, la necesidad de desarrollar un método de administración eficiente, el tiempo generalmente prolongado que transcurre antes de que estén disponibles para su uso en el campo, y la necesidad de mantener a menudo compromisos a largo plazo para su aplicación en una población. De esta manera, si bien los programas de inmunización tienen un gran potencial, no siempre son la solución correcta para todos los problemas relacionados a las enfermedades de la fauna salvaje.

## Combinando Herramientas

Hemos descrito una serie de herramientas que pueden ser útiles para gestionar las enfermedades de la fauna salvaje. También hemos tratado de detallar, aunque sólo algunas, las consideraciones importantes asociadas a la implementación de cada técnica. A menudo, estas herramientas pueden utilizarse de forma conjunta para gestionar de forma más eficaz la enfermedad de la fauna salvaje en cuestión. Por ejemplo, los programas de sacrificio selectivo y de vacunación pueden ser más eficaces cuando se implementan en simultáneo que cuando se utilizan de forma aislada. Por lo tanto, cuando se intenta gestionar una enfermedad de la fauna silvestre, es valioso no sólo evaluar el conjunto de acciones potenciales, sino también examinar si alguna puede aplicarse de forma sinérgica para lograr mejores resultados.

Un excelente ejemplo reciente de uso de múltiples herramientas para la gestión de enfermedades de la fauna silvestre son las medidas de gestión adoptadas para controlar la caquexia crónica en Noruega. En 2016, se detectó la caquexia crónica en renos salvajes (*Rangifer tarandus*) y alces (*Alces alces*) en Noruega. La infección en renos fue especialmente preocupante porque Noruega gestiona el último remanente de renos salvajes de la tundra en Europa (Benestad et al. 2016). En respuesta a ello, los organismos gestores adoptaron un enfoque agresivo para abordar este problema. En un intento de erradicar la caquexia crónica en Noruega, las autoridades competentes, mediante la caza y el sacrificio por parte de la agencia, eliminaron toda la manada de renos salvajes en la región afectada cerca de Nordfjella, donde se detectó el primer caso de caquexia crónica. Esto consistió en la eliminación de aproximadamente 2.000 animales, de los cuales 19 dieron positivo en la prueba de la caquexia crónica. Ahora se pretende dejar la zona en barbecho durante un mínimo de 5 años antes de reintroducir los renos. Durante este periodo, los esfuerzos estarán dirigidos a minimizar el uso de la zona afectada por las poblaciones de otras especies de ungulados mediante programas de sacrificio. Además, se vallaron cerca de 660 salinas, que se creía que suponían un riesgo de transmisión de priones, para evitar su uso por parte de los ungulados salvajes y permitir al mismo tiempo el acceso de las ovejas domésticas. El gobierno también construyó más de 24 km de vallas para restringir el acceso de ungulados salvajes y semi domésticos a la región afectada. Por último, el gobierno mantiene un amplio programa de vigilancia específica de la caquexia crónica en todo el país para controlar la enfermedad y medir el éxito de los esfuerzos de control (VKM 2017).

El ejemplo anterior demuestra el uso de múltiples herramientas y métodos para intentar erradicar una enfermedad de la fauna salvaje. El sacrificio, la caza, la reducción de la densidad, el vallado y los amplios esfuerzos de comunicación han sido componentes importantes de los esfuerzos de respuesta a la caquexia crónica en Noruega. Aunque todavía es incierto si este estilo de gestión agresivo tendrá éxito en la erradicación de la enfermedad, hay mucho que aprender de los éxitos y fracasos de este esfuerzo.

Tabla 4. Ejemplo de evaluación de la implementación de dos herramientas de gestión para manipular la distribución de huéspedes.

ASSESSMENT OF MANAGEMENT ACTION				
KEY				
	management action is suited			
	management action unaffected or equivocal			
	represents challenge for management action			
			Distribution Alteration	
Compartment	Characteristics	Result	Dispersal	Fencing
<i>Agent</i>	Endemic	Yes		
		No		
	Novel to the system	Yes		
		No		
	Localized	Yes		
		No		
	Emergence mediated by environment	Yes		
		No		
	Vector-transmitted	Yes		
		No		
	Directly transmitted	Yes		
		No		
	Indirectly transmitted	Yes		
		No		
	Human-assisted transmission/spread	Yes		
		No		
	Affects multiple hosts	Yes		
		No		
	Rate of transmission	High		
		Low		
Seasonal effects	Yes			
	No			
<i>Host</i>	Large population	Yes		
		No		
	Migratory	Yes		
		No		
	Mobile	Yes		
		No		
	Easily hazed	Yes		
		No		
	Interspecific interactions	Yes		
		No		
	Herd animal or lives in large groups	Yes		
		No		
	Behavioral challenges for fences	Yes		
		No		
	Small in size	Yes		
		No		
	Potential interactions with domestic animals	Yes		
		No		
	Complex social structure	Yes		
		No		
Conservation concern	Yes			
	No			

Tabla 4. Continuación

<i>Environment</i>	Management will impact non-target species	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Habitat alteration necessary	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Available habitat outside affected area	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Environment serves as point source or reservoir	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Accessible for management	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Long-term impacts on structure	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
<i>Logistics</i>	Resources available for long-term application/maintenance	Yes	👎	👍
		No	👎	👎
	Human infrastructure in the region	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Needs to be implemented rapidly	Yes	👍	👎
		No	👎	👍
	Other control tools available	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Necessary expertise available	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
<i>Social</i>	Public is aware of management actions	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Public is resistant to management	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Communications plans can be developed	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Political support exists	Yes	👍	👍
		No	👎	👎
	Livestock interests in management	Yes	👎	👍
		No	👍	👍
	Human health concerns	Yes	👎	👎
		No	👍	👍
	Special interest groups that need to be engaged	Yes	👎	👎
		No	👍	👍

# REFERENCIAS

1. Alderman, D.J. 1996. Dispersión geográfica de las enfermedades bacterianas y fúngicas de los crustáceos. *Revista científica y técnica* 15:603-632. <https://doc.oie.int/dyn/portal/index.xhtml>
2. Amman, B.R., L. Nyakarahuka, A.K. McElroy, K.A. Dodd, T.K. Sealy, A.J. Schuh, T.R. Shoemaker, S. Balinandi, P. Atimnedi, W. Kaboyo, S.T. Nichol, and J.S. Towner. 2014. Resurgimiento del virus de Marburgo en la población de murciélagos de la mina de Kitaka tras los intentos de exterminio, Uganda. *Enfermedades infecciosas emergentes* 20:1761-1764. <https://doi.org/10.3201/eid2010.140696>.
3. Antonovics, J. 2017. Dinámica de la transmisión: cuestiones críticas y desafíos. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 372:20160087. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0087>.
4. Barnes, A.M. 1982. Vigilancia y control de la peste bubónica en Estados Unidos. Páginas 237-270 *in* Edwards, M.A. and U. McDonnell (eds). *Las enfermedades animales en relación con la conservación de los animales*. Academic Press, London.
5. Bakker K.M, T.E. Rocke, J.E. Osorio, R.C. Abbott, C. Tello, J.E. Carrera, W. Valderrama, C. Shiva, N. Falcon, and D.G. Streicker. 2019. Los biomarcadores fluorescentes demuestran las perspectivas de las vacunas propagables para controlar la transmisión de enfermedades en los murciélagos silvestres. *Nature Ecology & Evolution* 3:1697-1704. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1032-x>.
6. Bechert, U. 2012. Técnicas no invasivas para evaluar la sanidad y la ecología de las poblaciones silvestres. Páginas 60-70 *in* Miller, R.E. and M.E. Fowler, M.E. (eds.). *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine: Current Therapy*. Elsevier Saunders, St. Louis, MO.
7. Benestad, S.L., G. Mitchell, M. Simmons, B. Ytrehus, and T. Vikøren. 2016. Primer caso de caquexia crónica en Europa en un reno noruego criado en libertad. *Veterinary Research* 47:88. <https://doi.org/10.1186/s13567-016-0375-4>.
8. Bienen, L. and G. Tabor. 2006. Aplicación de un enfoque ecosistémico al control de la brucelosis: ¿puede gestionarse con éxito un antiguo conflicto entre la fauna salvaje y la agricultura? *Fronteras de la Ecología y el Medio Ambiente* 4:319-327. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)4\[319:AAEATB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)4[319:AAEATB]2.0.CO;2).
9. Blanchong J.A., S.J. Robinson, M.D. Samuel, and J.T. Foster. 2016. Aplicación de la genética y la genómica a la epidemiología de la fauna salvaje. *Revista de gestión de la fauna salvaje* 80:593-608. <https://doi.org/10.1002/jwmg.1064>.
10. Bode, M. and B. Wintle. 2010. Cómo construir una valla de conservación eficaz. *Biología de la conservación* 24:182-188. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01291.x>.
11. Campbell, T.W. 1996. Patología Clínica. Páginas 248-257 *in* Mader, D.R. (ed.). *Reptile Medicine and Surgery*. W.B. Sanders Company, Philadelphia, PA.

12. Cheng, T.L., S.M. Rovito, D.B. Wake, and V.T. Vredenburg. 2011. Coincidencia de la extirpación masiva de anfibios neotropicales con la aparición del hongo patógeno infeccioso *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias* 108:9502-9507. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105538108>.
13. Cotterill, C.G, P.C. Cross, E.K. Cole, R.K. Fuda, J.D. Rogerson, B.M. Scurlock, and J.T. du Toit. 2018. Alimentación invernal de los alces en el Gran Ecosistema de Yellowstone y sus efectos en la dinámica de las enfermedades. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 373:20170093. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0093>.
14. Dowdle, W.R. 1998. Los principios de la eliminación y erradicación de enfermedades. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud* 76:22-25.
15. Fine, P., K. Eames, and D.L. Heymann. 2011. "Inmunidad del rebaño: una guía aproximada. *Enfermedades Infecciosas Clínicas* 52:911-916. <https://doi.org/10.1093/cid/cir007>.
16. Friend, M. and J.C. Franson. 1999a. Capítulo 4: Operaciones de control de enfermedades. Páginas 19-48 *in* Friend, M. and J.C. Franson (eds.). *Manual de campo de las enfermedades de la fauna silvestre*. División de Recursos Biológicos. Informe de información y tecnología 1999-001. [https://pubs.usgs.gov/itr/1999/field\\_manual\\_of\\_wildlife\\_diseases.pdf](https://pubs.usgs.gov/itr/1999/field_manual_of_wildlife_diseases.pdf).
17. Friend, M. y J.C. Franson. 1999b. Capítulo 38: Botulismo aviar. Páginas 271-282 *in* Friend, M. y J.C. Franson (eds.). *Manual de campo de las enfermedades de la fauna silvestre*. División de Recursos Biológicos. Informe de información y tecnología 1999-001. [https://pubs.usgs.gov/itr/1999/field\\_manual\\_of\\_wildlife\\_diseases.pdf](https://pubs.usgs.gov/itr/1999/field_manual_of_wildlife_diseases.pdf).
18. Galimand, M, A. Guiyoule, G. Gerbaud, B. Rasoamanana, S. Chanteau, E. Carniel, and P. Courvalin. 1997. Resistencia a múltiples fármacos en *Yersinia pestis* mediada por un plásmido transferible. *Revista de Medicina de Nueva Inglaterra* 337:677-681. <https://doi.org/10.1056/NEJM199709043371004>.
19. Garwood, T., C.P. Lehman, D.P Walsh, E.F. Cassirer, T.E. Besser, y J.A. Jenks. 2020. La eliminación de ovejas portadoras crónicas de *Mycoplasma ovipneumoniae* elimina la neumonía en una población de borregos cimarrones. *Ecología y evolución* 00:1-12. <https://doi.org/10.1002/ece3.6146>.
20. Gire, S.K., A. Goba, K.G. Andersen, R.S. Sealfon, D.J. Park, L. Kanneh, S. Jalloh, M. Momoh, M. Fullah, G. Dudas, et al. 2014. La vigilancia genómica dilucida el origen y la transmisión del virus del Ébola durante el brote de 2014. *Science* 345:1369-1372. <https://doi.org/10.1126/science.1259657>.
21. Hudson, P.J., D. Newborn, y A.P. Dobson. 1992. Regulación y estabilidad de un sistema huésped-parásito de vida libre: *Trichostrongylus tenuis* en el urogallo. I. Experimentos de seguimiento y reducción de parásitos. *Revista de Ecología Animal* 61:477-486. <https://doi.org/10.2307/5338>.
22. Hyde, J. 2007. Malaria resistente a los medicamentos: una mirada a la misma. *FEBS Journal* 274:4688-4698. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2007.05999.x>.

23. Koneman, E.W., S.D. Allen, W.M. Janda, P.C. Schreckenberger, y W.C. Winn, Jr. (eds.). 1997. Atlas en color y libro de texto de microbiología diagnóstica (5° edición). Lipincott Williams & Wilkins, Hagerstown, MD.
24. Lachish, S., H. McCallum, D. Mann, C.E. Pukk, y M.E. Jones. 2010. Evaluación del sacrificio selectivo de individuos infectados para controlar la enfermedad del tumor facial del demonio de Tasmania. *Biología de la conservación* 24:841-851. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01429.x>.
25. Lam, T.T. y O.G. Pybus. 2018. Vigilancia genómica de los virus de la gripe A de origen aviar causantes de enfermedades humanas. *Medicina del Genoma* 10:50. <https://doi.org/10.1186/s13073-018-0560-3>.
26. le Roex, N., D. Cooper, P.D. van Helden, E.G. Hoal, and A.E. Jolles. 2016. Control de enfermedades en la fauna salvaje: evaluación de un programa de prueba y sacrificio de la tuberculosis bovina en búfalos africanos. *Enfermedades transfronterizas y emergentes* 63:647-657. <https://doi.org/10.1111/tbed.12329>.
27. Leendertz, F.H., G. Pauli, K. Maetz-Rensing, W. Boardman, C. Nunn, H. Ellerbrok, S.A. Jensen, S. Junglen, y C. Boesch, C. 2006. Los patógenos como impulsores del declive de las poblaciones: la importancia del seguimiento sistemático en los grandes simios y otros mamíferos amenazados. *Conservación biológica* 131:325-337. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.05.002>.
28. Maki, J., A. Guiot, M. Aubert, B. Brochier, F. Cliquet, C.A. Hanlon, R. King, E.H. Oertli, C.E. Rupprecht, C. Schumacher, D. Slate, B. Yakobson, A. Wohlens, y E.W. Lankau. 2017. Vacunación oral de la fauna silvestre con una vacuna de virus recombinante de vaccinia y rabia (RABORAL V-RG®): una revisión global. *Investigación veterinaria* 48:57. <https://doi.org/10.1186/s13567-017-0459-9>.
29. Manjerovic, M.B., M.L. Green, N. Mateus-Pinilla, y J. Novakofski. 2014. La importancia del sacrificio localizado para estabilizar la prevalencia de la caquexia crónica en las poblaciones de ciervos de cola blanca. *Medicina veterinaria preventiva* 113:139-145. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.09.011>.
30. McDonald R.A, R.J. Delahay, S.P. Carter, G.C. Smith, y C.L. Cheeseman. 2008. Implicaciones perturbadoras de la ecología de la fauna silvestre para el control de enfermedades. *Tendencias en Ecología y Evolución* 23:53-56. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.10.011>.
31. Mysterud, A. y C.M. Rolandsen. 2019. Cercado para el control de enfermedades de la fauna silvestre. *Revista de Ecología Aplicada* 56:519-525. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13301>.
32. Nettles, V.G., J.H. Shaddock, R.K. Sikes, y C.R. Reyes. 1979. Rabia en mapaches trasladados. *Revista Americana de Salud Pública* 69:601-602. <https://dx.doi.org/10.2105%2Fajph.69.6.601>.
33. Nicholson, J. y J. Lindon. 2008. Metabonomía. *Nature* 455:1054-1056. <https://doi.org/10.1038/4551054a>.

34. Plowright, R.K., K.R. Manlove, T.E. Besser, D.J. Páez, K.R. Andrews, P.E. Matthews, L.P. Waits, P.J. Hudson, y E.F. Cassirer. 2017. El período infeccioso específico de la edad determina la dinámica de la neumonía en el borrego cimarrón. *Ecology Letters* 20:1325-1336. <https://doi.org/10.1111/ele.12829>.
35. Prentice, J.C., N.J. Fox, M.R. Hutchings, P.C.L. White, R.S. Davidson, y G. Marion. 2019. Cuándo sacrificar un animal: factores que afectan al éxito del sacrificio de animales salvajes para el control de enfermedades. *Revista de la Royal Society Interface* 16: 2018090. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0901>.
36. Rocke T.E., B. Kingstad-Bakke, W. Berlier, y J.E. Osorio. 2014. Una vacuna recombinante contra el poxvirus del mapache que expresa los antígenos F1 y V truncado de *Yersinia pestis* protege a los animales contra la peste letal. *Vacunas* 2:772-784. <https://doi.org/10.3390/vaccines2040772>.
37. Rocke, T.E., D.W. Tripp, R.E. Russell, R.C. Abbott, K.L.D. Richgels, M.R. Matchett, D.E. Biggins, R. Griebel, G. Schroeder, S.M. Grassel, et al. 2017. La vacuna contra la peste sylvatica protege parcialmente a los perros de la pradera (*Cynomys* spp.) en ensayos de campo. *EcoHealth* 14:438-450. <https://doi.org/10.1007/s10393-017-1253-x>.
38. Rust, M.K. 2016. Resistencia a los insecticidas en las pulgas. *Insectos* 7:10. <https://doi.org/10.3390/insects7010010>.
39. Streicker D.G., S. Recuenco, W. Valderrama, J. Gomez Benavides, I. Vargas, V. Pacheco, R.E. Condori, J. Montgomery, C.E. Rupprecht, P. Rohani, y S. Altizer. 2012. Factores ecológicos y antropogénicos de la exposición a la rabia en los murciélagos vampiros: implicaciones para la transmisión y el control. 2012. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 279:3384-3392. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0538>.
40. Tanner, E., A. White, P. Acevedo, A. Balseiro, J. Marcos, y C. Gortázar. 2019. Los lobos contribuyen al control de enfermedades en un sistema de múltiples huéspedes. *Informes científicos* 9:7940 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44148-9>.
41. Thomson, G.R., M.L. Penrith, M.W. Atkinson, S.J. Atkinson, D. Cassidy, y S.A. Osofsky. 2013. Equilibrio entre la producción ganadera y la conservación de la fauna silvestre en las zonas de conservación transfronterizas del sur de África y sus alrededores. *Enfermedades emergentes transfronterizas* 60:492-506. <https://doi.org/10.1111/tbed.12175>.
42. Tripp D.W., T.E. Rocke, S.P. Streich, N.L. Brown, y J. Ramos. 2014. La estación y las tasas de aplicación afectan al consumo de cebos vacunales por parte de los perros de las praderas. *Revista de enfermedades de la fauna salvaje* 50:224-34. <https://doi.org/10.7589/2013-04-100>.
43. Tuyttens F.A.M., D.W. Macdonald., L.M. Rogers, C.L. Cheeseman, y A.W. Roddam. 2000. Estudio comparativo sobre las consecuencias del sacrificio de tejones (*Meles meles*) en la biometría, la dinámica de la población y el movimiento. *Revista de Ecología Animal* 69:567-580. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2000.00419.x>.

44. Vantassel, S.M. y M.A. King. 2018. Eliminación de cadáveres de animales salvajes. Wildlife Damage Management Technical Series. USDA, APHIS, WS National Wildlife Research Center Fort Collins, Colorado. <http://digitalcommons.unl.edu/nwrcwdmts/19>.
45. VKM, Comité Científico Noruego para la Seguridad Alimentaria. 2017. Informe del Comité Científico Noruego para la Seguridad Alimentaria. (VKM) 2017:9.
46. Waits, L.P. y D. Paetkau. 2005. Herramientas de muestreo genético no invasivo para los biólogos de la fauna salvaje: una revisión de las aplicaciones y recomendaciones para la recogida de datos precisos. *Journal of Wildlife Management* 69:1419-1433. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)69\[1419:NGSTFW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)69[1419:NGSTFW]2.0.CO;2).
47. White, C.L., H.S. Ip, C.U. Meteyer, D.P. Walsh, J.S. Hall, M. Carstensen, y P.C. Wolf. 2015. Patrones espaciales y temporales de los brotes de paramixovirus-1 aviar en el cormorán de doble cresta (*Phalacrocorax auritus*) en Estados Unidos. *Revista de enfermedades de la fauna salvaje* 51:101-112. <https://doi.org/10.7589/2014-05-132>.
48. Wobeser, G.A. 1994. Investigación y gestión de enfermedades en animales salvajes. Plenum Press, New York, NY.
49. Wobeser, G. 2004. Estrategias de gestión de enfermedades para la fauna silvestre. *Revista científica y técnica* 21:159-178. <https://doi.org/10.20506/rst.21.1.1326>.
50. Woods G.M., S. Fox, A.S. Flies, C.D. Tovar, M. Jones, R. Hamede, D. Pemberton, A.B. Lyons, S.S. Bettiol. 2018. Dos décadas de impacto de la enfermedad del tumor facial del demonio de Tasmania. *Biología Integrativa y Comparativa* 58:1043-1054. <https://doi.org/10.1093/icb/icy118>
51. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2008. *Ántrax en Humanos y Animales* (4ª edición). Organización Mundial de la Salud, Ginebra. ISBN 9789241547536. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK310486/>.

