

Artículo Original

Proyecto para la valoración del riesgo en la salud de la transmisión de patógenos por garrapatas en ecosistemas de montaña a través de la elaboración de un mapa de riesgo de zoonosis

Aurelio F. Malo ^{1*}, Giovanni Forcina², Esther Llorente ³, Consuelo Giménez Pardo ⁴, Ignacio Morales-Castilla ⁵, Miguel-Ángel Rodríguez ⁶, Antonio Gómez-Sal ⁷, Lourdes Lledó ⁸

¹ Universidad de Alcalá, Grupo de Investigación GloCEE *Global Change Ecology and Evolution Research Group*, Departamento de Ciencias de la Vida, Alcalá de Henares (Madrid), España; aurelio.malo@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-0846-2096>; giovanni.forcina@uah.es; <https://orcid.org/0000-0001-5727-7770>; estherm.llorente@uah.es; <https://orcid.org/0000-0003-3638-6032>; consuelo.gimenez@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-8206-1952>; ignacio.moralesc@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-8570-9312>; miguela.rodriguez@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-4082-2995>; antonio.gomez@uah.es; <https://orcid.org/0000-0003-1925-4580>; lourdes.lledo@uah.es; <https://orcid.org/0000-0001-5387-6792>

* Autor correspondencia: aurelio.malo@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-0846-2096>; Tel.: +34 646 73 04 54

DOI: <https://doi.org/10.37536/RIECS.2025.10.1.463>

Resumen: Los espacios protegidos de montaña son áreas en las que el turismo es un importante recurso económico, su gestión integra prácticas ganaderas extensivas que coexisten con la fauna salvaje. Esta relación entre ganado, fauna salvaje y personas puede provocar problemas sanitarios relacionados con zoonosis pudiendo afectar a la salud pública, la biodiversidad y la economía. Múltiples zoonosis son transmitidas por ectoparásitos como garrapatas que actúan como reservorio y vector de enfermedades infecciosas siendo los principales hospedadores pequeños mamíferos, ungulados silvestres y ganado. El propósito de este proyecto es plantear la creación de modelos de abundancia de vectores y patógenos teniendo en cuenta la importancia del agua como determinante del uso del espacio. Se están realizando muestreos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama y el Parque Natural de las Sierras de Cazorla Segura y las Villas; midiendo: la densidad de garrapatas/m² en diferentes hábitats y distancias al agua; la densidad de ungulados salvajes y domésticos utilizando cámaras trampa, censos visuales en el crepúsculo y entrevistas a ganaderos y personal del parque; la densidad de pequeños mamíferos mediante métodos de captura y recaptura. Las muestras recogidas se analizarán en laboratorio preparando bibliotecas genómicas y análisis matriciales, que permitirán construir redes probabilísticas a partir de las cuales realizar mapas de riesgos que podrían servir de base para la gestión, mitigando y previniendo la transmisión de enfermedades, protegiendo la economía y la salud de la población.

Palabras Clave: Zoonosis, Patógenos, Ectoparásitos, Riesgos para la Salud, Espacios Protegidos, Turismo.

Abstract: Protected mountain areas are areas where tourism is an important economic resource, and their management integrates extensive livestock farming practices that coexist with wildlife. This relationship between livestock, wildlife and people can cause health problems related to zoonoses that can affect public health, biodiversity and the economy. Zoonoses are transmitted by ectoparasites such as ticks that act as a reservoir and vector of infectious diseases, the main hosts being small mammals, wild ungulates and livestock. The purpose of this project is to propose the creation of vector and pathogen abundance models taking into account the importance of water as a determinant of the use of space. Sampling is being carried out in the Ordesa y Monte Perdido National Park, the Sierra de Guadarrama National Park and the Sierras de Cazorla Segura y las

Villas Natural Park; measuring: the density of ticks/m² in different habitats and distances to water; the density of wild and domestic ungulates using camera traps, visual censuses at dusk and interviews with livestock farmers and park staff; the density of small mammals using capture and recapture methods. The samples collected will be analysed in the laboratory by preparing genomic libraries and matrix analyses, which will allow the construction of probabilistic networks from which to make risk maps that could serve as a basis for management, mitigating and preventing disease transmission, protecting the economy and the health of the population.

Key words: Zoonoses, Pathogens, Ectoparasites, Health Risks, Protected Areas; Tourism.

1. Introducción

Además de su papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, los ecosistemas y sus servicios, así como en el fomento de la educación ambiental y el desarrollo de estudios científicos, los espacios protegidos de montaña son clave para el ocio en las sociedades modernas [1,2]. El senderismo, la observación de fauna y flora, la caza y la pesca representan actividades de ocio típicas de los espacios naturales que atraen a un gran número de visitantes, y este turismo representa un importante recurso económico para las regiones rurales de España [3-5]. Por un lado, la gestión de los espacios protegidos integra a menudo prácticas ganaderas extensivas que se han llevado a cabo en sus ecosistemas desde tiempos ancestrales y representan uno de sus componentes clave [6,7]. El uso ganadero en áreas naturales de montaña puede tener funciones de conservación de la naturaleza (mantenimiento de pastizales, control del exceso de combustible) y representar un recurso esencial para el desarrollo sostenible de las comunidades locales [8]. Por otro lado, la coexistencia de fauna salvaje, ganado y personas puede provocar problemas sanitarios relacionados con diversas zoonosis [9]. Las zoonosis pueden afectar a la salud pública, la biodiversidad y las economías locales, dependiendo de la dirección de la transferencia de patógenos. En primer lugar, el riesgo para la salud pública aumenta si la transferencia se produce de ungulados salvajes (o domésticos) a humanos [10]. En segundo lugar, la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas naturales se ven afectados si el ganado doméstico de la periferia del parque transfiere patógenos a la fauna salvaje [11]. En tercer lugar, diferentes especies de pequeños mamíferos, tanto salvajes, principalmente ratones (*Apodemus spp.*) y topillos (*Microtus spp.* y *Clethrionomys glareolus*), como domésticos, ratón (*Mus spp.*) o rata (*Rattus spp.*), son reservorios reconocidos de zoonosis bacterianas transmitidas por garrapatas, como la enfermedad de Lyme (borreliosis) que se encuentran relacionadas con el ciclo biológico de algunas especies de garrapatas [12], siendo por ello un riesgo para la salud debido tanto a la utilización de los espacios naturales por el ser humano como la proximidad de estos animales a zonas urbanas. Por último, las economías locales pueden verse afectadas si los animales salvajes transfieren patógenos al ganado [11].

En este sentido, la elevada densidad de ungulados salvajes en algunas zonas de montaña y el estrecho contacto con el ganado doméstico en pastos y abrevaderos han generado brotes de enfermedades como el de sarna sarcóptica [13]. Estos brotes en la fauna salvaje pueden prevenirse mediante un esfuerzo continuo de vigilancia del ganado doméstico y de los individuos enfermos [14]. Este reto es esencial en España, que experimenta, por ejemplo, una tasa muy elevada de brucelosis entre la fauna salvaje [15] y los ungulados domésticos [16]. Las zoonosis suelen ser transmitidas por ectoparásitos como garrapatas (*Ixoidoidea*), ácaros hematófagos que actúan como reservorio y como vectores de enfermedades infecciosas generadas por bacterias, virus o eucariotas (protistas como *Babesia spp.* y *Theileria spp.*, así como hongos como los microsporidios, que pueden causar diversas enfermedades en los seres humanos). Éstas pueden transmitirse transovarial, y transestadialmente, [17]. Los principales reservorios silvestres son los pequeños mamíferos (roedores e insectívoros), los ungulados silvestres como el jabalí, el ciervo o el corzo, y el ganado doméstico [18] (cabras, ovejas y vacas).

En los últimos años, el número de casos de zoonosis bacterianas transmitidas al hombre por garrapatas ha aumentado un 300% (VII Congreso Internacional sobre Garrapatas y Patógenos Transmitidos). En España, hasta 1988, las enfermedades transmitidas se limitaban a casos de brote o erupción mediterránea, causada por *Rickettsia conorii* [18] o el agente de la fiebre maculosa mediterránea (FMM), en la década de 1990, fue diagnosticada como linfadenopatía transmitida por garrapatas/linfadenopatía eritema-necrosis transmitida por Dermacentor/linfadenopatía con escaras del cuero cabelludo y del cuello (TIBOLA/DEBONEL/SENLAT), causada por *Rickettsia slovaca* [19] y unos pocos casos de babesiosis [20]. Actualmente, el espectro se ha ampliado, produciéndose un aumento de la enfermedad de Lyme (~85.000 casos/año en Europa [21]) causada por *Borrelia burgdorferi* [22,23], la Anaplasmosis Granulocítica Humana (AGH) y la fiebre Q, así como la Tulemia. Todas estas enfermedades son transmitidas por garrapatas del complejo *Ixodes ricinus*, ampliamente distribuidas en Europa, incluyendo toda la Península Ibérica excepto la zona de Levante [24]. La distribución del agente está condicionada por la presencia del vector, que en España se da en todas las principales cadenas montañosas. Sin embargo, la tulaemia también puede transmitirse por otras vías (contacto directo, ingestión e inhalación de aerosoles infectados) [25], y es capaz de infectar a varias especies silvestres [26].

Los requisitos para que una enfermedad transmitida por garrapatas se establezca en una zona determinada son: (1) presencia de una especie de garrapata con su fase infecciosa, (2) presencia del reservorio y (3) presencia de personas que puedan estar infectadas [20]: un conjunto de condiciones que suelen darse en zonas protegidas que se extienden por zonas montañosas.

Por otro lado, las complejas interacciones entre especies hospedadoras y factores ambientales como la humedad y la temperatura influyen en la carga de enfermedades transmitidas por garrapatas [27,28]. En España, la aparición de casos letales de fiebre hemorrágica de Crimea-Congo [29], transmitida por la picadura de garrapatas, subraya el riesgo de este tipo de enfermedades de baja incidencia en el contexto actual de cambio climático, pérdida de biodiversidad y cambio en la estructura de las redes de interacción ecológica [29,30]. Estos cambios implican: (1) variaciones en los rangos de distribución de vectores y especies hospedadoras, (2) modificación de los parámetros microclimáticos que determinan el éxito reproductivo de los vectores y la supervivencia de los 3 estadios de la garrapata (larvas, ninfas y adultos), (3) así como cambios en la dinámica poblacional de roedores y ungulados hospedadores (cérvidos y bóvidos) y otros mamíferos como los carnívoros. Las modificaciones antrópicas del hábitat también pueden favorecer la propagación de zoonosis, facilitando la colonización de especies hospedadoras, como demuestra el caso de los topillos campesinos (*Microtus arvalis*) en el norte de España [31].

Necesitamos comprender mejor las interacciones entre Patógeno-Vector-Hospedador (P-V-H) en relación con las zoonosis silvestres en las zonas forestales de la Península Ibérica y el papel que desempeñan los factores abióticos para facilitar la propagación de las zoonosis, así como el papel del ganado doméstico en este mismo contexto. La probabilidad de que estas interacciones se produzcan en un contexto ecológico concreto determinará en gran medida la prevalencia del patógeno en el vector y, por tanto, el riesgo de infección en humanos.

La región mediterránea está más expuesta a los efectos perjudiciales del cambio climático y global que otros ecosistemas europeos debido a factores como la baja fertilidad del suelo y la limitada disponibilidad de agua, así como al mayor riesgo de incendios forestales [32,33]. Las predicciones son especialmente sombrías si se tiene en cuenta la reducción prevista de las precipitaciones anuales y primaverales [34] en una región considerada uno de los puntos calientes de la biodiversidad mundial [35].

El interés por la biodiversidad, las actividades turísticas recreativas y los hábitos de vida saludables atraen a miles de habitantes a nuestros parques regionales, naturales y nacionales de montaña durante los periodos vacacionales. Así, los conocimientos generados pueden aplicarse también a los distintos ecosistemas de montaña, estén o no protegidos. Además, el uso de las nuevas tecnologías permite el teletrabajo, lo que acerca a un porcentaje creciente de habitantes de los núcleos urbanos al mundo rural. Este aumento de la disponibilidad de hospedadores humanos implica un mayor riesgo de zoonosis. En las próximas décadas, aumentará el flujo de población desde los centros

urbanos hacia las zonas rurales/naturales, así como los efectos del cambio climático sobre los vectores patógenos (pudiendo cambiar su distribución), lo que puede provocar alteraciones drásticas en la cadena trófica y el colapso de la red [36,37]. El caso de los espacios naturales y, en concreto, los campings, que implican una mayor proximidad de los visitantes a la fauna salvaje huésped y a los vectores, son paradigmáticos (Figura 1).



Figura 1 Riesgo de transmisión de zoonosis derivadas de la coincidencia en el espacio y el tiempo de la fauna silvestre (puntualmente también ganado doméstico) y visitantes realizando actividades recreativas y turísticas dentro de áreas naturales de montaña. Si bien en los Parques Nacionales, las actividades como el turismo y la ganadería son minimizadas, estos constituyen la mejor área de estudio posible para responder a las preguntas planteadas por el enorme impacto potencial que la emergencia de zoonosis tendría en estos espacios.

Por lo tanto, tenemos que estudiar los factores que impulsan estos riesgos de infección en los ecosistemas de montaña para aplicar medidas de prevención y proteger la salud pública, la biodiversidad y los usos ganaderos que sustentan en parte la economía local en las zonas de montaña. Esta propuesta pretende caracterizar la variación espacial y temporal de la prevalencia de enfermedades y el riesgo de zoonosis específicas en las áreas protegidas de montaña. Se prestará especial atención al riesgo de transmisión de zoonosis al ser humano (efectos sobre la salud) y a la fauna salvaje (efectos sobre la biodiversidad), aunque también se generarán datos sobre el riesgo de zoonosis para el ganado doméstico (efectos sobre la economía local).

Para establecer modelos epidemiológicos de cada patógeno en condiciones naturales, es fundamental comprender la asociación P-V-H de cada patógeno, así como la estacionalidad de la actividad de los distintos estadios. De hecho, la interacción P-V-H es importante en la sincronía de la actividad larvaria y ninfa de *I. ricinus* mostrada en Europa Central y Escandinavia, y se ha observado que puede cambiar la epidemiología del virus de la encefalitis transmitida por garrapatas [38], que aún no ha afectado a España. Este proyecto puede permitir evitar la aparición de esta enfermedad. Además, conocer la densidad de hospedadores en el campo es clave para entender la probabilidad de infección.

Así, el objetivo general del proyecto que hemos planteado es crear modelos de abundancia de vectores (y de patógenos asociados) teniendo en cuenta la importancia del agua y su estructura (puntos de agua o cursos de agua como determinante del uso del espacio en mamíferos y de su abundancia en hábitats forestales naturales y pastos de montaña), comprobar si la prevalencia de patógenos en las poblaciones de garrapatas guarda una relación lineal o logística con la abundancia y riqueza de mamíferos hospedadores, teniendo en cuenta que éstos pueden servir como hospedadores vertebrados amplificadores y poner a estos agentes patógenos y a sus vectores artrópodos ectoparásitos en contacto directo con los humanos, contribuyendo al mantenimiento de los ciclos de transmisión en zonas urbanas [39].

2. Contenido

2.1. Zona de estudio

Las zonas de estudio consisten en 3 áreas protegidas de montaña: **(i)** Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en el norte; **(ii)** Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama en el centro; **(iii)** Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas en el sur (Figura 2).



Figura 2 Mapa de la Península Ibérica con las tres zonas de estudio en verde. La línea roja discontinua separa la región bioclimática Eurosiberiana de la Mediterránea. Los ungulados silvestres y pequeños mamíferos hospedadores habituales de garrapatas están representados para cada parque (según las distribuciones recogidas en el Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad).

Se seleccionarán cuatro puntos de muestreo por zona de estudio (2 cursos de agua y 2 puntos de agua permanentes). Mediremos:

1. Densidad de garrapatas/m² (una de las variables de respuesta) utilizando protocolos de Ofstfeld y Randolf adaptados por Aurelio Malo a la península Ibérica, en diferentes hábitats y diferentes distancias (1,10,100,200 m) del agua.
2. La temperatura y la humedad (condiciones abióticas) en cada punto de muestreo con registradores de datos (Figura 3).
3. La densidad de ungulados salvajes (ciervos, gamos, jabalíes, muflones, rebecos e íbices): (i) utilizando cámaras trampa por punto de muestreo, mediante el sistema REM (Marcus Rowcliff, ZSL) para especies diurnas (ii) mediante censos visuales (telescopio y prismáticos) en el crepúsculo.
4. La presencia y abundancia de ganado doméstico se a partir de las reservas naturales y con la información sobre sus movimientos obtenida con cámaras trampa durante la temporada de pastoreo (muestreo directo y entrevistas a los ganaderos); (e) la densidad de pequeños mamíferos (Figura 4) se estimará en los puntos seleccionados mediante métodos de captura y recaptura con trampas Sherman (24/muestra por curso de agua o punto).



Figura 3 Registrador de datos alimentado por energía solar para registrar la humedad relativa, el punto de rocío, la temperatura, la localización GPS y los datos de actividad individual de los roedores.

Para facilitar su evaluación, se ilustra el diseño experimental (Figura 4). Para la recogida de muestras biológicas, se recogerán garrapatas de vida libre en cada una de las cuatro distancias (situadas a 1, 10, 100, 200 m) del agua junto con garrapatas que parasitan a pequeños mamíferos en cada uno de los 4 puntos de muestreo dentro de cada zona protegida durante cada uno de los 4 meses de verano (junio-septiembre) a lo largo de los 2 años del proyecto.

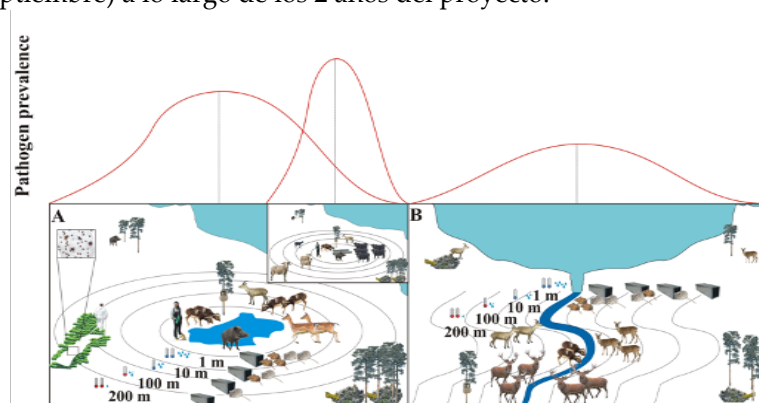


Figura 4 Esquema del diseño experimental con muestreo en (A) puntos de agua de manantial natural o charcas residuales, y (B) agua lineal, realizado mediante el método de la bandera (o "arrastre") para la estimación de la densidad de garrapatas a las distancias indicadas. Las capturas de pequeños mamíferos seguirán el mismo procedimiento.

2.2. Procesamiento de las muestras

Las muestras recogidas se transportarán y se almacenarán a -20°C . La identidad taxonómica de las garrapatas y de los patógenos se deducirá utilizando códigos de barras de ADN, tras el aislamiento de los ácidos nucleicos. Se prepararán bibliotecas genómicas basadas en diferentes marcadores para los distintos grupos taxonómicos empleando un fragmento de citocromo c oxidasa I (mini-COI) para las garrapatas, ARN ribosómico 16S (ARNr 16S) para las bacterias y ARN ribosómico 18S (ARNr 18S) para los eucariotas (protistas y hongos como los microsporidios, que pueden causar diversas enfermedades en los seres humanos). Específicamente, las regiones hipervariables dentro de cada uno de estos genes se amplificarán con cebadores universales y los amplicones se indexarán con oligonucleótidos individuales para luego ser ensamblados y procesados. Se incorporarán blancos de PCR para detectar posibles contaminaciones. Parte de las bibliotecas individuales se agruparán por área de estudio para utilizar la secuenciación *shotgun* con el fin de caracterizar grupos microbianos, virus de ADN que no hayan podido identificarse mediante la metabarcodificación tradicional de ADN. Tanto las bibliotecas como las muestras agrupadas serán secuenciadas masivamente por empresas de biotecnología subcontratadas. Las lecturas (datos en bruto) obtenidas por el secuenciador Illumina se procesarán utilizando programas informáticos como QIIME [40] y SILVA [41] para la identificación de unidades taxonómicas operativas (OTU) específicas

y la cuantificación de patógenos. En cuanto al componente no bacteriano de la microbiota albergada por las garrapatas, se utilizarán bases de datos mediante el programa BLAST+ para identificar las OTU presentes y cuantificar la proporción de cada una de ellas (y luego la abundancia relativa de los distintos grupos microbianos, patógenos incluidos). Se utilizará el paquete R 'vegan'[42], para explorar y visualizar patrones de similitud y disimilitud mediante análisis de coordenadas principales (ACoP) y mapas de calor. Las diversidades dentro grupos de la misma especie de garrapata y entre especies de garrapatas se compararán entre diferentes microhábitats de la misma zona de estudio, y entre zonas de estudio, adoptando un diseño estadístico anidado (Figura 5) [43].

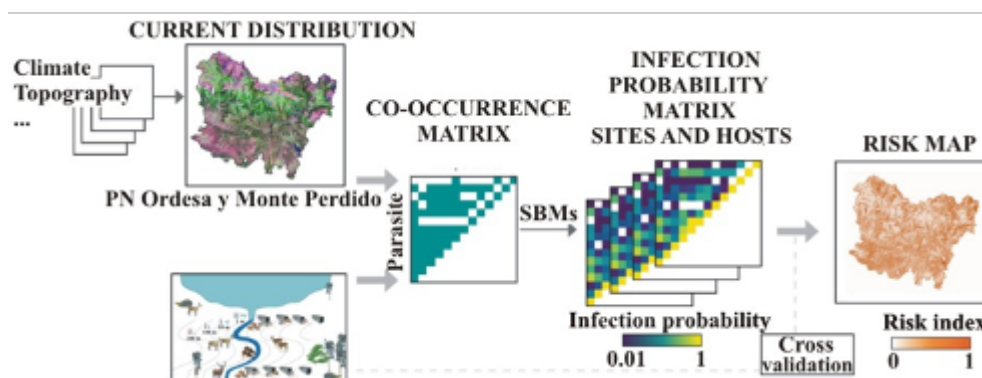


Figura 5 Diagrama de flujo de los procedimientos analíticos subyacentes a la extrapolación de los datos obtenidos a zonas más extensas para la generación de mapas de riesgo de zoonosis.

Los datos de diversidad y abundancia relativa de las OTU microbianas se analizarán utilizando modelos estadísticos basados en la distribución de los residuos e incorporando las variables ambientales registradas sobre el terreno (es decir, derivadas de los valores de humedad y temperatura). Se utilizarán modelos lineales generalizados para comprobar el efecto de variables abióticas (proximidad a arroyos y puntos de agua) y bióticas (diversidad, densidad de población y distribución espacial de ungulados y pequeños mamíferos) en la abundancia de garrapatas y, por tanto, en el riesgo de contraer enfermedades infecciosas.

También se utilizarán análisis matriciales como la "red de grupos bivariantes" o los "modelos estocásticos de bloques" (SBM) [44,45] para examinar patrones en los distintos compartimentos del ecosistema y rellenar lagunas en la red a partir de la información disponible. Los SBM se han desarrollado para el análisis de redes y permiten obtener resultados similares a los de los modelos de regresión múltiple, pero centrados en hacer descripciones y predicciones de la estructura de la red. Las SBM permiten añadir etiquetas o metadatos a los nodos de la red para que actúen como priores de clasificación [46]; por ejemplo, diferentes especies de garrapatas más la probabilidad de infectar a una determinada especie hospedadora.

Los resultados derivados de estos modelos permitirían construir redes probabilísticas (lugares x zoonosis), a partir de las cuales extrapolar mapas de riesgo de zoonosis. Estos modelos de difusión del riesgo espacialmente explícitos, desarrollados en entornos naturales/nacionales, podrían servir de base para la elaboración de mapas de riesgo de zoonosis.

Estos modelos de difusión de riesgos espacialmente explícitos desarrollados en parques pueden extrapolarse a otras zonas de montaña para las que se disponga de información de las variables predictoras. Los análisis genéticos para la identificación de OTU y la cuantificación de patógenos se llevarán a cabo en la UAH a partir del final de la primera parte del trabajo de campo.

4. Discusión

La realización de este proyecto permitirá caracterizar las vías de infección a través de varios grupos taxonómicos (pequeños mamíferos, mesocarnívoros y ungulados), y características espaciales considerando los factores abióticos que son probables determinantes de riesgo - masas de agua puntuales y lineales - cuando el cambio global puede traducirse en un aumento del riesgo de contagio. El conocimiento generado, se traducirá en la generación de bases de datos específicas, que

serán subidas a repositorios públicos y representarán una herramienta para la mitigación de riesgos y ayuda a la salud pública.

La información recopilada será útil no sólo para identificar el riesgo de zoonosis, sino también para mitigar o prevenir la transmisión de enfermedades del ganado a la fauna silvestre, preservando así la biodiversidad y el correcto funcionamiento de los servicios ecosistémicos dentro de las áreas protegidas. También será útil para controlar el riesgo de transmisión de enfermedades de la fauna silvestre al ganado doméstico, protegiendo las economías de las comunidades rurales de las zonas de montaña, así como otros servicios clave que prestan a la sociedad en general e incluyendo su contribución a la conservación de la naturaleza y el apoyo a la gestión de sus recursos (productos de calidad, turismo, paisajes agrarios relevantes, pastos de montaña).

Este proyecto se alinea perfectamente con la línea prioritaria *"Identificación, caracterización y evaluación de procesos ecológicos ligados a usos y prácticas tradicionales compatibles o necesarios para la conservación de los parques nacionales españoles en un escenario de cambio global"* recientemente identificada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España. El proyecto pretende generar resultados en beneficio tanto de las áreas protegidas como de la sociedad en general, entre los que se incluyen:

1. Red permanente de puntos de seguimiento/vigilancia del riesgo de zoonosis junto con un plan de ampliación de estos puntos de muestreo para mejorar la parametrización de los modelos con datos de mayor resolución si fuera necesario.
2. Mapas de riesgo basados en datos generados con la información espacial disponible sobre picaduras de garrapatas y mapas de vegetación como herramienta de gestión de los parques nacionales para integrar la distribución de las garrapatas (<https://higieneambiental.com/control-of-pests/updatedmaps-of-the-distribution-of-ticks-in-spain>), en concreto:
 - Mapa de zoonosis a humanos (Salud Pública).
 - Mapa de eventos de enfermedades zoonóticas asociadas a animales silvestres (Conservación).
 - Mapa de eventos de enfermedades zoonóticas asociadas ganado doméstico (Economía Local).
3. Red de asistencia y apoyo a los ayuntamientos en la prevención de contagios (implicando a los centros de salud). Guía de buenas prácticas ganaderas en espacios protegidos en relación con enfermedades zoonóticas que puedan afectar a la fauna silvestre, impactando en la biodiversidad, o a las personas, impactando en la salud pública.

Este proyecto pretende ser la primera etapa del desarrollo de una propuesta de investigación más amplia que abarque una mayor extensión de la región mediterránea.

Agradecimientos: Proyecto de Incentivación de la consolidación Investigadora (CNS2022-136192). Ministerio de Ciencia e Innovación. Proyecto financiado por la Unión Europea (NextGenerationEU). Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Agencia Estatal de Investigación. Parque Nacional de Guadarrama, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, y Parque Natural de Cazorla Segura y las Villas.

Contribución de los autores: AFM y GF concepción y diseño del estudio. ELL, AFM desarrollo, recolección y análisis de datos. EFM, GF, CGP y ELL escritura y revisión.

Conflictos de Intereses: Los autores no declaran conflicto de intereses.

Referencias Bibliográficas

1. López, I., y Pardo, M. (2018). Turismo versus conservación de la naturaleza: conciliación de intereses y objetivos comunes. Un análisis a través del Parque Nacional de los Picos de Europa. *Journal of Mountain Science*, 15 (11), 2505-2516.

2. Ferretti-Gallon, K., Griggs, E., Shrestha, A. y Wang, G. (2021). Mejores prácticas en parques nacionales: lecciones de un siglo de gestión de parques nacionales. *Revista internacional de geopatrimonio y parques*, 9 (3), 335-346.
3. Navalpotro, J. A. S., Pérez, M. S., & Pérez, I. S. (2015). TERRITORIO Y SOSTENIBILIDAD: ALGUNOS PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES EN ESPAÑA (I) 1. M+ A: *Revista Electrónica de Medioambiente*, 16(1), 45.
4. Pérez-Calderón, E., Prieto-Ballester, J. M., Miguel-Barrado, V., & Milanés-Montero, P. (2020). Perception of sustainability of Spanish national parks: Public use, tourism and rural development. *Sustainability*, 12(4), 1333.
5. Pérez-Calderón, E., Miguel-Barrado, V., & Sánchez-Cubo, F. (2022). Tourism business in Spanish national parks: A multidimensional perspective of sustainable tourism. *Land*, 11(2), 190.
6. Gómez Sal, A. (2011). Entender la naturaleza ibérica. Los ecosistemas humanizados. Informe de Sostenibilidad en España. Especial Los bosques en España. OSE. Madrid: Fundación Biodiversidad, Universidad de Alcalá.
7. Velado-Alonso, E., Morales-Castilla, I., Rebollo, S., & Gómez-Sal, A. (2020). Relationships between the distribution of wildlife and livestock diversity. *Diversity and Distributions*, 26(10), 1264-1275.
8. <https://news.agrofy.com.ar/noticia/180336/como-y-que-se-hace-ganaderia-reservas-nacionales>.
9. Estrada-Peña, A., & Jongejan, F. (1999). Ticks feeding on humans: a review of records on human-biting Ixodoidea with special reference to pathogen transmission. *Experimental & applied acarology*, 23, 685-715.
10. Aruho, R., MacLeod, E. T., Manirakiza, L., & Rwego, I. B. (2021). A serological survey of brucellosis in wildlife in four major National Parks of Uganda. *BMC veterinary research*, 17, 1-10.
11. De la Fuente, Jose & Estrada-Peña, Agustín & Venzal, José & Kocan, Katherine & Sonenshine, Daniel. (2008). Overview: Ticks as vectors of pathogens that cause disease in humans and animals. *Frontiers in bioscience : a journal and virtual library*. 13. 6938-46. 10.2741/3200.
12. Barandika, J. F., Hurtado, A., García-Esteban, C., Gil, H., Escudero, R., Barral, M., ... & García-Pérez, A. L. (2007). Tick-borne zoonotic bacteria in wild and domestic small mammals in northern Spain. *Applied and environmental microbiology*, 73(19), 6166-6171.
13. León-Vizcaíno, L., Ruiz de Ybáñez, MR, Cubero, MJ, Ortiz, JM, Espinosa, J., Pérez, L., ... & Alonso, F. (1999). Sarna sarcóptica en cabra montés de España. *Revista de enfermedades de la vida silvestre*, 35 (4), 647-659.
14. Serrano, E., Cross, PC, Beneria, M., Ficapal, A., Curia, J., Marco, X., ... y Marco, I. (2011). Reducción de la prevalencia de la brucelosis en ciervos rojos mediante esfuerzos para controlar la enfermedad en el ganado. *Epidemiology & Infection*, 139 (10), 1626-1630.
15. Muñoz, P. M., Boadella, M., Arnal, M., de Miguel, M. J., Revilla, M., Martínez, D., ... & Gortázar, C. (2010). Spatial distribution and risk factors of Brucellosis in Iberian wild ungulates. *BMC infectious diseases*, 10, 1-14.
16. EFSA (2008) http://www.mapa.es/ganaderia/pags/sanidad_ganadera/zoonosis/Informe2008.pdf. Consultado el 16 de septiembre de 2010-
17. Pfäffle M, Littwin N, Muders SV, Petney TN. The ecology of tick-borne diseases. *Int J Parasitol*. 2013 Nov;43(12-13):1059-77. doi: 10.1016/j.ijpara.2013.06.009. Epub 2013 Aug 1. PMID: 23911308.
18. Fleta Zaragozano, J. (2002). Fiebre maculosa de las Montañas Rocosas. *Med. integral* (Ed. impr), 18-24.
19. Portillo, A., Santibáñez, S., García-Álvarez, L., Palomar, A. M., & Oteo, J. A. (2015). Rickettsioses in Europe. *Microbes and infection*, 17(11-12), 834-838.
20. Oteo Revuelta, J. A. (2016). Espectro de las enfermedades transmitidas por garrapatas. *Pediatría Atención Primaria*, 18, 47-51.
21. <https://www.meneame.net/m/actualidad/hospitalizaciones-enfermedad-lyme-suben-232-euskadi-15-anos>
22. Escudero-Nieto, R., & Guerrero-Espejo, A. (2005). Enfermedades producidas por Borrelia. *Enferm. infecc. microbiol. clín.* (Ed. impr.), 232-240.
23. Mora Sandoval, Á. F. (2019). Estado epidemiológico de las enfermedades transmitidas por garrapatas que afectan al hombre en Europa.
24. <https://seviplagas.com/mapa-de-lasgarrapatas-en-espana/>
25. Miguel, Lucía & Sierra, María & Suarez, Berta & Sanchez Gomez, Amaya & Santos, Sara & Simón, Fernando & Amela, Carmen. (2013). Informe de situación y evaluación del riesgo de la Tularemia en España. 10.13140/RG.2.1.1971.9127.

26. Mörner, T. (1992). The ecology of tularaemia. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 11(4), 1123-1130.
27. Randolph, S. E., Green, R. M., Peacey, M. F., & Rogers, D. J. (2000). Seasonal synchrony: the key to tick-borne encephalitis foci identified by satellite data. *Parasitology*, 121(1), 15-23.
28. Medlock, J. M., Hansford, K. M., Vaux, A. G., Cull, B., Gillingham, E., & Leach, S. (2018). Assessment of the public health threats posed by vector-borne disease in the United Kingdom (UK). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2145.
29. Randolph, S. E. (2013). Is expert opinion enough? A critical assessment of the evidence for potential impacts of climate change on tick-borne diseases. *Animal health research reviews*, 14(2), 133-137.
30. Estrada-Pena, A., & Venzal, J. M. (2007). Climate niches of tick species in the Mediterranean region: modeling of occurrence data, distributional constraints, and impact of climate change. *Journal of Medical Entomology*, 44(6), 1130-1138.
31. Estrada-Peña, A., Ostfeld, R. S., Peterson, A. T., Poulin, R., & de la Fuente, J. (2014). Effects of environmental change on zoonotic disease risk: an ecological primer. *Trends in parasitology*, 30(4), 205-214.
32. Herrero-Cófreces, S., Mougeot, F., Lambin, X., & Luque-Larena, J. J. (2021). Linking zoonosis emergence to farmland invasion by fluctuating herbivores: common vole populations and tularaemia outbreaks in NW Spain. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 698454.
33. Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., ... & Zierl, B. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *science*, 310(5752), 1333-1337.
34. Bravo, D. N., Araújo, M. B., Lasanta, T., & Moreno, J. I. L. (2008). Climate change in Mediterranean mountains during the 21st century. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37(4), 280-285.
35. Tuel, A., & Eltahir, E. A. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot?. *Journal of Climate*, 33(14), 5829-5843.
36. Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
37. Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G. S., Keymer, J., McGlade, J., ... & Xenopoulos, M. A. (2006). Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology*, 87(8), 1915-1924.
38. Mendoza, M., & Araujo, M. B. (2022). Biogeography of bird and mammal trophic structures. *Ecography*, 2022(7), e06289.
39. Comer, J. A., Paddock, C. D., & Childs, J. E. (2001). Urban zoonoses caused by Bartonella, Coxiella, Ehrlichia, and Rickettsia species. *Vector borne and zoonotic diseases*, 1(2), 91-118.
40. Caporaso, J. G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F. D., Costello, E. K., ... & Knight, R. (2010). QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nature methods*, 7(5), 335-336.
41. Quast C, Priesse E, Yilmaz P, Gerken J, Schweer T, Yarza P, Peplies J, Glöckner FO. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Res.* 2013 Jan;41(Database issue):D590-6. doi: 10.1093/nar/gks1219. Epub 2012 Nov 28. PMID: 23193283; PMCID: PMC3531112.
42. Oksanen J et al (2013) (<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>)
43. Biesheuvel, C. J., Vergouwe, Y., Oudega, R., Hoes, A. W., Grobbee, D. E., & Moons, K. G. (2008). Advantages of the nested case-control design in diagnostic research. *BMC medical research methodology*, 8, 1-7.
44. Peixoto, T. P. (2012). Entropy of stochastic blockmodel ensembles. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 85(5), 056122.
45. Peixoto, T. P. (2018). Nonparametric weighted stochastic block models. *Physical Review E*, 97(1), 012306.
46. Hric, D., Peixoto, T. P., & Fortunato, S. (2016). Network structure, metadata, and the prediction of missing nodes and annotations. *Physical Review X*, 6(3), 031038.

