



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	3
1.1.- LA BORRELIOSIS O LA ENFERMEDAD DE LYME	4
1.2.- LAS GARRAPATAS DURAS: <i>Ixodes ricinus</i> o <i>Ixodes</i> spp.	7
• Ciclo vital	7
• Alimentación	8
• Distribución y hábitat	9
• Estacionalidad	10
• Relaciones con el hospedador.....	10
• Las garrapatas como vectores de transmisión de patógenos.....	11
1.3.- EL CAMBIO CLIMÁTICO	13
1.4.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	14
2.- MATERIAL Y MÉTODOS	15
3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
3. 1. MEDIO AMBIENTE	16
• Biodiversidad.....	18
3. 2. VECTOR.....	20
• Supervivencia	20
• Desarrollo	20
• Reproducción	21
• Distribución	21
3. 3. HOSPEDADOR.....	22
• Abundancia y diversidad	23
• Distribución y migración.....	23
3. 4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y ESTRATEGIAS DE CONTROL	24
4.- CONCLUSIONES.....	27
5.- VALORACIÓN PERSONAL Y AGRADECIMIENTOS	30
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	31

RESUMEN

La enfermedad de Lyme (EL) o Borreliosis de Lyme es una enfermedad bacteriana zoonótica producida por la espiroqueta *Borrelia burgdorferi sensu lato*, y transmitida por diferentes especies de garrapatas duras. Es una patología emergente en Europa incluida desde 2018 en la lista de enfermedades sujetas a vigilancia epidemiológica del Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades (ECDC). En España, está catalogada como Enfermedad de Declaración Obligatoria de vigilancia endémica regional desde 2015, según la Orden SSI/445/2015. Desde el 2005, se ha visto un aumento notable en el número de casos (pasando de 2,64 casos por cada 100.000 habitantes a 11,61 casos, con mayor incidencia en hombres mayores de 65 años) y en la carga hospitalaria (con un incremento del 191,8%) en todas las regiones de España. Se estima que el aumento de la incidencia de EL en España es de 0,28 casos/100.000 habitantes/año. Este aumento está relacionado con una modificación en el patrón de la distribución de las garrapatas, ya que se está registrando su presencia en nuevas zonas geográficas donde anteriormente no estaban presente. En este trabajo se han revisado los estudios que ligan el incremento de la prevalencia de la EL con el cambio climático. Estudios epidemiológicos apuntan a que el cambio climático está afectando a la triada ambiente-hospedador-patógeno/vector. Este factor podría inducir a una mayor presencia del vector a lo largo del año, un mayor número de hospedadores y reservorios disponibles para la propagación y el mantenimiento de los patógenos. Todos estos aspectos podrían estar provocando una mayor infección y contagio en personas y en animales.

Las zoonosis suponen un problema de salud a nivel global. En este sentido, predecir el peligro de las enfermedades transmitidas por vectores es particularmente desafiante, debido a que requieren estudios a largo plazo basados en un enfoque multidisciplinario dentro del marco de Una-Sola-Salud (“One-Health”), así como mejorar el conocimiento clínico de la enfermedad, su diagnóstico, y su tratamiento. para frenar este crecimiento.

PALABRAS CLAVE: *Enfermedad de Lyme, Borrelia burgdorferi, Garrapatas, Ixodes ricinus, Cambio climático.*

ABSTRACT

Lyme disease (LD) or Lyme's borreliosis is a zoonotic bacterial disease produced by the spirochete *Borrellia burgdorferi* which is transmitted by different species of hard ticks. It is an emerging pathology in Europe included, since 2018, in the list of diseases subjected to epidemiological surveillance by the European Center for Disease Prevention and Control (ECDC). In Spain, it has been classified as a Mandatory Declaration Disease of regional endemic surveillance since 2015, according to Order SSI/445/2015. Since 2005, there has been a relevant increase in the number of cases (from 2.64 cases per 100,000 inhabitants to 11.61 cases, with a higher incidence in men over 65 yo) and it is becoming a hospital trouble (with an increase of 191.8%) in all regions of Spain. It is estimated that the increase in the incidence of EL in Spain is 0.28 cases/100,000 inhabitants/year. This increase is related to a change in the distribution pattern of ticks, since their presence is being recorded in new geographical areas where they were not previously present. In this work, we have reviewed the studies that link the increase in the prevalence of EL with climate change. Epidemiological studies suggest that climate change is affecting the environment-host-pathogen/vector triad. This factor could induce a greater presence of the vector throughout the seasons of the year, a greater number of hosts and reservoirs available for the propagation and maintenance of the pathogens. All these aspects could be causing greater infection and dissemination in humans and animals.

Zoonoses is a global health problem. In this sense, warning for predicting the danger of vector-borne diseases is particularly challenging, since they require long-term studies based on a multidisciplinary approach within the One-Health framework, as well as improving clinical knowledge of the disease, its diagnosis, and its treatment to stop this growth.

KEY WORDS: *Lyme Disease, Borrellia burgdorferi, Ticks, Ixodes ricinus, Climate change.*

1.- INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por vectores son provocadas por patógenos (bacterias, virus y parásitos) transmitidas principalmente por artrópodos. Estas enfermedades han experimentado un incremento a nivel global en los últimos años (OMS, 2020). Según la Organización Mundial de la Salud, las consecuencias del cambio climático se ven reflejadas indirectamente en el auge de la incidencia o prevalencia de estas enfermedades debido, entre otras causas, a la pérdida de biodiversidad, a la alteración de los ecosistemas y a la degradación del suelo (El-Sayed y Kamel, 2020; OMS, 2019). Un ejemplo lo constituye **la enfermedad de Lyme (EL) o Borreliosis de Lyme**, en la cual se han reportado un aumento de casos anualmente en Europa (Fig. 1; (Brellier *et al.*, 2022; ECDC, 2023)). Por ello, se considera la enfermedad emergente vectorial más prevalente del hemisferio norte (Stone *et al.*, 2017).

La enfermedad de Lyme es una enfermedad infecciosa zoonótica vectorial transmitida a través de la picadura de las garrapatas duras pertenecientes al género *Ixodes* spp., siendo el agente causal la espiroqueta *Borrelia burgdorferi sensu lato* (s.l.). Afecta a las articulaciones, al corazón y a los nervios.



Figura 1.- Mapa de casos reportados de neuroborreliosis en Europa. Fuente: <https://atlas.ecdc.europa.eu/public/index.aspx> (Lyme Neuroborreliosis> All cases> Reported cases). En rojo, la incidencia de la zona; en verde, cuando no se han reportado casos.

El creciente incremento en el número de casos de esta enfermedad zoonótica alienta a desarrollar medidas de control desde el punto de vista “*One-Health*” / Una-Sola-Salud (WOAH, 2023), implicando la participación de diferentes colectivos como, por ejemplo, médicos, ecólogos y veterinarios. Este enfoque multidisciplinar es necesario para comprender qué papel juega el patógeno, el vector, el hospedador y el reservorio en la transmisión y circulación de la bacteria. Tales conocimientos permitirán desarrollar e implementar medidas preventivas adecuadas que se apliquen a nivel ambiental y sanitario (salud humana y animal).

1.1.- LA BORRELIOSIS O LA ENFERMEDAD DE LYME

La borreliosis o enfermedad de Lyme (EL) está considerada como una de las enfermedades emergentes vectoriales más prevalente del hemisferio norte, siendo abundante en Estados Unidos de América, Europa y algunas partes de Asia (Stone *et al.*, 2017). En el caso de Europa, se notifican 85.000 casos de EL al año (Brellier *et al.*, 2022; Lindgren y Jaenson, 2006), debido al gran rango de hospedadores disponibles y a la amplia distribución del vector (Tabla 1).

La EL es de origen bacteriano causada por un grupo de espiroquetas Gram negativas pertenecientes al género *Borrelia* spp.; por ejemplo, *Borrelia burgdorferi sensu stricto* (s.s.), presente principalmente en América, o también, *B. afzelii* y *B. garinii*, presentes en Europa y Asia (Černý *et al.*, 2020). Además, estas espiroquetas son transmitidas por la picadura de una garrapata dura, principalmente por *Ixodes ricinus* (Bregnard *et al.*, 2020).

Esta bacteria se caracteriza por ser muy resistente a amplios rangos de temperatura y pH, pero sensible a los desinfectantes y a los rayos UV (Gieger y Furmaga, 2020). Actualmente existen 21 especies del género *Borrelia* spp. capaces de producir esta enfermedad (Gieger y Furmaga, 2020). Todas ellas difieren por su patogenicidad, localización geográfica, vector y hospedador/reservorio (Tabla 1, Stone *et al.* (2017)). Sin embargo, solamente 8 especies están presentes en Europa (Tabla 1); de las cuáles, *B. afzelii*, *B. garinii* y *B. valaisiana* son las más prevalentes y comunes (Mead, 2015; Stone *et al.*, 2017). Esta bacteria afecta tanto a personas como a animales y se disemina a través de la sangre y los tejidos, debido a su elevada permeabilidad endotelial. Produce una enfermedad sistémica, ya que se adhiere a diferentes órganos, produciendo una respuesta inflamatoria. Su signo principal es el eritema migratorio/*migrans*, aunque también afecta a otros órganos.

Tabla 1.- Especies del complejo *Borrelia burgdorferi* s.l. presentes en Europa, según su preferencia de vector (marcado en negrita el vector en común de todas las especies, *I. ricinus*) y reservorio.

PATÓGENO	VECTOR	RESERVORIO
<i>Borrelia burgdorferi</i> s.s.	<i>Ixodes scapularis</i> , <i>I. pacificus</i> , <i>I. ricinus</i>	Roedores y aves
<i>B. afzelii</i>	<i>I. ricinus</i> , <i>I. persulcatus</i>	Roedores
<i>B. garinii</i>	<i>I. ricinus</i> , <i>I. persulcatus</i>	Aves y roedores
<i>B. bavariensis</i>	<i>I. ricinus</i> , <i>I. persulcatus</i>	Roedores
<i>B. bissettii</i>	<i>I. scapularis</i> , <i>I. pacificus</i> , <i>I. ricinus</i> , <i>I. minor</i>	Aves y roedores
<i>B. spielmanii</i>	<i>I. ricinus</i>	Roedores
<i>B. valaisiana</i>	<i>I. ricinus</i> , <i>I. granulatus</i>	Aves
<i>B. lusitaniae</i>	<i>I. ricinus</i>	Roedores

Modificado de: Stone *et al.*, 2017.

La EL tiene diferentes presentaciones clínicas según su genoespecie y su cronicidad. El primer órgano diana es la piel; 3-14 días después de la picadura de la garrapata, puede desarrollarse un sarpullido eritematoso localizado o un eritema *migrans* (presente en el 60-90% de los casos (Mead, 2015)), además de otros síntomas generales (fiebre, mialgias, fatiga, dolor muscular y articular, etc. (CDC, 2021)). Si no se trata y la infección sigue avanzando pueden aparecer otros signos como problemas neurológicos (el 12% de los casos suele presentar parálisis facial), articulares (el 32% de los casos presentaban artritis) y cardiacos (en menos del 1%, carditis). A pesar de los síntomas que puede provocar, la mortalidad por esta enfermedad es muy baja, inferior al 0,6% de los casos (Mead, 2015).

Los datos epidemiológicos han permitido ver que la incidencia de esta enfermedad es mayor en **hombres de más de 50 años** (cuya exposición a zonas donde están presentes los vectores de la espiroqueta y riesgo son mayores) y en niños y jóvenes de entre **5-15 años**, que son más vulnerables y propensos a presentar neuroborreliosis (Böhmer *et al.*, 2021; Hansen *et al.*, 2013; Mead, 2015) (Fig.2). Además, se ha observado una estacionalidad de la incidencia asociada al ciclo reproductivo de las garrapatas (julio, agosto y septiembre) (Lindgren y Jaenson, 2006).

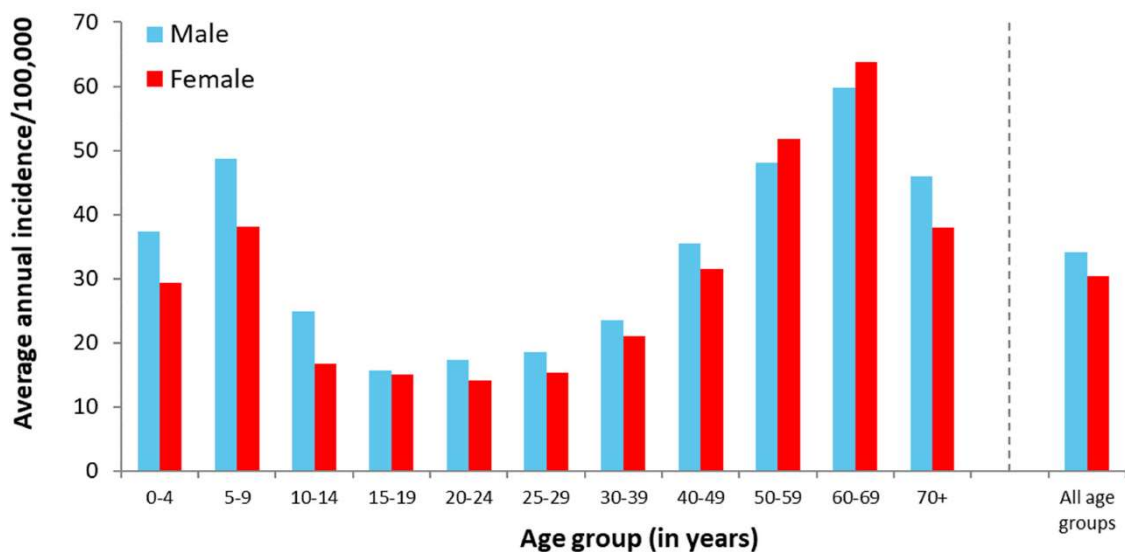


Figura 2.- Incidencia de casos reportados de Lyme en la región de Bavaria (Alemania), según edad y sexo. Fuente: Böhmer *et al.* (2021).

La bacteria causal se queda en el estómago medio de la garrapata (vector), cerca de sus glándulas salivares. De tal forma que la garrapata al picar al hospedador inocula la bacteria en el torrente sanguíneo de este (Gieger y Furmaga, 2020). Se estima que la garrapata debe estar unida al hospedador entre 48-72h para que se produzca la transmisión de la bacteria (Černý *et al.*, 2020; Eisen, 2018).

Debido al amplio rango de hospedadores de la bacteria, esta enfermedad puede afectar tanto a las personas como a los animales, fundamentalmente mamíferos (Kahl y Gray, 2023). Todos son hospedadores de algún estadio de vida de las garrapatas (larva, ninfa o adulto). Sin embargo, en algunas especies de hospedadores apenas tiene consecuencias clínicas (Hussain *et al.*, 2021), aunque la bacteria se disemine por todo su organismo (por ejemplo, los roedores) y pudiendo ser considerados como reservorios de la enfermedad.

El perro doméstico puede también contraer la EL a través de la picadura de una garrapata, esta presenta ciertas diferencias y similitudes respecto a la infección en humanos (Parry, 2016; Skotarczak *et al.*, 2005). La bacteria *Borrelia burgdorferi* s.s. es la más prevalente entre los casos de Lyme canina. Presentan signos inespecíficos (apatía y anorexia), pequeñas alopecias con eritema y, sobre todo, problemas articulares (Skotarczak *et al.*, 2005). Sin embargo, las garrapatas principales de los perros suelen ser de diferentes géneros: *Ambylomma* spp., *Dermacentor* spp., *Ixodes* spp. (siendo la más prevalente y común *I. scapularis*) y *Rhipicephalus* spp. (Saleh *et al.*, 2021). En resumen, los animales domésticos (Kocoń *et al.*, 2023; Saleh *et al.*, 2021) y animales de abasto (Sprong *et al.*, 2020) pueden ser reservorios de varias especies de garrapatas, además de vehículos para la expansión de estas. No obstante, la bibliografía sobre el desarrollo de esta enfermedad en animales es escasa.

El diagnóstico puede ser clínico, aunque es difícil si no presenta un eritema *migrans*. Por ello, se estima que la EL está infradiagnosticada (Lindgren y Jaenson, 2006). No obstante, el diagnóstico definitivo puede realizarse a través de una serología IFA o ELISA (buscando la proteína OspA o OspC, presentes en su membrana externa) o a través de la detección de la bacteria por PCR (Gieger y Furmaga, 2020).

Actualmente, no existe un tratamiento profiláctico contra la EL. En Estados Unidos existía una vacuna recombinante que se dejó de comercializar en el año 2002, debido a su alto coste y su baja eficacia (Černý *et al.*, 2020). No obstante, el antibiótico indicado es la **doxiciclina** (Černý *et al.*, 2020; Harms *et al.*, 2021; Sutton y Spry, 2019), durante las 72h post picadura, que permite reducir la carga bacteriana.

1.2.- LAS GARRAPATAS DURAS: *Ixodes ricinus* o *Ixodes* spp.

La familia Ixodidae es comúnmente denominada como garrapatas duras, debido a la presencia de un escudo dorsal. Esta familia, a su vez, se clasifica en 5 géneros y 27 especies (Estrada-Peña, 2015), cada uno de ellos con diferentes hospedadores y diferentes patrones de distribución. La mayoría son vectores de patógenos, (bacterias y virus) como, por ejemplo, Flavivirus, *Anaplasma* spp., *Ehrlichia* spp. o *Babesia* spp. (Tabla 2).

En Europa, las 5 garrapatas más abundantes y más problemáticas son: *Ixodes ricinus*, *I. persulcatus*, *Rhipicephalus sanguineus*, *Hyalomma marginatum* y *Dermacentor reticulatus* (ECDC, 2023; Eisen, 2020).

CICLO VITAL

El ciclo de vida de las garrapatas ixódidas es muy uniforme para toda la familia, dura entre 2-3 años, pasando por varias fases o estadios: huevo, larva, ninfa y adulto. Todos los estadios, exceptuando el huevo, permanecen sobre la vegetación/suelo a la espera de alcanzar un hospedador adecuado del que alimentarse durante varios días antes de mudar al siguiente estadio (de larva a ninfa y de ninfa a adulto) (Estrada-Peña, 2015). Las hembras adultas se alimentan hasta que están repletas, caen del hospedador y ponen los huevos en la vegetación o en grietas. La puesta puede llegar a 20.000 huevos en casos excepcionales, pero en condiciones normales ponen entre 2.000-3.000 huevos (Kahl y Gray, 2023; Mead, 2015). De tal forma que las garrapatas solo pasan entre 2 y 3 semanas sobre el hospedador (alrededor de un 10% de su vida) (Mead, 2015).

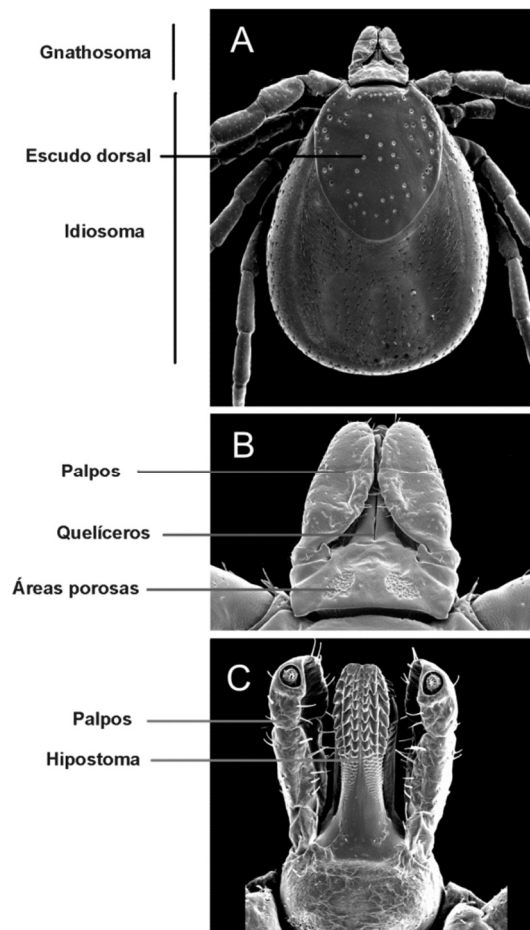
Fuera del hospedador las garrapatas habitan en el suelo entre la hojarasca y la vegetación en descomposición, donde se genera un microclima idóneo para su supervivencia y desarrollo. En este microhábitat los rayos de sol no llegan directamente y existe una humedad relativa importante (Gieger y Furmaga, 2020; Kahl y Gray, 2023).

Durante el invierno, las garrapatas pueden hallarse en diapausa (Kahl y Gray, 2023). Una vez que empieza a ascender la temperatura, salen de la diapausa y hacen una búsqueda pasiva de un hospedador (suben a la superficie de la cobertura vegetal del suelo y esperan a que pase un hospedador para engancharse a él). Sin embargo, durante los días de elevada insolación y altas temperaturas, las garrapatas pueden descender de la superficie a la base del suelo, ya que este suele mantener la humedad relativa y evita la desecación (Estrada-Peña, 2015; Kahl y Gray, 2023).

ALIMENTACIÓN

Las garrapatas duras presentan un aparato bucal perforador-chupador (Kahl y Gray, 2023); es decir, presentan un hipostoma dentado con un par de quelíceros que usan para penetrar en la piel del hospedador y anclarse a ella (Fig. 3C). Además, se ha observado que segregan proteínas (fundamentalmente colágeno) que usan como cemento en su unión con el hospedador.

Durante el anclaje entre el parásito y el hospedador, se produce un intercambio de fluidos entre los capilares del hospedador y la saliva de la garrapata; siendo este proceso en el que se puede producir la transmisión de múltiples patógenos (Tabla 3).



Cuando el hospedador detecta la picadura de la garrapata, se produce hemostasia, inflamación y un estímulo del sistema inmune a nivel local en respuesta a la presencia de la garrapata. Sin embargo, la saliva de la garrapata posee moléculas bioactivas que minimizan el dolor y picor, asimismo inhibe la formación de trombos, la coagulación y la vasoconstricción (Kahl y Gray, 2023; Lindgren y Jaenson, 2006). Por otra parte, estas sustancias bioactivas suprimen la actividad de los linfocitos y neutrófilos e inhiben algunas citoquinas. Todo ello hace que la picadura pase, la mayoría de las veces, desapercibida por el hospedador, lo que dificulta aún más el diagnóstico clínico de las enfermedades infecciosas que transmite.

Las garrapatas se alimentan en cada estadio con una única toma de sangre, llegando a ingerir de 100-200 veces su masa corporal (Kahl y Gray, 2023). Finalmente, se sueltan del hospedador cuando a través de sus ocelos y factores intrínsecos detectan que están repletas cayendo a la vegetación. Ahí es donde mudan y se resguardan hasta encontrar un nuevo hospedador.

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

El grupo *Ixodes* spp. se distribuye por toda Europa y zonas del Norte de África. Cada especie de garrapata tienen diferentes patrones de distribución, aunque muchas veces se solapan y a la hora de la determinación taxonómica se pueden confundir (Kahl y Gray, 2023). *I. ricinus* predomina en el centro y en el norte de Europa (Fig. 4), mientras que *I. inopinatus*, en el sur, y *I. persulcatus*, en el este (Černý *et al.*, 2020).

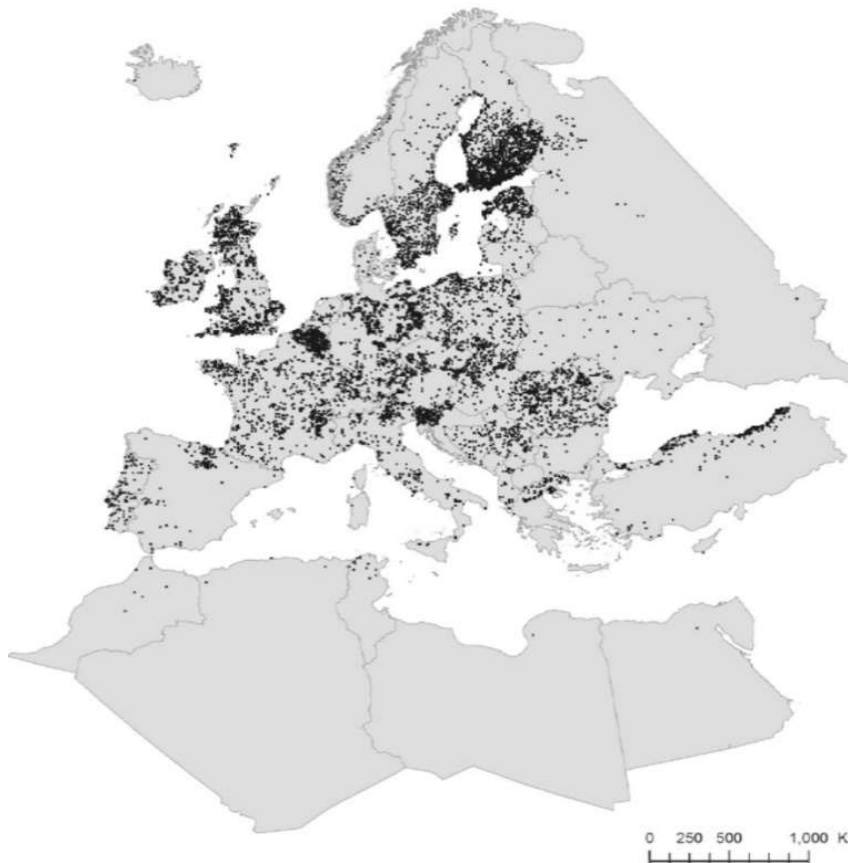


Figura 4.- Distribución de *Ixodes ricinus* en Europa y el Norte de África (celdas de 10x10 km sombreadas en negro en caso de presencia). Fuente: Otranto *et al.* (2018).

Se pueden hallar ejemplares de estas especies en bosques (fundamentalmente coníferas) y alrededores de zonas urbanas y suburbanas. Habitan en la hojarasca del suelo (típico de bosques perennes) y/o en zonas donde la cobertura vegetal baja es frondosa (Kahl y Gray, 2023). Este lecho vegetal crea un microclima, importante en épocas secas y cálidas, donde la humedad relativa es igual o superior al 80%, no suele presentar tanta variación térmica y nunca desciende de los 4-5°C (Kahl y Gray, 2023).

ESTACIONALIDAD

Las garrapatas en Europa (*Ixodes* spp.) presentan una estacionalidad debido a la influencia de la humedad ambiental y de la temperatura. Durante el invierno o en épocas desfavorables pueden estar en diapausa (ya mudados o sin mudar, dependiendo de si han podido alimentarse en la anterior época estival) y a principios de primavera pueden salir de este estado de pausa para buscar un hospedador (Kahl y Gray, 2023; Lindgren y Jaenson, 2006).

Se puede observar un pico de máxima actividad entre mayo y julio; además, de un pico menor de actividad, en otoño. Los adultos suelen ser más precoces, observándose algunos ejemplares buscando hospedador durante los meses de abril hasta septiembre (Kahl y Gray, 2023); y las larvas, más tardías, durante los meses de junio. Además, suelen observarse una mayor actividad después de lluvias durante la estación de verano.

RELACIONES CON EL HOSPEDADOR

Las garrapatas son ectoparásitos obligados de más de 300 especies de vertebrados (Mannelli *et al.*, 2012). No se pueden considerar específicas de hospedador ni generalistas, porque tienen preferencias según el estadio en que se encuentran. Las larvas suelen parasitar vertebrados pequeños (lagartijas, roedores, aves passeriformes, etc.), mientras que las ninfas y adultos parasitan mamíferos de talla mediana y grande (Mead, 2015; Rizzoli *et al.*, 2014). No obstante, suelen solaparse muchas especies de hospedadores y en una misma especie de hospedador se pueden encontrar ejemplares en estadio de larva, ninfa o adulto (Fig. 5 y Tabla 2).

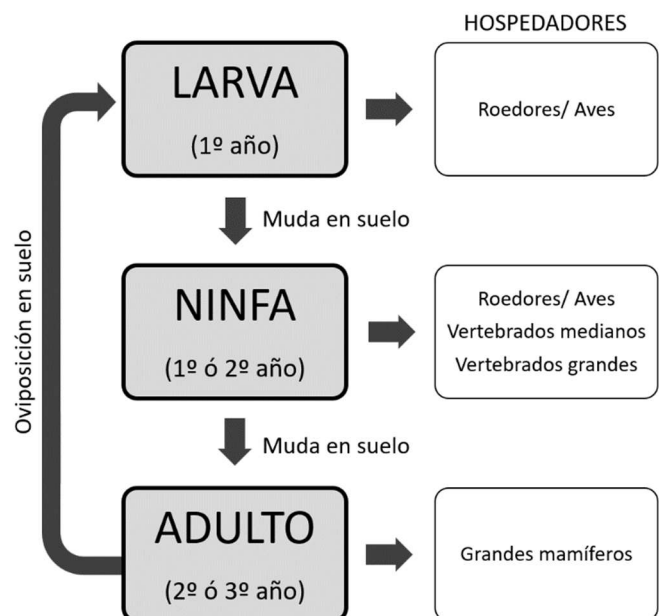


Figura 5.- Esquema del ciclo vital de las garrapatas y la preferencia de hospedadores según su estado.

La abundancia y la densidad de los hospedadores influye en el tamaño poblacional y la abundancia de las garrapatas. Hay estudios que relacionan una alta abundancia de ciervos con una abundancia de garrapatas adultas (Hofmeister *et al.*, 2017; Tagliapietra *et al.*, 2011). De la misma forma, las fluctuaciones en las poblaciones de los roedores y aves (siendo muy susceptibles a estos cambios) repercuten en el tamaño poblacional de las garrapatas, pero con un retraso de dos años (Kahl y Gray, 2023).

Tabla 2.- Hospedadores mamíferos de *Ixodes ricinus* en Europa según su estadio.

ORDEN	HOSPEDADOR EN ESTADIO	HOSPEDADOR EN ESTADIO
	<u>LARVA Y NINFA</u>	<u>ADULTO</u>
RODENTIA	<i>Apodemus flavicollis</i> <i>A. sylvaticus</i> <i>A. agrarius</i> <i>Myodes glareolus</i> <i>Microtus agrestis</i> <i>M. arvalis</i> <i>Rattus norvegicus</i> <i>R. rattus</i> <i>Eliomus quercinus</i> <i>Muscardinus avellanarius</i> <i>Glis glis</i> <i>Sciurus carolinensis</i> <i>S. vulgaris</i> <i>Eutamias sibiricus</i>	
LAGOMORPHA	<i>Lepus europaeus</i> <i>L. timidus</i>	<i>Lepus europaeus</i> <i>L. timidus</i>
SORICOMORPHA	<i>Sorex araneus</i> <i>S. minutus</i>	
ERINACEOMORPHA	<i>Erinaceus europaeus</i> <i>E. roumanicus</i>	<i>Erinaceus europaeus</i> <i>E. roumanicus</i>
ARTIODACTYLA	<i>Capreolus capreolus</i> <i>Cervus elaphus</i> <i>Dama dama</i>	<i>Capreolus capreolus</i> <i>Cervus elaphus</i> <i>Dama dama</i>
CARNIVORA	<i>Vulpes vulpes</i> <i>Meles meles</i>	<i>Vulpes vulpes</i> <i>Meles meles</i>

Modificado de: Rizzoli *et al.* (2014)

LAS GARRAPATAS COMO VECTORES DE TRANSMISIÓN DE PATÓGENOS

Debido a su ciclo vital y a su estrecha relación con los hospedadores, las garrapatas son organismos idóneos para la transmisión de una gran variedad de bacterias y virus. No sólo son capaces de transmitir un único patógeno, sino que en algunas ocasiones son capaces de transmitir varios patógenos a la vez, produciendo una coinfección (OMS, 2020b; Teodorowicz y Weiner, 2022). En la Tabla 3 se muestran las principales bacterias y virus transmitidas por la garrapata *I. ricinus* y las enfermedades que el hospedador puede desarrollar.

La vía de transmisión entre garrapatas es horizontal, cuando se alimentan de hospedadores ya infectados anteriormente (Mead, 2015); siendo infrecuente o nunca observada la transmisión vertical transovárica (Gieger y Furmaga, 2020; Lindgren y Jaenson, 2006). Sin embargo, las garrapatas no desarrollan ninguna enfermedad, ya que como se ha mencionado, la espiroqueta se resguarda en las glándulas salivares para ser más fácilmente inoculada en los hospedadores (Kahl y Gray, 2023).

Tabla 3.- Patógenos y enfermedades que desarrolla el hospedador que se puede transmitir *Ixodes ricinus*.

GARRAPATA/ VECTOR	PATÓGENO	ENFERMEDAD
<i>Ixodes ricinus</i>	<i>Borrelia burgdorferi</i> s.s. y s.l.	Enfermedad de Lyme
	<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	Anaplasmosis granulocítica humana
	<i>Babesia divergens</i> , <i>B. microti</i> , <i>B. venatorum</i>	Babesiosis
	<i>Franciscella tularensis</i>	Tularemia
	<i>Coxiella burnetii</i>	Fiebre Q
	<i>Rickettsia</i> spp., <i>R. helvetica</i>	Fiebre maculosa de las montañas
	<i>Bartonella</i> spp.	Enfermedad por arañazo de gato
	<i>Ehrlichia</i> spp., <i>Neoehrlichia mikurensis</i>	Ehrliquiosis
	Flavivirus	Encefalitis por garrapata (TBEV)/ Louping-ill

Modificado de: Rizzoli *et al.* (2014) y Teodorowicz y Weiner (2022.)

Se considera que los animales salvajes son reservorios de muchas enfermedades zoonóticas vectoriales y que contribuyen a la preservación de las garrapatas y a la propagación de las enfermedades que ellas conllevan. La distribución de las garrapatas y de sus enfermedades vectoriales está altamente influenciada por el medio ambiente, las condiciones climáticas, y la distribución de sus hospedadores (Gilbert, 2021). Por ejemplo, un cambio en el patrón de distribución de los hospedadores, como puede ser un cambio en la ruta migratoria de las aves, puede provocar la presencia de nuevas especies de garrapatas donde antes no estaban presentes (Buczek *et al.*, 2020).

Por ello, los planes de control y de prevención de estas enfermedades se basan en acciones orientadas hacia o sobre sus hospedadores y reservorios (Piesman, 2006).

1.3.- EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios climáticos siempre se han sucedido a lo largo de la historia natural, siendo la razón principal de extinciones y de cambios evolutivos en la naturaleza. Sin embargo, en los últimos años se han sucedido eventos atmosféricos violentos y extremos (desde inundaciones masivas hasta sequías muy severas) que producen un efecto directo e indirecto sobre el medio ambiente. Estas perturbaciones ambientales desestabilizan, en última instancia, las redes tróficas de la biocenosis, lo cual ejerce una presión adaptativa hacia las especies (El-Sayed y Kamel, 2020). Este problema ecológico se ve presente en la salud pública a través de enfermedades emergentes y enfermedades reemergentes.

Una enfermedad **emergente** es una enfermedad cuyo agente patógeno aparece donde antes no estaba, ya sea porque (1) ese patógeno ya era conocido en otro lugar, o porque (2) ha evolucionado y ha mutado adquiriendo nuevas características (El-Sayed y Kamel, 2020). Por el contrario, una enfermedad **reemergente** es aquella que ya estaba en un sitio y cuya prevalencia e incidencia era baja y esporádica, y de repente, aparecen más casos y su prevalencia aumenta (Rebollo Garcia *et al.*, 2021; Suárez Larreinaga y Berdasquera Corcho, 2000).

La enfermedad de Lyme es una enfermedad emergente y reemergente en Europa, cuya incidencia aumenta debido a la expansión de las garrapatas duras (Voyiatzaki *et al.*, 2022). El patrón de distribución de las garrapatas está condicionado por la climatología (humedad y temperatura) y sus hospedadores. Sin embargo, es un complejo multifactorial que muchos investigadores tratan de predecir: cómo afecta el cambio climático en los ecosistemas y cómo perturba la distribución de las especies. De este modo, conociendo estos hechos se pueden aplicar medidas preventivas y paliar los efectos de estas enfermedades antes de que se produzcan grandes pérdidas humanas, sociales y económicas (Černý *et al.*, 2020).

1.4.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Tras la revisión de los artículos obtenidos a través de la búsqueda bibliográfica en base a las preguntas primarias, la principal hipótesis que se baraja es que las perturbaciones derivadas del cambio climático alteran la distribución de los artrópodos, vectores de patógenos y enfermedades, como es en el caso de las garrapatas y de la enfermedad de Lyme.

El principal objetivo del presente trabajo es la revisión bibliográfica de la enfermedad de Lyme y su incidencia en Europa, y su asociación con el cambio climático, desde el enfoque “*One-Health*” (Una-Sola-Salud). La revisión se centrará en la biología y ecología de las garrapatas, al igual que la de los hospedadores y reservorios de la Borreliosis, con el objetivo de conocer y listar los factores ambientales y ecológicos, relacionados con el cambio climático, que afectan a las garrapatas y a sus hospedadores, y, por ende, a la distribución de la enfermedad de Lyme.

Actualmente, existen artículos cuyas líneas de trabajo tratan de predecir la evolución de la distribución de los vectores transmisores de patógenos. Es por ello que, este trabajo también pretende ayudar, clarificar y facilitar el trabajo de estos grupos de investigación.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa, integradora y crítica. Ya que, se descartó hacer una revisión sistemática por insuficiencia de trabajos originales y una revisión en paraguas por falta de base para realizar una revisión integradora.

La búsqueda bibliográfica se realizó a través de dos motores de búsqueda de acceso libre: PubMed y ScienceDirect, aplicando una serie de palabras claves en cada uno de ellos.

En el tema principal se incluyó como palabra clave (LYME DISEASE OR BORRELIOSIS) y se manejaron diferentes palabras claves que debían de estar contenidas en el título, en el resumen/*abstract* o como palabras claves/ *key words*. Además, la búsqueda se limitó por fecha de publicación, aceptando solamente los artículos publicados en los últimos 20 años (entre enero 2003 y enero 2023).

En el buscador **PubMed** se utilizó el siguiente criterio: (((("LYME DISEASE"[Title/Abstract] OR "BORRELIOSIS"[Title/Abstract]) AND ("EUROPE"[Title/Abstract] OR "SPAIN"[Title/Abstract])) AND ("TICKS"[Title/Abstract]) AND (CLIMATE CHANGE[Title/Abstract])). Mientras que, en el buscador **ScienceDirect** se empleó: ("LYME DISEASE") AND ("EUROPE") AND ("TICKS") AND ("CLIMATE CHANGE").

A partir de los artículos mostrados, se realizó un cribado excluyendo aquellos artículos que, tras leer el título y el resumen, no se ajustaban con el objetivo del trabajo. Además, se eliminaron aquellos que no estuvieran en castellano o en inglés. Finalmente, se eliminaron los artículos duplicados de las diferentes bases de datos.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las referencias bibliográficas encontradas en los motores de búsqueda PubMed y ScienceDirect coinciden en la predicción de que el cambio climático afecta a la distribución de las garrapatas en Europa, desplazándolas hacia mayores altitudes y latitudes (Kahl y Gray, 2023; Lemoine *et al.*, 2022). El aumento de casos de enfermedades emergentes zoonóticas en Europa es multicausal, siendo la mayoría de ellas debidas a causas antropogénicas derivadas de la globalización. Entre estas causas antropogénicas cabe destacar la importación de patógenos zoonóticos a través de viajeros, las migraciones humanas, la exposición de las personas a nuevos vectores (Semenza y Paz, 2021), el comercio y tráfico de especies exóticas, las prácticas agrícolas y el cambio en el uso del suelo (El-Sayed y Kamel, 2020; OMS, 2019).

Diferentes organizaciones multidisciplinares, como la OMS / WHO (2017; 2019) y la WOA (2023) han establecido el concepto de “*One-Health*” o Una-Sola-Salud. Este concepto abarca la salud humana, animal (fauna silvestre y doméstica) y vegetal en el contexto de la salud ambiental. Por ello, para abarcar la problemática de la enfermedad de Lyme y entender mejor su epidemiología, es crucial recabar información sobre los factores que afectan a la distribución del patógeno, haciendo hincapié en la relación entre el medio ambiente, los vectores y los hospedadores con el cambio climático. A su vez, conocer estos aspectos permitirá tener un conocimiento más preciso de cómo prevenir y atajar la enfermedad de Lyme.

3. 1. MEDIO AMBIENTE

Las características del medio ambiente determinadas por la climatología, geomorfología, edafología, vegetación, etc., constituyen los hábitats en los que las especies pueden desarrollar sus ciclos biológicos. Algunas especies son menos resilientes o más sensibles que otras y necesitan unos **microclimas** con unas características concretas para poder desarrollarse; como es el caso de las garrapatas de la familia Ixodidae. Estas garrapatas necesitan una temperatura óptima entre 4 y 18°C, una humedad relativa superior al 80%, un suelo húmedo, precipitaciones moderadas y una buena cobertura vegetal (Lindgren y Jaenson, 2006). Sin embargo, respecto a los valores de temperatura y humedad, no hay consenso en la bibliografía. En Süß *et al.* (2008), ponen como requisitos de supervivencia y reproducción una humedad >85% y una temperatura >7°C. Por otro lado, Kahl y Gray (2023) mencionan que las garrapatas pueden sobrevivir en lugares donde se alcancen temperaturas de hasta -15°C y 35°C.

La temperatura y la humedad determinan la presencia, actividad y distribución de las especies de garrapatas; aunque también lo marca la distribución de sus hospedadores, la cual se ve influenciada por el clima. A su vez, muchas especies de *Borrelia* spp. están asociadas a determinadas especies de garrapatas, lo que ha derivado en que la prevalencia de seroprevalencia de las diferentes especies de *Borrelia* spp. sea mayor en algunas zonas (Estrada-Peña *et al.*, 2018) (Tabla 4).

Tabla 4.- Relación entre las principales especies de *Borrelia* spp. presentes en Europa con sus vectores, hospedadores, hábitat y localización.

PATÓGENO	GARRAPATAS ¹	HOSPEDADORES ²	CLIMA Y HÁBITAT ³	LOCALIZACIÓN ³
<i>Borrelia burgdorferi</i> s.s.	<i>Ixodes ricinus</i>	Mamíferos	Clima continental Bosque lusitano	Europa
<i>Borrelia afzelii</i>	<i>Ixodes ricinus</i> <i>I. persulcatus</i>	Mamíferos pequeños y medianos	Clima continental Bosque lusitano	Europa central y Atlántico
<i>Borrelia garinii</i>	<i>Ixodes ricinus</i> <i>I. persulcatus</i> <i>I. uriae</i>	Aves	Clima continental Bosque lusitano y montañas altas	Europa central
<i>Borrelia valasiana</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	Aves	Clima continental Bosque lusitano y montañas medias	Europa central

Modificado de: ¹Escudero-Nieto y Guerrero-Espejo (2005) ²Mannelli *et al.* (2012) y ³Estrada-Peña *et al.* (2018).

Es por ello por lo que cualquier perturbación en el medio y en el clima, como el calentamiento global, puede desencadenar un efecto directo tanto sobre los **vectores (garrapatas)**, afectando a su supervivencia, desarrollo y reproducción; como sobre los **hospedadores**, afectando a su abundancia, patrones de migración, distribución y diversidad que, en última instancia, afectaran a la distribución, prevalencia e incidencia de la enfermedad de Lyme (Fig. 6).

Se ha postulado que la distribución de *I. ricinus* cambiará de manera que dentro de 20 años ocupará un hábitat mayor (un 3,8% más de superficie en Europa) debido a los cambios derivados del calentamiento global y los acontecimientos climáticos violentos y extremos derivados del mismo (Boeckmann y Joyner, 2014). Esto se está viendo reflejado en los nuevos casos de borreliosis reportados en personas en nuevas zonas, como por ejemplo, en Alemania (Skufca, Tran, *et al.*, 2023), en Noruega (Goren *et al.*, 2023), y en Finlandia (Skufca, De Smedt, *et al.*, 2023). Además, ya se han hallado nuevos ejemplares de *I. ricinus* en nuevos territorios en los que antes no se encontraban, como por ejemplo a altitudes de 1.300 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la República Checa (donde antes no se hallaban en altitudes superiores a 700

msnm) (Lemoine *et al.*, 2022). Los datos de diferentes estudios indican que el patrón de distribución de las garrapatas se está ampliando hacia latitudes más septentrionales en el hemisferio norte, hallándose especies de *I. ricinus* en regiones nórdicas como Noruega, Suecia y Dinamarca (Boeckmann y Joyner, 2014; Jepsen *et al.*, 2019; Jore *et al.*, 2014).

La presión evolutiva que supone el cambio climático sobre las especies hace que no únicamente se expandan, sino también hace que puedan surgir nuevas especies de *Borrelia* spp. por cambios moleculares o por cambios de vector u hospedador (Oppler *et al.*, 2022). Por ejemplo, puede asociarse a nuevos vectores competentes o a vectores que antes no eran adecuados pero que ahora sí lo son (Hussain *et al.*, 2021). Es decir, el patógeno está sufriendo una expansión oportunista hacia nuevos hábitats ecológicos, gracias al cambio climático (Stone *et al.*, 2017).

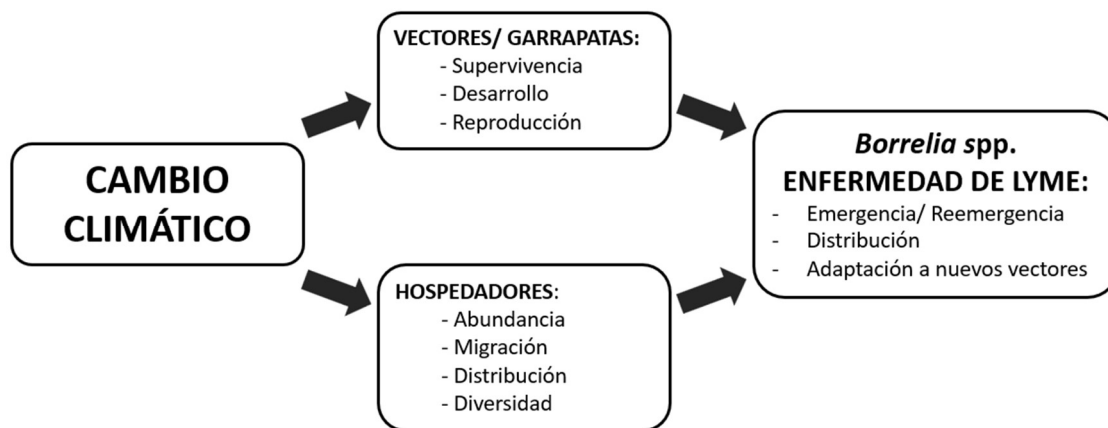


Figura 6.- Esquema resumen de cómo afecta indirectamente el cambio climático en la distribución de la bacteria *Borrelia burgdorferi* s.l. y en su enfermedad, a través de los hospedadores y vectores, y sus factores intrínsecos.

BIODIVERSIDAD

El clima marca la biodiversidad de las zonas tanto directa como indirectamente y esta biodiversidad incrementa las posibilidades de dispersión de los vectores. La biodiversidad influye en la riqueza de especies, en la densidad poblacional y en la composición faunística. Existe un amplio consenso (Ostfeld y Keesing, 2000; Ratti *et al.*, 2021; Stone *et al.*, 2017) sobre la importancia de la variedad y tipología de las especies hospedadoras de garrapatas en la transmisión de la EL. El principal hospedador es el **hospedador competente** capaz de recibir y propagar el parásito. A diferencia de éste, el **hospedador incompetente**, es decir, aquel hacia el que la garrapata no tiene afinidad, ya que algunas especies de garrapatas son específicas de hospedador, puede contribuir a la disminución de la población de garrapatas problemáticas.

El **hospedador de dilución** sí tiene afinidad por las garrapatas, pero no desarrolla ni transmite la bacteria patógena, por ejemplo, la ardilla roja o el zorro rojo, (Lesiczka *et al.*, 2023). El efecto de dilución aumenta la probabilidad de que las garrapatas se alimenten de animales no infectados y disminuye la prevalencia de la *Borrelia* spp. dentro de la población de garrapatas. Sin embargo, hay estudios que postulan que el efecto de dilución del zorro rojo (*Vulpes vulpes*) se debe a que depreda sobre todo pequeños mamíferos, lo que reduce a su vez la población de hospedadores competentes de garrapatas (Levi *et al.*, 2012).

Por otra parte, los **hospedadores refractarios** son específicos de especies concretas de garrapatas, como es el caso de algunas especies de lagartijas que son específicas para garrapatas en los estadios de larva y ninfa, (Stone *et al.*, 2017). Estos hospedadores también tienen un efecto de dilución, reduciendo la prevalencia de garrapatas infectadas.

El papel que suponen los **ciervos** sobre la población de garrapatas está en continuo debate (Ratti *et al.*, 2021). En algunos trabajos se considera como un hospedador competente (Levi *et al.*, 2012) y otros incompetente o refractario (Perkins *et al.*, 2006; Tagliapietra *et al.*, 2011). Son sacos ciegos en el ciclo de infección ya que solo hospedan ejemplares adultos, y ocasionalmente ninfas. Un hospedador infectado transmitirá el patógenos a ejemplares adultos, y éstos no podrán transmitir a nuevos ejemplares la bacteria patógena (Stone *et al.*, 2017).

El cambio climático afecta a las proporciones relativas de cada tipo de hospedador y con ello a la expansión o contención de las garrapatas en determinados hábitats dado que a diferencia de las garrapatas *per se*, los hospedadores constituyen sus principales agentes de movilidad y dispersión. Un ejemplo notable de ello es la dispersión hacia el norte en la mitad este de norteamérica del ratón de patas blancas (*Peromyscus leucopus*) (Roy-Dufresne *et al.*, 2013). De un modo parecido, el ciervo de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), que constituye el principal hospedador de *Ixodes scapularis*, se está extendiendo hacia Canadá debido tanto al cambio climático como al uso de la tierra (Dawe y Boutin, 2016). En este mismo contexto, en el lado oeste de Norteamérica, la eliminación de los carrascales más susceptibles a los incendios en California está llevando a un aumento de la EL debido a que los pájaros que habitan en los carrascales son menos proclives a la infección por larvas y ninfas. Por lo tanto, al constituirse nuevos hábitats de sustitución están apareciendo nuevas especies de aves más susceptibles a hospedar larvas y ninfas (Newman *et al.*, 2015). Resultaría interesante estudiar los efectos de la repoblación de los hábitats tras los incendios forestales y las alteraciones de los distintos tipos de hospedadores en relación con la posible propagación de la EL.

3. 2. VECTOR

Los indicadores de riesgo de la enfermedad de Lyme son principalmente la densidad de garrapatas, la población de garrapatas, la densidad de ninfas infectadas y la prevalencia de *Borrelia* spp. en la población de garrapatas (Estrada-Peña y de la Fuente, 2014; Hansford *et al.*, 2022). Estos factores están fuertemente relacionados con las condiciones medioambientales, de entre los cuales, el cambio climático afecta a la supervivencia, desarrollo, reproducción, y distribución del vector. A continuación, se detalla cada una de ellas.

SUPERVIVENCIA

Como se ha dicho anteriormente, las especies de garrapatas son muy sensibles al medio ambiente, ya que pasan gran parte del ciclo vital fuera del hospedador y son sensibles al frío y a la sequedad (Estrada-Peña, 2015; Kahl y Gray, 2023; Otranto *et al.*, 2018). Un ligero incremento en la temperatura del medio supone una disminución de la mortalidad de las garrapatas, además de un acortamiento en el tiempo de hibernación o diapausa (Gilbert, 2021).

Por otra parte, el ciclo vital de las garrapatas presenta cierta **estacionalidad**, teniendo picos de actividad, es decir, picos de búsqueda activa de hospedador, principalmente en verano y en otoño (Kahl y Gray, 2023). Esto se debe a que en estas estaciones se presentan un porcentaje de humedad y unos grados de temperaturas idóneos para el desarrollo de las garrapatas (Kahl y Gray, 2023).

DESARROLLO

Cada estadio de garrapata tiene un pico de actividad diferente y hospedadores específicos u hospedadores de preferencia diferentes (Gilbert, 2021; Kahl y Gray, 2023). Esto cambia cuando el medio ambiente se perturba, haciendo que esos picos de actividad se solapen. Asimismo, esas perturbaciones cambian la riqueza y la densidad de los hospedadores haciendo que larvas y ninfas, en especial, coincidan en el tiempo a la hora de buscar a los mismos hospedadores (Gilbert, 2021).

La **transmisión** de *Borrelia* spp. es horizontal, no hay evidencia de que exista transmisión vertical o transovárica (Lindgren y Jaenson, 2006; Mead, 2015). Las garrapatas adquieren el patógeno en el primero o en el segundo estadio. Asimismo, la larva es la fase más susceptible de adquirir el patógeno, pero la menos probable de transmitirlo (Gilbert, 2021). En cambio, un adulto será el más probable de transmitir el patógeno al hospedador, ya que habrá tenido una gran probabilidad de haberlo adquirido en estadios anteriores (Gilbert, 2021; Mannelli *et al.*, 2012).

Por ello, resulta peligroso que se solapen los picos de actividad y los hospedadores ya que esto supondría un aumento de la presencia y circulación de la bacteria.

Un factor importante en la transmisión de *Borrelia burgdorferi* s.l., es el **tiempo de unión** o permanencia de la garrapata con el hospedador, ya que cuanto mayor es el tiempo, mayor es la probabilidad de transmitir el patógeno. Se estima que la garrapata pasa una media de 3-10 días unido al hospedador, dependiendo de su estadio (Kahl y Gray, 2023; Süss *et al.*, 2008). Sin embargo, hay estudios que indican que el paso del patógeno del vector al hospedador se produce en las primeras 36 horas (Mead, 2015). Conocer estos datos es útil a la hora de la prevención, ya que una revisión de la piel después de visitar zonas o hábitats proclives de garrapatas puede prevenir la transmisión de la enfermedad.

REPRODUCCIÓN

De entre las variables climáticas, la temperatura es la que más influye en la reproducción de las garrapatas. Un aumento de la temperatura favorece la tasa de oviposición (más huevos en cada puesta), disminuye el periodo de incubación y afecta a la tasa de desarrollo de los huevos disminuyendo la mortalidad de larvas (Estrada-Peña y Fernández-Ruiz, 2020; Süss *et al.*, 2008). En consecuencia, las garrapatas son más precoces y activas reproductivamente gracias al incremento de temperatura en el ambiente (Gilbert, 2021). A su vez, el desarrollo de los estadios de las garrapatas se ve impulsado por el clima, favoreciendo el proceso de muda, ayudado por una menor mortalidad, debido a que no se alcanzan temperaturas tan bajas (Estrada-Peña y Fernández-Ruiz, 2020; Gilbert, 2021).

Por otra parte, la tasa de reproducción de las garrapatas también está influenciada por la cantidad y el tipo de hospedador disponible (Mannelli *et al.*, 2012). De tal manera que un aumento en la abundancia del hospedador aumenta la población de garrapatas. Hofmeister *et al.* (2017) observaron que la presencia de cérvidos (*Capreolus capreolus*, *Dama dama* y/o *Cervus elaphus*) en diferentes zonas muestreadas de varios bosques de Holanda, favorece la abundancia de *I. ricinus*, frente a aquellas zonas donde no hay ninguna especie de cérvidos.

DISTRIBUCIÓN

Finalmente, la **distribución** de las garrapatas no está únicamente condicionada por el medio ambiente, sino también por la distribución de sus hospedadores. Las garrapatas tienen muy poca movilidad, al contrario que otros ectoparásitos, por eso a veces se hayan distribuidas de forma agregada en algunas zonas o incluso dentro del propio hospedador (Dantas-Torres y Otranto, 2011).

Dado que los ecosistemas son altamente vulnerables a las condiciones físicas, el calentamiento global afecta necesariamente al equilibrio entre los distintos eslabones de la cadena trófica y, por tanto, también a los distintos elementos de la cadena que pueden ejercer de vectores o reservorios.

3. 3. HOSPEDADOR

Los hospedadores son los principales factores que favorecen la circulación de los vectores y los patógenos que estos acarrear. Pueden adquirir el patógeno, enfermar, permanecer asintomáticos, aunque el patógeno circule libremente por su sistema, y finalmente transmitirlo a un nuevo hospedador. Los animales domésticos son regularmente inspeccionados por veterinarios, permitiendo un mayor control de su salud, detectar la/s enfermedad/es, atajar dicha enfermedad y su transmisión antes de que vaya a más. En cambio, en el caso de la fauna silvestre, que puede actuar como **reservorio** de muchas enfermedades zoonóticas, resulta más complicado conocer la salud de sus poblaciones y de sus individuos y, por lo tanto, es mucho más difícil conocer la circulación del patógeno en el medio, identificar los vectores, reservorios y hospedadores, con el fin de controlar la enfermedad.

Los hospedadores o reservorios suelen ser especies de **animales gregarios**, es decir, que tienden a vivir agrupados ya sea en colonias o manadas, como por ejemplo especies de roedores o cérvidos (Beckmann *et al.*, 2019; Dantas-Torres y Otranto, 2011). La ecología de estas especies favorece la coexistencia espacial de larvas y ninfas en un mismo hospedador (Gilbert, 2021). Sin embargo, la coexistencia temporal o el solapamiento de sus picos de actividad, hace aumentar la carga bacteriana en las poblaciones y en los estadios más juveniles de las garrapatas (Gilbert, 2021). Asimismo, aumenta la presencia del patógeno en los hospedadores y su enfermedad (Dantas-Torres y Otranto, 2011).

El **sexo** de los hospedadores puede favorecer la transmisión de la bacteria *Borrelia* spp. (Mannelli *et al.*, 2012; Pollock *et al.*, 2012; Ruiz-Fons *et al.*, 2013). Los **machos**, por lo general, suelen estar más susceptibles inmunológicamente en la época de reproducción debido a la ligera inmunodepresión ocasionada por el estrés que supone la competición y la testosterona. Existen artículos (Gago *et al.*, 2022) donde se documenta una mayor prevalencia de garrapatas en machos de erizo europeo (*Erinaceus europaeus*) y moruno (*Atelerix algirus*) que en las hembras. Por otra parte, las **hembras** están levemente inmunocomprometidas durante la lactancia y la gestación, lo que las hace más vulnerables (Mannelli *et al.*, 2012).

Estos factores se deben tener en cuenta a la hora de controlar la transmisión de una enfermedad, ya que, por ejemplo, elevadas densidades poblacionales del hospedador o el sexo del hospedador pueden favorecer el incremento de la circulación del patógeno. Las modificaciones en el ambiente alteran directamente la **abundancia, diversidad, migración, y distribución** de los hospedadores, y, en consecuencia, la distribución del patógeno.

ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD

Es obvio que una mayor abundancia de hospedadores hará favorecer la abundancia de garrapatas. Sin embargo, la **biodiversidad**, riqueza o composición faunística afecta a la prevalencia de los patógenos en las garrapatas. Esto se debe a que la enfermedad se encuadra en un sistema multihospedador en el que cada estadio de la garrapata tiene preferencia por diferentes especies de hospedador (Mannelli *et al.*, 2012). Un desequilibrio entre los hospedadores disponibles puede provocar la expansión del patógeno entre ellos y aumentar la distribución de este (Stone *et al.*, 2017). Por ejemplo, la fragmentación del territorio puede provocar el aislamiento de hospedadores competentes, como puede ser un roedor, haciendo que tanto larvas, como ninfas o adultos se alimenten del mismo hospedador y por lo tanto aumentar la carga bacteriana y la prevalencia en dicha zona (Mannelli *et al.*, 2012).

DISTRIBUCIÓN Y MIGRACIÓN

La migración es otro de los factores a considerar a la hora de conocer el ciclo epidemiológico de una enfermedad. Recientes estudios indican que la perturbación de los ecosistemas ya sea por el cambio climático o por la acción antropogénica, está provocando cambios en las **rutas migratorias de algunas especies de aves** (Buczek *et al.*, 2020). Por otro lado, algunos estudios consideran que las aves migratorias constituyen uno de los mecanismos con mayor potencial en la expansión de las garrapatas a grandes distancias (Buczek *et al.*, 2020; Hussain *et al.*, 2021). Esto produce un cambio en la distribución espaciotemporal, haciendo que las aves migren antes de tiempo y por nuevas rutas (alojándose en nuevos hábitats relacionados con sus nichos).

Estas aves no solo dispersan garrapatas, sino muchos otros parásitos generalistas y sus patógenos asociados (El-Sayed y Kamel, 2020). Por ejemplo, Kjelland *et al.*, (2010) observaron que algo más del 4% de las garrapatas recogidas de aves migratorias en Noruega estaban infectadas por *B. burgdorferi* s.l., al igual que las garrapatas recogidas en aves paseriformes como mirlos (13,6% de las ninfas y el 8,1% de larvas estaban infectadas por *B. burgdorferi* s.l.). En ambos casos, *B. garinii* fue la bacteria más prevalente. En España también se han encontrado estas evidencias. Palomar *et al.* (2012) encontraron que el 13% de las garrapatas de *I. ricinus*

retiradas de paseriformes estaban infectadas por *B. burgdorferi* s.l., y en concreto por *B. garinii*, *B. valaisiana* y *B. afzelii*.

3. 4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

Una vez conocidos los factores de riesgo y los que pueden afectar a la distribución y expansión del patógeno y de la enfermedad, en relación con el cambio climático, se pueden poner y recomendar medidas de prevención acordes a su epidemiología (Tabla 5).

A priori, se necesitan saber los factores de riesgo que agravan los efectos del cambio climático sobre la sanidad humana, como es el envejecimiento poblacional (quienes son más susceptibles y vulnerables ante cualquier patógeno), los movimientos de personas y las enfermedades cronicadas (Ogden y Gachon, 2019). Por ello, ya existen proyectos para crear ambientes saludables como estrategia para paliar los efectos del cambio climático (OMS, 2019).

La mejor forma de no contraer la enfermedad es evitar el contacto con las garrapatas y su picadura a través de medidas preventivas. Básicamente, si se visita un área natural donde hay una alta abundancia de garrapatas y una alta incidencia de enfermedades transmitidas por ellas, es conveniente **vestirse** adecuadamente (utilizar ropa con colores claros, calcetines altos con los pantalones por dentro, manga larga, y sombrero), aplicar **repelentes** (a base de hidrocarbonados clorados, componentes organofosforados, carbamatos, amidinas o piretroides) sobre nosotros mismos y nuestros animales de compañía (Černý *et al.*, 2020) y, **revisarnos** a nosotros mismo y a nuestros animales tras visitar la zona.

Respecto a los insecticidas y repelentes, cabe mencionar que se pueden producir resistencias y reducir el efecto que estos producen (Semenza y Paz, 2021). Por lo que las recomendaciones siempre se dirigen hacia una menor exposición al vector.

Hay que tener en cuenta los reservorios de las garrapatas, en los animales silvestres grandes y pequeños. Se deberían de hacer planes ambientales que incluyan tratamientos de fauna salvaje, en especial de roedores ya que son los principales reservorios (Černý *et al.*, 2020). Estos tratamientos permitirían aliviar la carga parasitaria. Se pueden instalar desde comederos con rodillos para facilitar la desparasitación mecánica o química (Stafford *et al.*, 2009), la colocación de algodones impregnados con insecticidas en nidos (Piesman, 2006), o el control poblacional de los principales reservorios (Hinckley *et al.*, 2021; Piesman, 2006).

Aunque este trabajo se centra en el cambio climático y los efectos que ocasiona sobre la enfermedad, los vectores y los hospedadores, es necesario tener presente su combinación con la acción antropogénica y el efecto que esta puede causar. Por ejemplo, en el presente siglo, han aumentado los vuelos internacionales y la presencia de turistas en sitios donde hay vectores competentes (Semenza y Paz, 2021). Esto supone la dispersión de enfermedades endémicas a nuevas zonas, llegando en ocasiones a pandemias. También, las actividades lúdicas en plena naturaleza y estar en contacto con animales salvajes aumenta el riesgo de contraer enfermedades emergentes no controladas.

Finalmente, cabe mencionar que se necesitan más estudios sobre enfermedades emergentes y vectoriales. Desde un enfoque de *“One-Health”* (Una-Sola-Salud) es necesario saber cómo afectan estas enfermedades a nivel ambiental, humano y animal. Blindar la sanidad humana contribuye en parte a frenar este tipo de enfermedades, sin olvidar la sanidad animal. Por ello, se requiere más concienciación y asumir más responsabilidad tanto a nivel médico como ciudadano de la importancia de estas enfermedades. También es relevante conocer y predecir los efectos del cambio climático en el futuro gracias al desarrollo de modelos predictivos. De esta forma, se podrán prevenir con antelación y realizar planes de gestión para afrontar esos retos que afectan a una sola salud de acuerdo con las necesidades del mañana.

Tabla 5.- Resumen de los factores de riesgo y su medida de prevención.

FACTORES DE RIESGO	PREVENCIÓN
Cambio climático: <ul style="list-style-type: none">• Cambios en la distribución del hospedador• Expansión a nuevas zonas de las garrapatas	<ul style="list-style-type: none">• Reducir la huella humana (reducir emisiones).• Reducir el consumo energético, fósil, etc.
Actividades antropogénicas: <ul style="list-style-type: none">• Vuelos internacionales• Actividades en la naturaleza	<ul style="list-style-type: none">• Tomar conciencia de las enfermedades en cada zona a visitar.• Medidas personales de protección.• Revisar la piel en busca de garrapatas.
Animales silvestres como reservorio	<ul style="list-style-type: none">• Evitar el contacto con animales silvestres.• Controlar las poblaciones que actúan como reservorio de garrapatas.• Desarrollar proyectos y medidas de control y gestión de las poblaciones silvestres desde las Administraciones Públicas.• Desparasitación de pequeños vertebrados.
Medicina clínica/veterinaria	<ul style="list-style-type: none">• Investigación multidisciplinar sobre la epidemiología de la enfermedad de Lyme y el resto de las enfermedades emergentes de interés para la salud pública y animal.• Proteger a la población más susceptible y vulnerable (ancianos y niños).• Campañas informativas hacia sanitarios y veterinarios.

4.- CONCLUSIONES

- La incidencia de la enfermedad de Lyme está en aumento desde los últimos 20 años, aumentando el número de nuevos casos en humanos en nuevas zonas.
- Bajo el concepto “*One-Health*” o Una-Sola-Salud (la salud humana, animal y ambiental están enlazadas), podemos entender el contexto de la EL ordenando y clasificando los factores que le influyen en el **ambiente**, el **vector** y los **hospedadores**.
- El **cambio climático** afecta directamente a la supervivencia, al desarrollo y a la reproducción de las **garrapatas** (vector transmisor del patógeno causal). También afecta directamente a la abundancia, a la migración, a la distribución y a la diversidad de las especies de **hospedadores**.
- Las garrapatas son sensibles a las bajas temperaturas (por debajo de 4°C) y a la sequedad (por debajo de 80% de HR). Las garrapatas necesitan un **microclima** concreto (temperatura, humedad y cobertura vegetal) para sobrevivir, desarrollarse y buscar hospedador/es. La distribución de las garrapatas es lo que más va a condicionar la distribución del patógeno; y a su vez, la distribución de la garrapata va a estar marcada por la distribución del hospedador.
- Las garrapatas presentan una **estacionalidad**, tienen picos de actividad en verano y en otoño. Sin embargo, cada estadio de garrapata tiene un **pico de actividad** diferente. Además, cada estadio tiene preferencia por unas especies concretas de hospedador. Las perturbaciones en el clima y en el hábitat hacen que se solapen los picos de actividad y los hospedadores, haciendo coincidir en el espacio y en el tiempo los tres estadios de desarrollo.
- La **transmisión** vectorial es horizontal (no hay transmisión transovárica en la garrapata). La larva es la fase más susceptible de adquirir el patógeno al alimentarse por primera vez, y el adulto, el más probable de transmitir el patógeno con su picadura.
- Se ha estimado que la garrapata pasa de media 3-10 días unido al hospedador, según su estadio. Sin embargo, la **transmisión** del patógeno ocurre en las primeras 36 horas de esa unión.
- La temperatura influye en la tasa de **oviposición**, en el periodo de **incubación**, en la tasa de desarrollo de los **huevos** y en el proceso de **muda**.
- No todos los hospedadores de garrapatas desarrollan la enfermedad de Lyme. Los roedores y muchas otras especies salvajes son grandes **reservorios** de la bacteria *Borrelia* spp. y de otras muchas enfermedades zoonóticas.
- Hay diferentes tipos de hospedadores que influyen en la abundancia de las garrapatas y en la prevalencia de la bacteria en las garrapatas. Por ello, es importante la **biodiversidad** o riqueza de especies, las cuales se ven afectadas por el cambio climático.

- El cambio climático ha alterado las **rutas migratorias** de algunas especies de aves haciendo que migren a destiempo y por nuevas zonas. Estas aves transportan múltiples ectoparásitos que son vectores de enfermedades infecciosas. Además, también ha afectado a la **distribución** de los hospedadores de garrapatas.
- El **factor antropogénico** también es importante para la distribución de la EL. Los vuelos internacionales y el turismo en zonas donde abundan artrópodos vectoriales de enfermedades, además del envejecimiento de la población y otros muchos factores, influyen notoriamente en la incidencia de esta enfermedad.
- La mayor **prevención** de la EL es evitar la exposición y la picadura de garrapatas, usando repelentes y medidas personales de protección.

CONCLUSIONS

- The incidence of Lyme disease has increased for the past 20 years. In addition, new cases are being reported in new areas.
- We can understand the context of EL under the concept of “One-Health” (human, animal and environmental health are linked), by placing order and classifying the factors that may affect the **environment**, the **vector**, and the **hosts**.
- Climate change directly affects the survival, development, and reproduction of **ticks** (transmitting vector of the causal pathogen). It also directly affects the abundance, migration, distribution, and diversity of **host** species.
- Ticks are sensitive to low temperatures (below 4°C) and dryness (below 80% of relative humidity). Ticks need a specific **microclimate** (temperature, humidity, and plant cover) to survive, develop, and search for host(s). Tick distribution is the main factor that limits pathogen distribution. In turn, tick distribution is limited by host distribution.
- Ticks are **seasonal**, they display a peak of activity in summer and autumn. However, each tick stage has a different pattern of activity. In addition, ticks have preference for a specific host species at each stage. Climate and habitat perturbations cause alterations in the peaks of activity and the hosts to overlap, making the three stages of development coincident in space and time.
- Vector **transmission** is horizontal (there is no transovarian transmission in ticks). The larva is the stage with the highest susceptibility to acquire the pathogen when feeding for the first time, and the adult is the stage most likely to transmit the pathogen with its bite.

- It has been estimated that ticks spend 3-10 days, on average, attached to the host, depending on its stage. However, the **transmission** of the pathogen occurs in the first 36 hours.
- Temperature affects the rate of **oviposition**, the **incubation** period, the **development** rate of the eggs and the molting process.
- Not all tick hosts develop Lyme disease. Rodents and many other wildlife are major **reservoirs** for *Borrelia* spp. and many other zoonotic diseases.
- There are different types of hosts that affects tick abundance and bacteria prevalence in ticks. Therefore, enriched **biodiversity** or species is a relevant element that is affected by climate change.
- Climate change has altered the **migratory** routes of some bird species, causing them to migrate at the wrong time and through new areas. These birds carry multiple ectoparasites that are vectors of infectious diseases. In addition, it has also affected the **distribution** of tick hosts.
- The **anthropogenic factor** is also important for the distribution of EL. International flights and tourism in areas displaying abundant arthropod vectors together with the aging of the population and many other factors, significantly influence the incidence of this disease.
- The best **prevention** for the EL is to avoid exposure and tick bites, using repellents and personal protection measures.

5.- VALORACIÓN PERSONAL Y AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo me ha aportado numerosas destrezas. A priori, me ha ayudado a enfocar un problema social y ambiental; ya que eso era mi objetivo a la hora de realizar mi TFG, unificar y complementar mis dos carreras, la biología de conservación y la veterinaria.

Inicialmente, buscaba un tema de parasitología, sin importar la especie. Ya que la parasitología me recuerda a la zoología (por la infinidad de taxones y nomenclaturas) y a la ecología (por los ciclos y las interacciones entre ambiente-hospedador-parásito). Tras hablarlo con Ruth, mi tutora, decidimos enfocar el trabajo y la búsqueda hacia el aumento de casos de Lyme y el cambio climático.

La búsqueda de artículos ha fomentado mi pensamiento crítico, descartando aquellos artículos que no sirvieran o webs poco fiables, al igual que usar y conocer nuevas herramientas de la OMS o de WOAH. La lectura de tantos artículos me ha ayudado a estructurar e hilar todos los pensamientos que iba adquiriendo. También, estas lecturas me han ayudado a redactar (con las correcciones de mi tutora) usando un lenguaje apropiado y empleando palabras técnicas y precisas.

Tras la realización del trabajo, me siento capaz de proseguir con estudios bibliográficos y de plantear nuevos retos sobre la materia para seguir investigando al respecto.

Finalmente, me gustaría acabar este trabajo agradeciendo a mi tutora de TFG (*Ruth Rodríguez Pastor*) su labor, sus correcciones y su paciencia conmigo y mi trabajo. Al igual que, a muchos profesores de la carrera, por motivarme a llegar a donde estoy ahora; a mis padres y mi hermano, por su apoyo y sus mensajes de ánimo; a los creadores de *Sci-Hub* y *Mendeley*, sin sus herramientas este trabajo hubiera sido imposible. También, me gustaría agradecer con todo mi corazón a mi familia de amigos que han sido mi soporte psicológico durante estos cinco años (parte de esos años vía online o con mascarillas).

6.- BIBLIOGRAFÍA

Beckmann, S., Freund, R., Pehl, H., Rodgers, A., y Venegas, T. (2019). Rodent species as possible reservoirs of *Borrelia burgdorferi* in a prairie ecosystem. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 10(5), 1162-1167. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.06.011>

Boeckmann, M., y Joyner, T. A. (2014). Old health risks in new places? An ecological niche model for *I. ricinus* tick distribution in Europe under a changing climate. *Health and Place*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.08.004>

Böhmer, M. M., Ens, K., Böhm, S., Heinzinger, S., y Fingerle, V. (2021). Epidemiological Surveillance of Lyme Borreliosis in Bavaria, Germany, 2013–2020. *Microorganisms*, 9(9), 1872. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091872>

Bregnard, C., Rais, O., y Voordouw, M. J. (2020). Climate and tree seed production predict the abundance of the European Lyme disease vector over a 15-year period. *Parasites and Vectors*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04291-z>

Brellier, F., Pujades-Rodriguez, M., Powell, E., Mudie, K., Mattos Lacerda, E., Nacul, L., y Wing, K. (2022). Incidence of Lyme disease in the United Kingdom and association with fatigue: A population-based, historical cohort study. *PLOS ONE*, 17(3), e0265765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265765>

Buczek, A. M., Buczek, W., Buczek, A., y Bartosik, K. (2020). The potential role of migratory birds in the rapid spread of ticks and tick-borne pathogens in the changing climatic and environmental conditions in Europe. En *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Número 6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17062117>

CDC. (2021). *Signs and Symptoms of Untreated Lyme Disease*. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/lyme/signs_symptoms/index.html

Černý, J., Lynn, G., Hrnková, J., Golovchenko, M., Rudenko, N., y Grubhoffer, L. (2020). Management options for *Ixodes ricinus*-associated pathogens: A review of prevention strategies. En *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Número 6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17061830>

Dantas-Torres, F., y Otranto, D. (2011). Effects of aggregation on the reproductive biology of *Rhipicephalus sanguineus* females. *Experimental and Applied Acarology*, 55(4), 417-423. <https://doi.org/10.1007/s10493-011-9491-z>

Dawe, K. L., y Boutin, S. (2016). Climate change is the primary driver of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) range expansion at the northern extent of its range; land use is secondary. *Ecology and Evolution*, 6(18), 6435-6451. <https://doi.org/10.1002/ece3.2316>

ECDC. (2023). *Tick maps*. European Centre for Disease Prevention and Control. <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps>

Eisen, L. (2018). Pathogen transmission in relation to duration of attachment by *Ixodes scapularis* ticks. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(3), 535-542. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.01.002>

Eisen, L. (2020). Vector competence studies with hard ticks and *Borrelia burgdorferi* sensu lato spirochetes: A review. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11(3), 101359. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.101359>

El-Sayed, A., y Kamel, M. (2020). Climatic changes and their role in emergence and re-emergence of diseases. En *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Número 18). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08896-w>

Escudero-Nieto, R., y Guerrero-Espejo, A. (2005). Enfermedades producidas por *Borrelia*. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 23(4), 232-240. <https://doi.org/10.1157/13073150>

Estrada-Peña, A. (2015). CLASE ARACHNIDA. Orden Ixodida: Las garrapatas. *Ibero Diversidad Entomológica*, 13, 1-15.

Estrada-Peña, A., Cutler, S., Potkonjak, A., Vassier-Tussaut, M., Bortel, W., Zeller, H., Fernández-Ruiz, N., y Mihalca, A. D. (2018). An updated meta-analysis of the distribution and prevalence of *Borrelia burgdorferi* s.l. in ticks in Europe. *International journal of health geographics*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/S12942-018-0163-7>

Estrada-Peña, A., y de la Fuente, J. (2014). The ecology of ticks and epidemiology of tick-borne viral diseases. *Antiviral Research*, 108, 104-128. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2014.05.016>

Estrada-Peña, A., y Fernández-Ruiz, N. (2020). A retrospective assessment of temperature trends in northern europe reveals a deep impact on the life cycle of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Pathogens*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/pathogens9050345>

Gieger, S., y Furmaga, E. (2020). *Borrelia* spp. (Infection with). *World Organization for Animal Health (WOAH)*.

- Gilbert, L. (2021). The Impacts of Climate Change on Ticks and Tick-Borne Disease Risk. En *Annual Review of Entomology* (Vol. 66). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-052720-094533>
- Goren, A., Viljugrein, H., Rivrud, I. M., Jore, S., Bakka, H., Vindenes, Y., y Mysterud, A. (2023). The emergence and shift in seasonality of Lyme borreliosis in Northern Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 290(1993). <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.2420>
- Hansen, K., Crone, C., y Kristoferitsch, W. (2013). Lyme neuroborreliosis. . . *Handbook of clinical neurology*, 115, 559-575. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52902-2.00032-1>
- Hansford, K. M., Wheeler, B. W., Tschirren, B., y Medlock, J. M. (2022). Questing Ixodes ricinus ticks and Borrelia spp. in urban green space across Europe: A review. En *Zoonoses and Public Health* (Vol. 69, Número 3). <https://doi.org/10.1111/zph.12913>
- Harms, M. G., Hofhuis, A., Sprong, H., Bennema, S. C., Ferreira, J. A., Fonville, M., Docters van Leeuwen, A., Assendelft, W. J. J., Van Weert, H. C. P. M., Van Pelt, W., y Van den Wijngaard, C. C. (2021). A single dose of doxycycline after an ixodes ricinus tick bite to prevent Lyme borreliosis: An open-label randomized controlled trial. *The Journal of infection*, 82(1), 98-104. <https://doi.org/10.1016/J.JINF.2020.06.032>
- Hinckley, A. F., Niesobecki, S. A., Connally, N. P., Hook, S. A., Biggerstaff, B. J., Horiuchi, K. A., Hojgaard, A., Mead, P. S., y Meek, J. I. (2021). Prevention of Lyme and other tickborne diseases using a rodent-targeted approach: A randomized controlled trial in Connecticut. *Zoonoses and Public Health*, 68(6), 578-587. <https://doi.org/10.1111/zph.12844>
- Hofmeester, T. R., Sprong, H., Jansen, P. A., Prins, H. H. T., y Van Wieren, S. E. (2017). Deer presence rather than abundance determines the population density of the sheep tick, Ixodes ricinus, in Dutch forests. *Parasites and Vectors*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2370-7>
- Hussain, S., Hussain, A., Aziz, U., Song, B., Zeb, J., George, D., Li, J., y Sparagano, O. (2021). The Role of Ticks in the Emergence of Borrelia burgdorferi as a Zoonotic Pathogen and Its Vector Control: A Global Systemic Review. *Microorganisms*, 9(12), 2412. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122412>
- Jepsen, M. T., Jokelainen, P., Jore, S., Boman, A., Slunge, D., y Kroghfelt, K. A. (2019). Protective practices against tick bites in Denmark, Norway and Sweden: A questionnaire-based study. *BMC Public Health*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7613-4>

Jore, S., Vanwambeke, S. O., Viljugrein, H., Isaksen, K., Kristoffersen, A. B., Woldehiwet, Z., Johansen, B., Brun, E., Brun-Hansen, H., Westermann, S., Larsen, I. L., Ytrehus, B., y Hofshagen, M. (2014). Climate and environmental change drives *Ixodes ricinus* geographical expansion at the northern range margin. *Parasites and Vectors*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-11>

Kahl, O., y Gray, J. S. (2023). The biology of *Ixodes ricinus* with emphasis on its ecology. *Ticks and tick-borne diseases*, 14(2). <https://doi.org/10.1016/J.TTBDIS.2022.102114>

Kjelland, V., Stuen, S., Skarpaas, T., y Slettan, A. (2010). *Borrelia burgdorferi* sensu lato in *Ixodes ricinus* ticks collected from migratory birds in Southern Norway. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 52(1). <https://doi.org/10.1186/1751-0147-52-59>

Kocoń, A., Nowak-Chmura, M., Asman, M., y Kłyś, M. (2023). Review of ticks attacking domestic dogs and cats, and their epidemiological role in the transmission of tick-borne pathogens in Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 30(1), 22-30. <https://doi.org/10.26444/aaem/161552>

Lemoine, M., Cornetti, L., Reeh, K., y Tschirren, B. (2022). Tick range expansion to higher elevations: does *Borrelia burgdorferi* sensu lato facilitate the colonisation of marginal habitats? *BMC Ecology and Evolution*, 22(1), 104. <https://doi.org/10.1186/s12862-022-02058-x>

Lesiczka, P. M., Rudenko, N., Golovchenko, M., Juránková, J., Daněk, O., Modrý, D., y Hrazdilová, K. (2023). Red fox (*Vulpes vulpes*) play an important role in the propagation of tick-borne pathogens. *Ticks and tick-borne diseases*, 14(1). <https://doi.org/10.1016/J.TTBDIS.2022.102076>

Levi, T., Kilpatrick, A. M., Mangel, M., y Wilmers, C. C. (2012). Deer, predators, and the emergence of Lyme disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(27). <https://doi.org/10.1073/pnas.1204536109>

Lindgren, E., y Jaenson, T. G. T. (2006). *Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures*. <http://www.euro.who.int/pubrequest>

Maiero, M., y Wyns, A. (2017). *Worldwide health risks related to climate change are on the rise*. World Health Organization. <https://www.who.int/news/item/11-11-2017-worldwide-health-risks-related-to-climate-change-are-on-the-rise>

Mannelli, A., Bertolotti, L., Gern, L., y Gray, J. (2012). Ecology of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Europe: Transmission dynamics in multi-host systems, influence of molecular processes and

effects of climate change. En *FEMS Microbiology Reviews* (Vol. 36, Número 4). <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00312.x>

Mead, P. S. (2015). Epidemiology of Lyme disease. *Infectious disease clinics of North America*, 29(2), 187-210. <https://doi.org/10.1016/J.IDC.2015.02.010>

Newman, E. A., Eisen, L., Eisen, R. J., Fedorova, N., Hasty, J. M., Vaughn, C., y Lane, R. S. (2015). *Borrelia burgdorferi sensu lato Spirochetes in Wild Birds in Northwestern California: Associations with Ecological Factors, Bird Behavior and Tick Infestation*. *PLOS ONE*, 10(2), e0118146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118146>

Ogden, N., y Gachon, P. (2019). Climate change and infectious diseases: What can we expect? *Canada Communicable Disease Report*, 45(4). <https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a01>

OMS. (2019). *Salud, medio ambiente y cambio climático*. <https://www.paho.org/es/documentos/ams7215-salud-medio-ambiente-cambio-climatico-2019>

OMS. (2020a). *Enfermedades transmitidas por vectores*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

OMS. (2020b). *Enfermedades transmitidas por vectores*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

Oppler, Z. J., O'Keeffe, K. R., McCoy, K. D., y Brisson, D. (2022). Evolutionary Genetics of *Borrelia*. *Current Issues in Molecular Biology*, 97-112. <https://doi.org/10.21775/cimb.042.097>

Ostfeld, R. S., y Keesing, F. (2000). Biodiversity and disease risk: The case of Lyme disease. *Conservation Biology*, 14(3), 722-728. <https://doi.org/10.1046/J.1523-1739.2000.99014.X>

Otranto, D., Dantas-Torres, F., y Santos-Silva, M. M. (2018). *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758). En A. Estrada-Peña, A. D. Mihalca, y T. N. Petney (Eds.), *Ticks of Europe and North Africa: A Guide to Species Identification*. Springer International Publishing.

Palomar, A. M., Portillo, A., Santibáñez, P., Santibáñez, S., García-álvarez, L., y Oteo, J. A. (2012). Genetic characterization of *Candidatus Rickettsia vini*, a new rickettsia amplified in ticks from La Rioja, Spain. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 3(5-6). <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.10.025>

Parry, N. (2016). Canine borreliosis: epidemiology, pathogenesis, clinical signs, and diagnostics. *Companion Animal*, 21(6). <https://doi.org/10.12968/coan.2016.21.6.323>

Perkins, S. E., Cattadori, I. M., Tagliapietra, V., Rizzoli, A. P., y Hudson, P. J. (2006). Localized deer absence leads to tick amplification. *Ecology*, 87(8), 1981-1986. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16937637/>

Piesman, J. (2006). Strategies for reducing the risk of Lyme borreliosis in North America. *International Journal of Medical Microbiology*, 296, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2005.11.007>

Pollock, N. B., Vredevoe, L. K., y Taylor, E. N. (2012). How do host sex and reproductive state affect host preference and feeding duration of ticks? *Parasitology Research*, 111(2). <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2916-8>

Ratti, V., Winter, J. M., y Wallace, D. I. (2021). Dilution and amplification effects in Lyme disease: Modeling the effects of reservoir-incompetent hosts on *Borrelia burgdorferi sensu stricto* transmission. *Ticks and tick-borne diseases*, 12(4). <https://doi.org/10.1016/J.TTBDIS.2021.101724>

Rebollo Garcia, L., Rincón Elvira, E. E., León Gómez, V. E., y García Murciego, M. E. G. (2021). Las enfermedades emergentes y reemergentes del siglo XXI. *SANUM*, 5(1), 48-61. https://revistacientificasanum.com/pdf/sanum_v5_n1_a7.pdf

Rizzoli, A., Silaghi, C., Obiegala, A., Rudolf, I., Hubálek, Z., Földvári, G., Plantard, O., Vayssier-Taussat, M., Bonnet, S., Špitalská, E., y Kazimírová, M. (2014). *Ixodes ricinus* and its transmitted pathogens in urban and peri-urban areas in Europe: New hazards and relevance for public health. En *Frontiers in Public Health* (Vol. 2, Número DEC). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00251>

Roy-Dufresne, E., Logan, T., Simon, J. A., Chmura, G. L., y Millien, V. (2013). Poleward Expansion of the White-Footed Mouse (*Peromyscus leucopus*) under Climate Change: Implications for the Spread of Lyme Disease. *PLoS ONE*, 8(11), e80724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080724>

Ruiz-Fons, F., Acevedo, P., Sobrino, R., Vicente, J., Fierro, Y., y Fernández-de-Mera, I. G. (2013). Sex-biased differences in the effects of host individual, host population and environmental traits driving tick parasitism in red deer. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 4(JUN). <https://doi.org/10.3389/fcimb.2013.00023>

Saleh, M. N., Allen, K. E., Lineberry, M. W., Little, S. E., y Reichard, M. V. (2021). Ticks infesting dogs and cats in North America: Biology, geographic distribution, and pathogen transmission. *Veterinary Parasitology*, 294, 109392. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109392>

Semenza, J. C., y Paz, S. (2021). Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. *The Lancet Regional Health - Europe*, 9, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2021.100230>

Skotarczak, B., Wodecka, B., Rymaszewska, A., Sawczuk, M., Maciejewska, A., Adamska, M., Hermanowska-Szpakowicz, T., y Świerzbińska, R. (2005). Prevalence of DNA and antibodies to *Borrelia burgdorferi sensu lato* in dogs suspected of borreliosis. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 12(2).

Skufca, J., De Smedt, N., Pilz, A., Vyse, A., Begier, E., Blum, M., Riera, M., Gessner, B. D., y Stark, J. H. (2023). Incidence of Lyme Borreliosis in Finland: Exploring Observed Trends Over Time Using Public Surveillance Data, 2015–2020. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 23(4), 256-264. <https://doi.org/10.1089/vbz.2022.0047>

Skufca, J., Tran, T. M. P., Brestrich, G., Pilz, A., Vyse, A., Malerczyk, C., Dzingina, M., Begier, E., Blum, M., Riera-Montes, M., Gessner, B. D., y Stark, J. H. (2023). Incidence of Lyme Borreliosis in Germany: Exploring Observed Trends Over Time Using Public Surveillance Data, 2016–2020. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 23(4), 237-246. <https://doi.org/10.1089/vbz.2022.0046>

Sprong, H., Moonen, S., van Wieren, S. E., y Hofmeester, T. R. (2020). Effects of cattle grazing on *Ixodes ricinus*-borne disease risk in forest areas of the Netherlands. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11(2), 101355. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.101355>

Stafford, K. C., Denicola, A. J., Pound, J. M., Miller, J. A., y George, J. E. (2009). Topical Treatment of White-Tailed Deer with an Acaricide for the Control of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in a Connecticut Lyme Borreliosis Hyperendemic Community. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 9(4), 371-379. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0161>

Stone, B. L., Tourand, Y., y Brissette, C. A. (2017). Brave New Worlds: The Expanding Universe of Lyme Disease. *Vector borne and zoonotic diseases*, 17(9), 619-629. <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2127>

Suárez Larreinaga, C. L., y Berdasquera Corcho, D. (2000). Enfermedades emergentes y reemergentes: Factores causales y vigilancia. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 16(6).

Süss, J., Klaus, C., Gerstengarbe, F. W., y Werner, P. C. (2008). What makes ticks tick? Climate change, ticks, and tick-borne diseases. *Journal of travel medicine*, 15(1), 39-45. <https://doi.org/10.1111/J.1708-8305.2007.00176.X>

Sutton, D., y Spry, C. (2019). One Dose of Doxycycline for the Prevention of Lyme Disease: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines. *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31449366/>

Tagliapietra, V., Rosà, R., Arnoldi, D., Cagnacci, F., Capelli, G., Montarsi, F., Hauffe, H. C., y Rizzoli, A. (2011). Saturation deficit and deer density affect questing activity and local abundance of *Ixodes ricinus* (Acari, Ixodidae) in Italy. *Veterinary Parasitology*, 183(1-2), 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.07.022>

Teodorowicz, P., y Weiner, M. (2022). Importance of ticks in the transmission of selected bacterial pathogens of human diseases. *Health Problems of Civilization*, 16(1), 5-14. <https://doi.org/10.5114/hpc.2022.113599>

Voyiatzaki, C., Papailia, S. I., Venetikou, M. S., Pouris, J., Tsoumani, M. E., y Papageorgiou, E. G. (2022). Climate Changes Exacerbate the Spread of *Ixodes ricinus* and the Occurrence of Lyme Borreliosis and Tick-Borne Encephalitis in Europe—How Climate Models Are Used as a Risk Assessment Approach for Tick-Borne Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6516. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116516>

WOAH. (2023). *One Health*. World Organization for Animal Health. <https://www.woah.org/en/what-we-do/global-initiatives/one-health/>