



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Enfermedades infecciosas en la ganadería española

Alumno: Marina Morago Martínez

Julio, 2022



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de Ciencias Experimentales

GRADO EN BIOLOGÍA

Trabajo Fin de Grado

ENFERMEDADES INFECCIOSAS EN LA GANADERÍA ESPAÑOLA

Marina Morago Martínez

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser la del autor, Marina Morago Martínez. La firma es fluida y estilizada, con varias líneas que se cruzan y una larga horizontal final.

Jaén, Julio de 2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad de Jaén su gran acogida desde el primer día, la oportunidad que me ha ofrecido y su confianza al valorar mi perfil académico, entre muchas otras cosas.

Doy las gracias a todos y cada uno de los profesores del grado de biología, por su gran implicación, dedicación y vocación por la docencia. Especialmente, quiero agradecer su entrega para ayudar a fomentar el desarrollo de mi curiosidad.

En particular, gracias a mi tutor del TFG, y especialmente, a mi cotutor, por guiarme y aconsejarme en este trabajo, por su ánimo y apoyo constante y por valorar en todo momento mi implicación.

Gracias a mis padres y a mis hermanos, por ayudarme a no dudar de mis aptitudes, por confiar en mí y valorar mi capacidad desde el principio hasta el final.

Agradecida también por el apoyo de mis amigos, por acompañarme en este camino durante 4 años y por su paciencia en los momentos más complicados.

Pero en especial, gracias a todos mis amigos de Bolonia, mi ciudad de Erasmus, que han sido quienes me han acompañado en esta etapa del proyecto y han sido parte de la fuerza que he necesitado para elaborar este trabajo, sin duda habéis sido lo mejor de este año. Gracias por los viajes, las fiestas, los "aperitivi", las pequeñas charlas, por el día a día, y por sacarme siempre una sonrisa cuando estaba agobiada. Sin vosotros esta experiencia no habría sido lo mismo, os echaré de menos.

RESUMEN

Las enfermedades infecciosas afectan a una amplia variedad de especies, incluyendo el ser humano, provocando un efecto considerable en la salud pública e importantes pérdidas económicas, suponiendo una grave limitación para el comercio, tanto nacional como internacional. La presente monografía resume el conocimiento actual de ambas enfermedades, tuberculosis y brucelosis, en el ganado bovino en cuanto a su transmisión, diagnóstico, sintomatología y las medidas de prevención y control. Además, se detalla cómo afectan a la salud pública y economía, así como su evolución a lo largo de las últimas décadas en España. Los programas nacionales de control y erradicación han conseguido establecer al país como oficialmente libre de Brucelosis bovina; en cambio, la Tuberculosis bovina aún sigue presente en la península ibérica y, actualmente se trabaja sin límites para reducir dicha enfermedad, así como todas las consecuencias que conlleva.

Palabras clave: Tuberculosis, brucelosis, ganadería, España, bovino/porcino/ovino/caprino, diagnostico, transmisión, epidemiología.

ABSTRACT

Infectious diseases affect a wide range of species, including humans, causing a considerable impact on public health and significant economic losses, and a serious constraint to trade, both nationally and internationally. This monograph summarises the current knowledge of both diseases, tuberculosis and brucellosis, in cattle in terms of their transmission, diagnosis, symptomatology and prevention and control measures. It also details how they affect public health and the economy, as well as their evolution over the last decades in Spain. The national control and eradication programmes have managed to establish the country as officially free of bovine brucellosis; however, bovine tuberculosis is still present in the Iberian Peninsula and, at present, work is being carried out without limits to reduce this disease, as well as all the consequences that it entails.

Keywords: Tuberculosis, brucellosis, cattle, Spain, bovine/porcine/sheep/goat, diagnosis, transmission, epidemiology.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La ganadería.	1
1.2. El sector ganadero a nivel global.....	2
1.3. El sector ganadero a nivel nacional.....	3
1.4. Enfermedades que afectan al ganado.	7
1.5. Enfermedades bacterianas del sector bovino en España.	9
1.5.1. Brucelosis.....	11
1.5.2. Tuberculosis.....	12
2. OBJETIVOS	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. Transmisión	15
4.2. Diagnóstico	18
4.3. Sintomatología.....	19
4.4. Medidas de control y prevención.....	20
4.5. Salud pública	21
4.6. Impacto económico.....	23
4.7. Situación epidemiológica en España	24
5. CONCLUSIONES	30
6. BIBLIOGRAFÍA.	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La ganadería.

El ser humano ha dependido de la producción animal desde hace muchos años debido a las necesidades alimenticias existentes y, la transición en su modo de vida, de nómada a sedentario, dio lugar a la ganadería, que surgió como una evolución de la caza. Sus inicios se desarrollan en el neolítico, una de las etapas más determinantes de la historia y, hoy día, tiene una gran relevancia tanto para el hombre como para los bienes y servicios de un país (Cabia D., 2020).

La ganadería basada en pastos genera ingresos en aquellas regiones con recursos limitados y es clave para la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, los costos derivados de la lucha contra las enfermedades pueden marcar la diferencia entre la ganancia y la pérdida de dichos ingresos. Se estima un lucro cesante en la explotación, en su mayor parte debido al sacrificio animal, sustitución del animal sacrificado y la necesidad de inmovilizar el resto del rebaño (Pérez R. et al., 2020).

Así, la ganadería se define como la actividad del sector primario encargada del manejo, explotación y comercio de animales domésticos con fines de producción para el consumo humano (FAO, 2022).

España cuenta con grandes áreas donde se desarrollan principalmente el ganado bovino que comprende vacas, toros y bueyes; el ganado porcino, el ovino y, en menor medida, el ganado caprino. Desde la antigüedad, el país ha desarrollado razas de ganado que se adaptan a la diversidad climática, la diversidad topográfica y los diferentes sistemas de manejo de su rebaño. Junto con la herencia genética de la raza, estos rasgos determinan linajes raciales numerosos, específicos y únicos (MMA, 2008).

Para entender mejor la importancia de este sector es necesario hacer un recuento numérico tanto a nivel mundial y europeo como nacional.

1.2. El sector ganadero a nivel global.

La población mundial de ganado está creciendo rápidamente para satisfacer la creciente demanda de carne y productos lácteos de la población humana en expansión. Por lo general, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura refleja el incremento progresivo, en número de cabezas, de ganado a escala internacional, a excepción del sector porcino, que sufrió una notable depresión en el año 2019 (FAO, 2022) [Figura 1].

Población mundial de ganado

(millones de cabezas, 2010-2020)

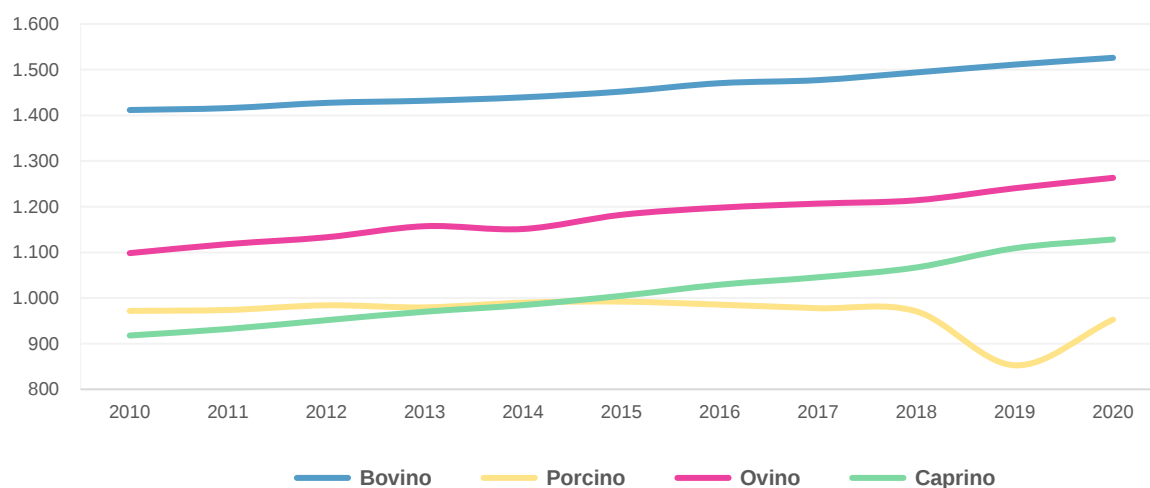


Figura 1. Población mundial de ganado en los últimos 10 años. Fuente: elaboración propia.

A nivel europeo, en los últimos 20 años, los censos ganaderos se han visto reducidos casi un 10%, recalcando el ganado ovino como el mayor afectado (Rodríguez J.A. et al., 2022). Sin embargo, las últimas actualizaciones reflejan que España es el primer productor de ganado porcino, ovino y caprino, siendo Francia el mayor productor de ganado bovino (Eurostat, 2021) [Figura 2].

Población de ganado en la UE

(millones de cabezas, 2021)

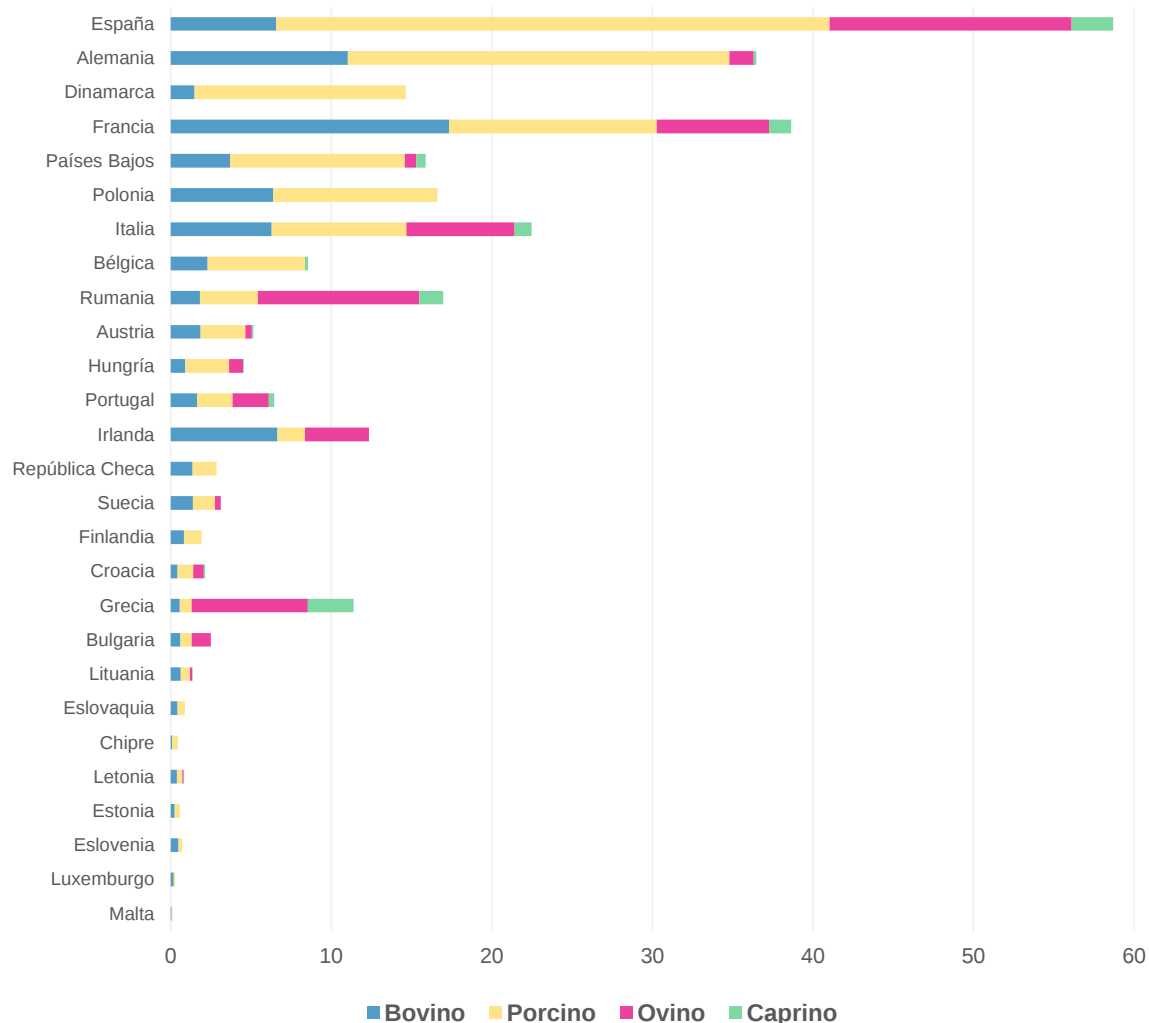


Figura 2. Población ganadera de diferentes tipos de ganado en millones de cabezas de los diferentes países europeos. Fuente: Elaboración propia.

1.3. El sector ganadero a nivel nacional.

Según datos obtenidos del INE, la península ibérica, en cuanto a número de hectáreas dedicadas a explotación ganadera se refiere, ocupa el cuarto puesto, situada por detrás de Rumania, Italia, y Polonia, (INE, 2019), y en particular, ocupa más de 25.000.000 de hectáreas, repartidas por cada una de sus regiones. Por ello, podríamos decir que la ganadería, en España, presenta unos datos que demuestran que el sector está vivo y en continuo crecimiento.

Del total de la producción agraria española, casi un 40% corresponde al sector animal, que no ha cesado de crecer en los últimos años, pues corresponde a un país desarrollado en el que las proteínas animales desempeñan un importante papel en la dieta alimenticia de la población (IGN, 2022).

Además, cabe destacar que, en las últimas dos décadas, la ganadería española se ha visto parcialmente aumentada en el sector porcino en contraposición con el sector ovino, el cual se ha visto disminuido como consecuencia del aumento de los costes de producción y descenso del valor de las primas en el sector (MAPA, 2012). Sin embargo, tanto el sector bovino como el caprino se han mantenido estables durante dicho periodo [Figura 3].

Población de ganado en España

(millones de cabezas, 2002-2020)

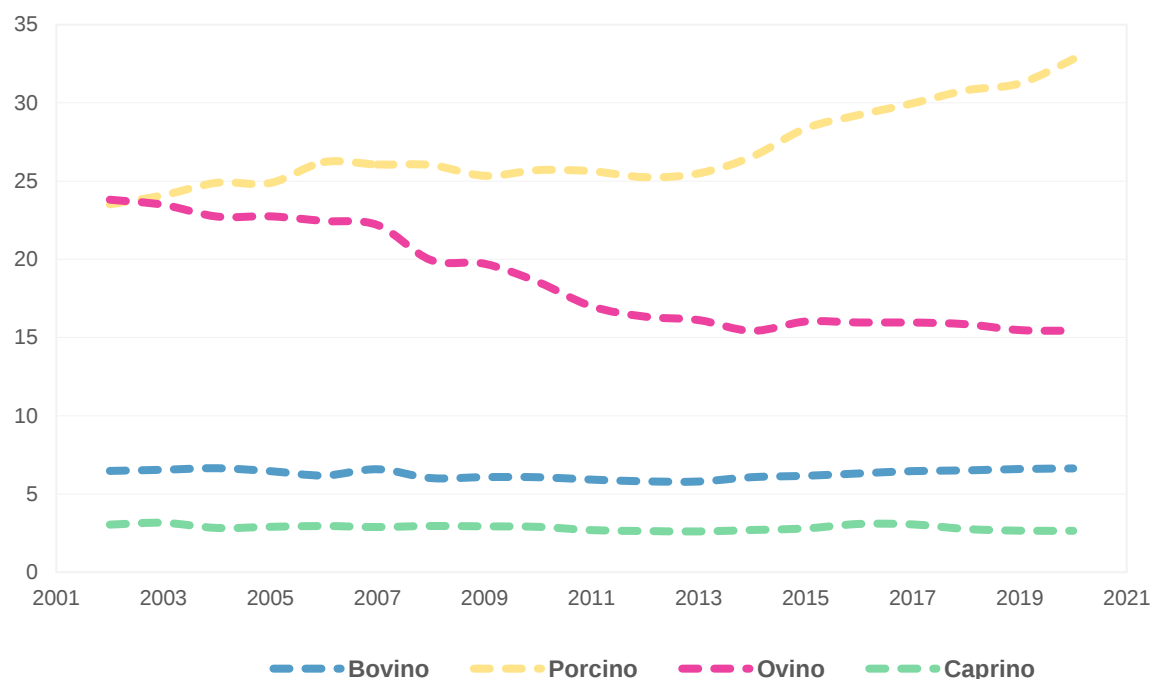


Figura 3. Evolución en los últimos 20 años de la ganadería en España. Fuente: Elaboración propia.

Las últimas actualizaciones reflejan que el ganado porcino es el sector que se ha desarrollado con un mayor auge con cifras cercanas a 34,5 millones de individuos [figura 4], entre los cuales, el territorio aragonés cuenta con más de 9 millones [figura 5]. En segundo lugar, el sector ovino, a pesar de su decadencia en los últimos años, cuenta con 15 millones de sujetos [figura 4], destacando Extremadura con casi 4

millones [figura 6]. En cuanto al sector bovino, a nivel nacional, se calcula que hay casi 7 millones [figura 4], destacando Castilla y León a nivel autonómico con 1,5 millones de ejemplares [figura 7]. Por último, el sector con menor valor numérico es el caprino con casi 3 millones de especies [figura 4], con predominio por parte de la comunidad andaluza con casi 1 millón de individuos [figura 8] (MAPA, 2020).

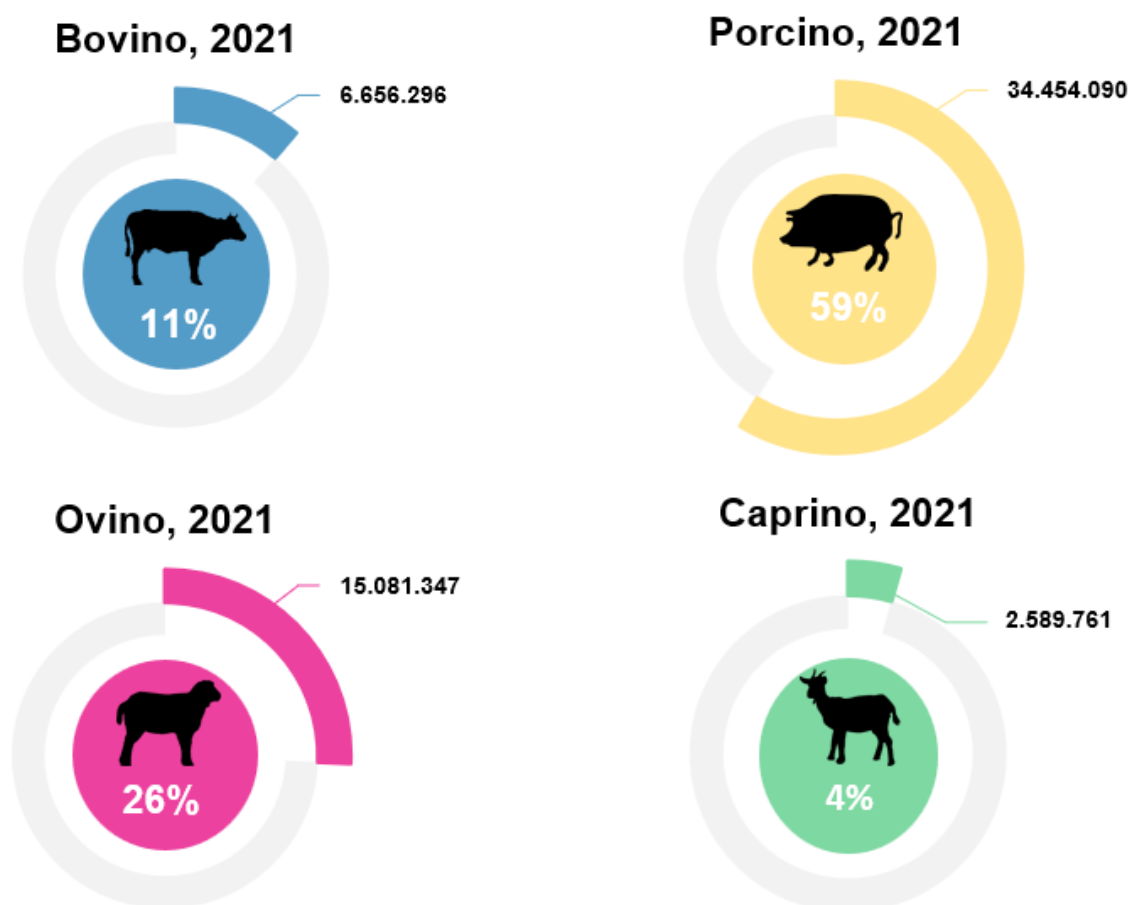


Figura 4. Número de individuos y porcentaje en los diferentes tipos de ganado a nivel nacional, año 2021. Fuente: Elaboración propia.

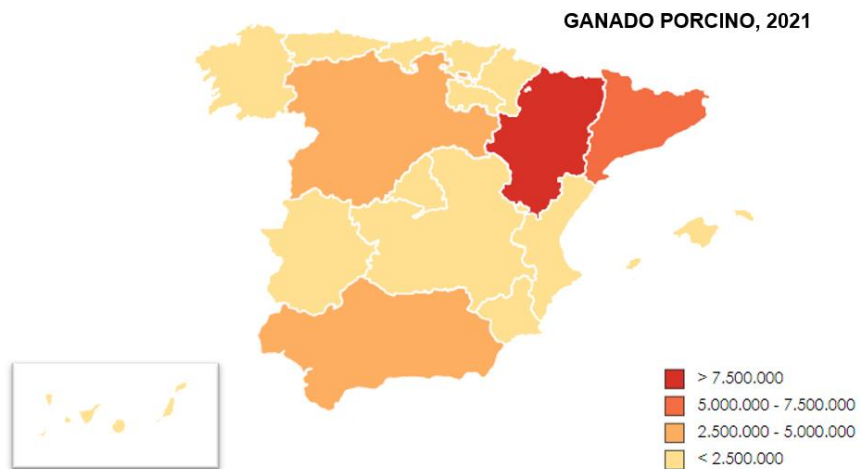


Figura 5. Distribución del ganado porcino en España, año 2021 Fuente: Elaboración propia.

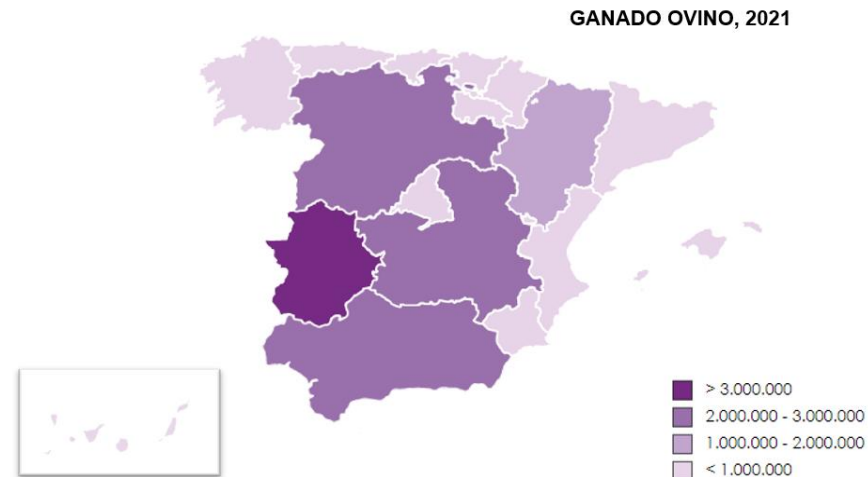


Figura 6. Distribución del ganado ovino en España año 2021. Fuente: Elaboración propia.

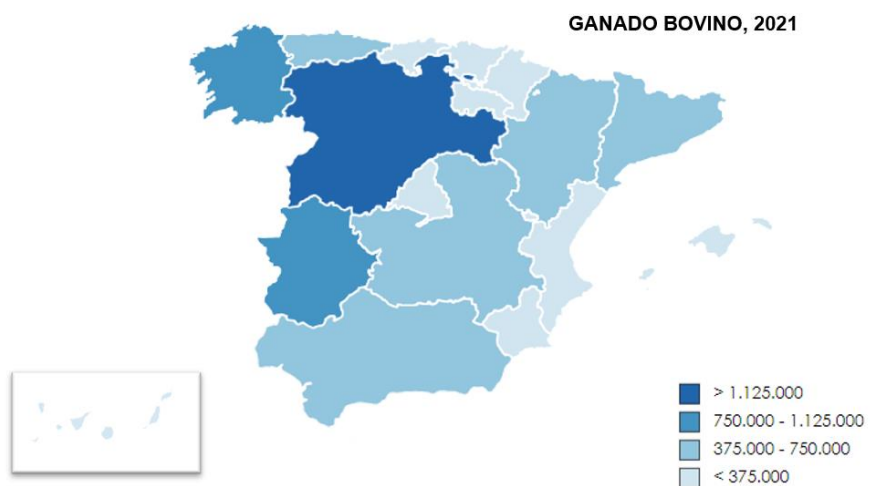


Figura 7. Distribución del ganado bovino, en España año 2021. Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Distribución del ganado caprino en España, año 2021. Fuente: Elaboración propia.

1.4. Enfermedades que afectan al ganado.

En el sistema ganadero español existen diversas enfermedades infecciosas de gran relevancia, no solo en el ámbito sanitario sino también en los aspectos económicos. Dichas afecciones son, también, importantes a nivel mundial, tanto en términos de impacto directo en la salud humana y animal como en su relación con los medios de subsistencia de las comunidades agrícolas, ya que afectan a la generación de ingresos y la seguridad alimentaria (Gebreyes W. et al., 2020).

Las enfermedades infecciosas representan un desafío persistente para la industria ganadera. La detección temprana de dichas enfermedades se logra revisando los animales de forma constante, para advertir signos y síntomas no comunes en los animales sanos (Brooks-Pollock E. et al., 2015).

El costo de los brotes de patógenos zoonóticos emergentes transmitidos por vectores puede ser mucho menor si se detectan temprano en el vector o en el ganado en lugar de más tarde en los humanos (Zinsstag J. et al., 2018). Por lo tanto, la vigilancia comunitaria integrada es una vía prometedora para reducir los costos provocados por las zoonosis con potencial pandémico (Heymann D. L. y Dixon M., 2013).

Una de las principales motivaciones para que los países notifiquen y controlen las amenazas infecciosas, es el comercio internacional, ya que perder el estatus de “libre de enfermedades” puede tener importantes consecuencias económicas. Existen numerosas enfermedades en animales salvajes que pueden tener un alto impacto en la sanidad del ganado y la salud pública y, por ende, pueden afectar negativamente a la conservación de la fauna silvestre. La Organización Mundial de la Sanidad Animal (OMSA) ha llevado a cabo una lista de enfermedades de declaración obligatoria (EDO) que incluye 32 enfermedades que afectan al ganado, diferenciando entre bovino, porcino y ovino y caprino, siendo el primero el sector más afectado, con un porcentaje del 44%, seguido de los pequeños rumiantes (38%) y en última instancia, con un 19%, el ganado porcino [figura 9] (OMSA, 2022).

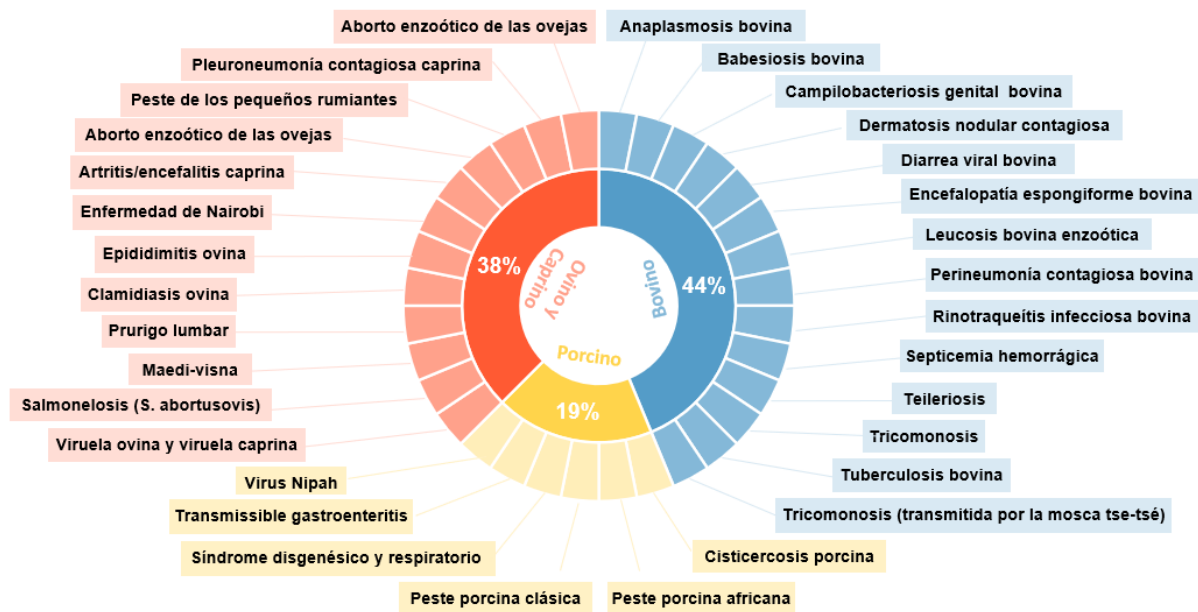


Figura 9. Enfermedades de Declaración Obligatoria (EDOs), año 2021. Fuente: Elaboración propia.

Desde un punto de vista oficial, las EDOs se caracterizan por ser enfermedades que, por sus cualidades, por ejemplo, ser especialmente graves, tener poder zoonótico, tener una alta fuerza de propagación y/o tener graves consecuencias para los países afectados, están sometidos a una comunicación obligatoria ante cualquier sospecha o confirmación en menos de 24 horas al resto de los países a través de los sistemas de información de las redes de vigilancia epidemiológica. Estos sistemas de información son: en España, la Red de Alerta Sanitaria Veterinaria (RASVE); en la Unión Europea (UE), el Animal Disease Notification System (ADNS) y en la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE), el World Animal Information System (WAHIS). Para evitar la repercusión de estas enfermedades, lo ideal es evitar que entren en nuestro país, para lo cual se ejecutan medidas de control en las fronteras de la UE en los puestos de inspección fronterizos (PIF) y se imponen requisitos previos de bienestar a los productos y animales que entran en el mercado único europeo. Por otra parte, para asegurarse de que las enfermedades están ausentes y para garantizar su rápida localización en caso de que entren, se ejecutan programas de vigilancia que tienen como objetivo las EDOs. Y si después de todo, se detecta la enfermedad, los Servicios Veterinarios Oficiales (SVO) del país afectado deben poner en marcha rápidamente y de forma planificada un conjunto de medidas que permitan controlar y eliminar la enfermedad en el menor tiempo

posible, limitando así las posibilidades de propagación y erradicándola finalmente (OIE, 2014).

1.5. Enfermedades bacterianas del sector bovino en España.

En particular, el presente estudio se centrará en 2 de las principales enfermedades que afectan al ganado bovino a nivel nacional: la brucelosis, erradicada recientemente, y la tuberculosis, que permanece a día de hoy en el país.

Concretamente, el sector bovino nacional, en su doble aptitud cárnica y lechera, ha constituido históricamente uno de los pilares fundamentales en la ganadería nacional. El número actual del censo de rebaños en España es de 6.576.296 cabezas de ganado, de las estimadas 1.526 millones de cabezas de ganado en todo el mundo (MAPA, 2021; FAO, 2022).

El bovino se considera el tercer sector más importante de nuestro país después de la carne porcina e industria láctea. Destaca la activación e internacionalización del sector en los últimos años, gracias a su enorme esfuerzo por competir en los mercados exteriores. Además, la industria cárnica también tiene un importante impacto social porque está asociada al desarrollo de actividades productivas en zonas remotas y aisladas, contribuyendo a la creación de empleo y al crecimiento demográfico en las zonas rurales, generando condiciones para la cooperación al desarrollo y diversificación económica en las zonas rurales. Por último, es importante destacar el indudable papel ecológico de la industria cárnica, no sólo por su sistema de gestión sino también por la diversidad genética del ganado, incluidas las diversas razas que han sido adaptadas a las condiciones de clima y suelo de España. Generalmente, el sector ganadero juega un papel importante en el mantenimiento del medio ambiente, paisaje y biodiversidad de nuestro país, puesto que contribuye al mantenimiento de los ecosistemas agrosilvopastoriles, a la conservación del medio y prevención de incendios, así como la captación de carbono (MAPA, 2021).

Los datos más actualizados indican que, en 2020, la industria de la carne de vacuno en España representaba alrededor del 15,3% del valor de Producción Ganadera Final (PGF) y el 5,8% del valor de Producción Final Agraria (PFA). Las cifras muestran que, con respecto al año anterior, la Producción de Carne Bovino (PCB) se ve disminuida en un 5,6%, en contraposición con los valores de PFG y PFA, que

aumentan levemente, en 1,6 % y 2,4 % respectivamente (MAPA, 2021) [Figura 10]. Este valor económico sitúa a España, como el cuarto sector ganadero más importante de la Unión Europea tras Francia, Reino Unido y Alemania (MAPA, 2021) [Figura 11].

Carne de Bovino en la Producción Final de la Agricultura española (millones de euros)			
MACROMAGNITUDES	2019	2020	% Var 20/19
PFP. Producción Carne Bovino	3.277,5	3.092,6	-5,6
PFG. Producción Final Ganadera	19.907,1	20.232,6	1,6
PFA. Producción Final Agraria	51.668,7	52.919,4	2,4
INDICES:			
PFP (PFG=100) %	16,5	15,3	
PFP (PFA=100) %	6,3	5,8	

Figura 10. Carne de Bovino en la Producción Final de la Agricultura española, año 2020. Fuente: Elaboración propia.

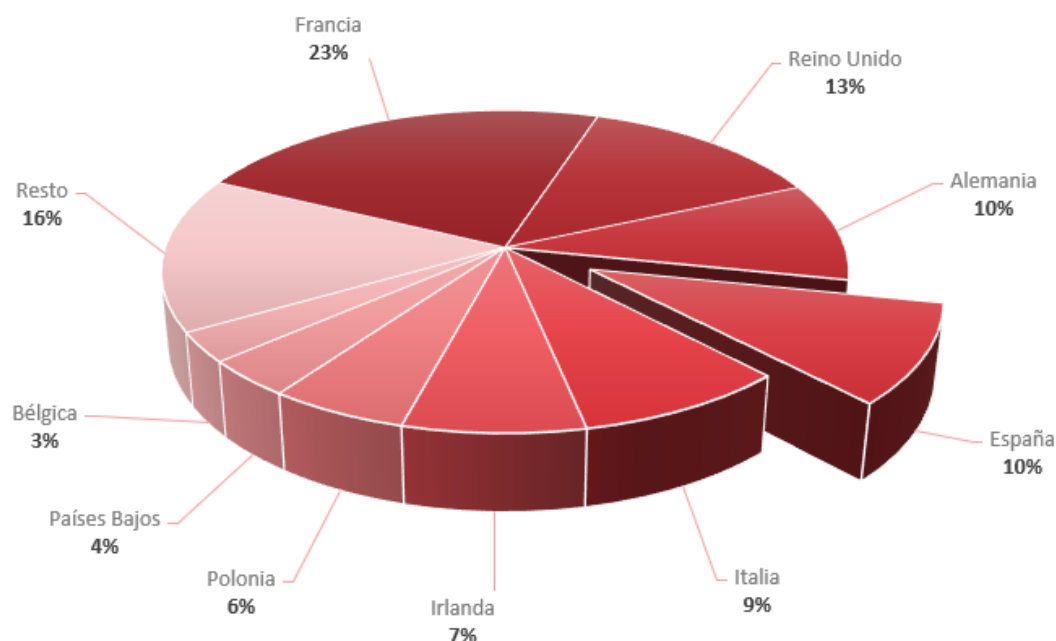


Figura 11. Valor de la producción de carne de vacuno en la UE (millones de euros), año 2020. Fuente: Elaboración propia.

En el curso de la última década ha habido diversas alteraciones en cuanto a la producción animal en bovinos, haciendo especial hincapié en el declive entre los años 2019 y 2020, debido a la pandemia de la COVID-19, habiendo una disminución de 22,4 % respecto al año anterior [Figura 12]. Aquí podemos destacar la importancia que tiene el control de diversas enfermedades y como pueden afectar al sector socioeconómico (MAPA, 2022).

Producción bovino en España

(millones de euros, 2011-2021)

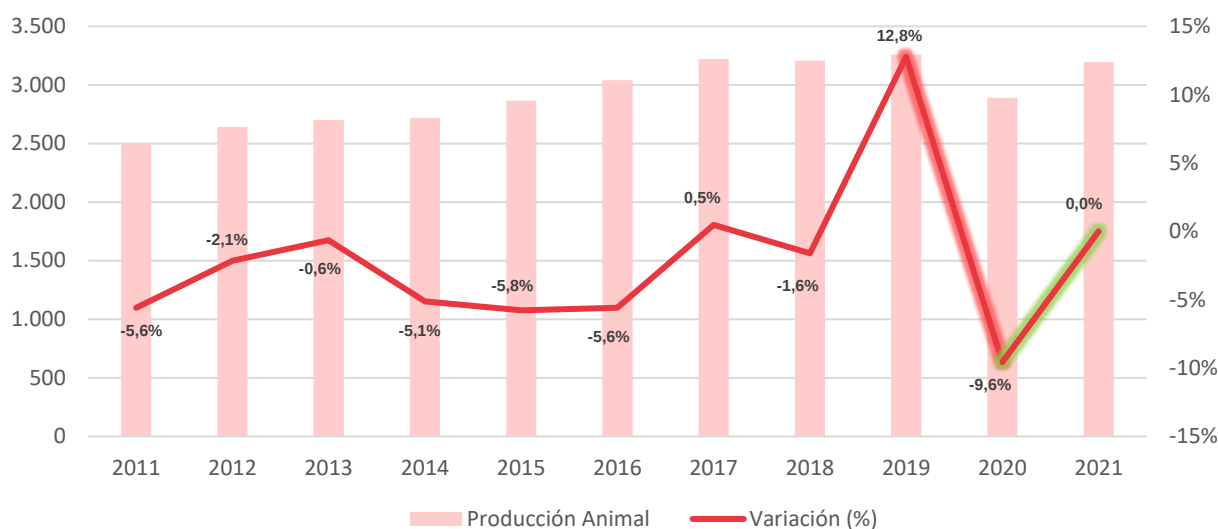


Figura 12. Producción animal en bovinos. Fuente: Elaboración propia.

1.5.1. Brucelosis

La brucelosis es una enfermedad bacteriana considerada como una de las zoonosis más frecuentes por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (Schelling E. et al., 2003; OMS 2005, 2012). La Organización Mundial de Sanidad Animal Internacional de Epizootias (OIE) declara la brucelosis como enfermedad, infección e infestación de múltiples especies (OIE, 2018). Brucelosis es el nombre común de las infecciones causadas por especies del género *Brucella* y, en particular, el ganado bovino en España se ve afectado principalmente por *Brucella abortus*, menos frecuentemente por *Brucella melitensis* y en ocasiones a *Brucella suis* (Moreno E. y Moriyon I., 2002; OIE, 2016; Spickler A., 2018).

1.5.2. Tuberculosis

La tuberculosis es una enfermedad de origen infeccioso causada por bacterias pertenecientes al complejo *Mycobacterium tuberculosis* (OIE, 2009). Concretamente, la tuberculosis bovina es una enfermedad persistente provocada por las especies bacterianas integradas en el *Complejo Mycobacterium tuberculosis*, formado por algunos tipos de la variedad *Mycobacterium* (*M. tuberculosis*, *M. bovis*, *M. caprae*, *M. africanum*, *M. pinnipedii*, y *M. microti*). El especialista causante más habitual de la tuberculosis bovina es *Mycobacterium bovis*, seguido de *M. caprae*, siendo muy poco común la infección por el resto de integrantes del complejo. La organización mundial de sanidad animal no hace referencia a que sea una enfermedad específica del bovino, sino que muchas especies se pueden infectar con esta micobacteria, incluyendo el hombre (Aranaz A. et al., 1999; Sweetline A. et al., 2017).

En 1882, Robert Koch anunció el descubrimiento del bacilo tuberculoso causante de la tuberculosis humana. Más tarde, en 1898, Theobald Smith publicó sus descubrimientos sobre el bacilo tuberculoso, humano y bovino, donde demostró que la tuberculosis humana y la bovina eran causadas por dos organismos diferentes: *M. tuberculosis* y *M. bovis*. (Lloyd S., 2020).

2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente Trabajo Fin de Grado es comparar dos tipos de enfermedades infecciosas del ganado bovino que han sido detectadas en España, la brucelosis y la tuberculosis bovina.

Para alcanzar este objetivo, se han marcado progresivamente una serie de objetivos específicos que se muestran a continuación:

- Conocer el modo de transmisión, la sintomatología y su diagnóstico, así como el control y la prevención de Brucelosis y Tuberculosis bovina.
- Determinar el efecto que ocasionan en la salud pública y en la economía del país.
- Analizar la situación epidemiológica en España a lo largo de los últimos años.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es una revisión bibliográfica, de modo que la metodología se ha basado en la consulta de diversos artículos publicados, páginas web y blogs especializados en el tema que nos ocupa.

Se ha realizado una búsqueda bibliográfica y documental en bases de datos como PubMed, perteneciente al National Center for Biotechnology Information, y Science Direct, entre otros. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda han sido “brucellosis”, “tuberculosis”, “livestock”, “bovine/sheep/goat”, “eradication”, “epidemiology”, “diagnosis” ... Se han revisado publicaciones de los últimos 15 años, aunque en algunos casos se han incluido trabajos anteriores por contener información relevante.

Conjuntamente, se han empleado datos de organismos oficiales, a nivel global, europeo y nacional, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MMA) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Asimismo, se ha recopilado información de la base de datos estadísticos de la FAO (FAOSTAT), de la Oficina Europea de Estadística (Eurostat) y del Instituto Nacional de Estadística (INE). Los criterios de inclusión de los artículos para la revisión fueron que estuvieran publicados en los últimos 5 años y en los idiomas inglés y español, aunque se incluyen artículos anteriores por su relevancia con el tema expuesto y el rigor científico.

Todas las ilustraciones, gráficos y tablas han sido elaboradas de forma autónoma tras haber recopilado diversos datos de las fuentes anteriormente mencionadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se analiza el perfil actual de las enfermedades infecciosas objeto de estudio (Brucelosis y Tuberculosis bovina) haciendo referencia a su transmisión y diagnóstico, sintomatología, las medidas de control y prevención que se llevan a cabo, el efecto que tiene en la salud pública y economía y la situación epidemiológica en España.

4.1. Transmisión

En referencia a brucelosis, en 1887, el médico inglés David Bruce descubrió la etiología de la “Fiebre de Malta” (Brucelosis humana) y demostró que los humanos contraían esa enfermedad al beber leche de cabras infectadas. Los animales domésticos se sustentaban cerca de los dueños y cuidadores, por tanto, cualquier descuido en el manejo de los animales o en el consumo de lácteos u otros productos, era considerado un factor importante para la propagación de la brucelosis bovina y su forma zoonótica en humanos. No solo la domesticación de los animales, sino también la adaptación antropogénica de los animales salvajes también provocó que este patógeno ampliara su repertorio de huéspedes y saltara de un huésped a otro con una posible transmisión entre especies. Con el tiempo, la brucelosis se ha convertido en una enfermedad económicamente dañina capaz de afectar a muchos animales, así como a los humanos debido a la adaptación genética del patógeno. Las principales rutas de transmisión a los humanos son a través de productos lácteos crudos sin pasteurizar o mal pasteurizados y el contacto con tejidos o secreciones infectadas (Moreno E., 2014).

Brucella se puede transmitir por vía horizontal, entre miembros de una misma especie que no tienen una relación madre-hijo o vertical, de la madre a sus descendientes, y puede sobrevivir en el entorno durante varios meses consecutivos, especialmente en zonas húmedas y frías (Meltzer E. et al., 2010). Los animales pueden contagiarse al ingerir alimentos y agua contaminados o al entrar en contacto con fetos abortados, membranas fetales y secreciones del útero [Figura 13]. En 2017, Tukana y Gummow describieron que los animales normales que comparten fuentes de agua comunes con animales positivos para *Brucella* es una de las razones más importantes para la propagación de la brucelosis (Khurana S. et al., 2021).

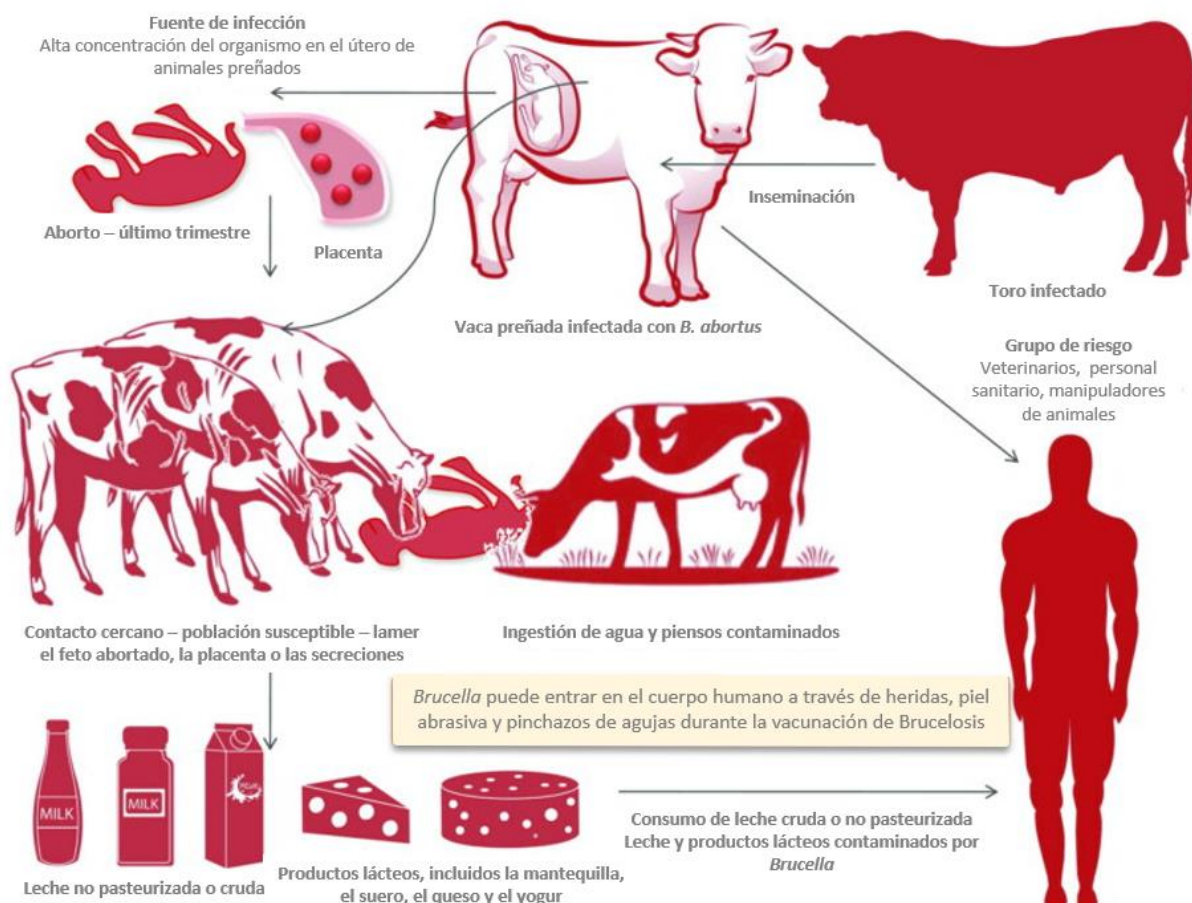


Figura 13. Transmisión de la brucelosis. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de tuberculosis, el bovino es el principal reservorio y fuente de infección de *M. bovis*, afecta principalmente al ganado y no solo se infecta, sino que también puede excretar la micobacteria por diversos medios (Radostits O. et al., 2002; Acha P. N. y Szyfres B., 2003).

Esta enfermedad puede transmitirse, de forma directa, por inhalación de aerosoles, alcanzando el área más profunda del aparato respiratorio y adquiriendo así, la infección. Se estima que la capacidad de infectarse por esta vía es muy alta, pues una única bacteria de *M. bovis* es suficiente para causar la misma patología y la misma respuesta inmune en un bovino susceptible que mil micobacterias (Morris R. S. et al., 1994; Pollok J. M. y Neill S. D., 2002). Así mismo, la transmisión es posible, de forma indirecta, por vía digestiva mediante el consumo de agua o alimentos contaminados, aunque se necesita mayor dosis infectante para que se establezca la infección (Naranjo V. et al., 2008; Jackson R. et al., 1995) [Figura 14]. Los bovinos

pueden contagiarse por vía lactogénica, pues se ha evidenciado la presencia de *M. bovis* en calostro de vacas tuberculosas (Serrano J. M. et al., 2008; Marfil M. J. et al., 2018). Igualmente, la probabilidad de infección mediante vía congénita es muy baja, se estima que tan solo el 1% de los terneros que nacen de vacas con infección uterina por *M. bovis* pueden nacer infectados (Garbaccio S. et al., 2016). Otras formas de transmisión posibles, aunque infrecuentes son por vía cutánea mediante la contaminación de heridas o a través de la materia fecal. En general, la transmisión de la infección entre especies sensibles es posible en todas las direcciones (Mitscherlich E. y Marth E. H., 1984).

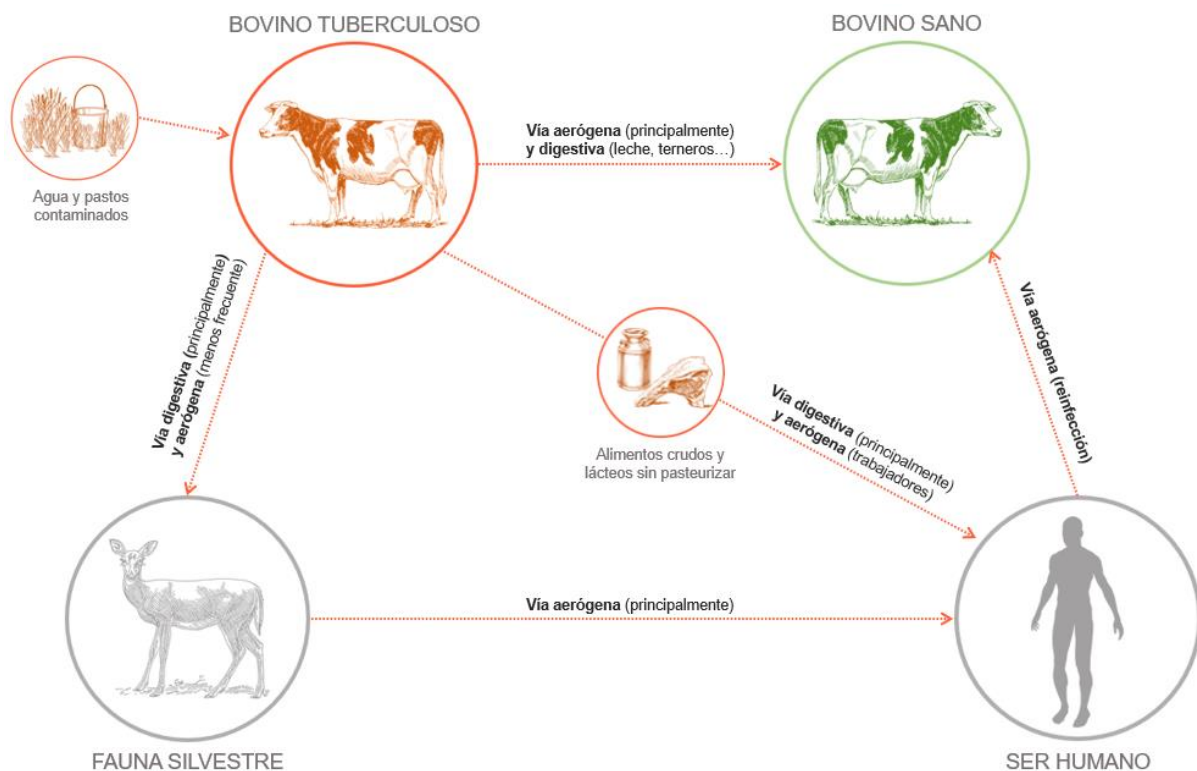


Figura 14. Transmisión de la tuberculosis. Fuente: Elaboración propia.

Algo importante de mencionar es que una vez que el bovino adquiere la infección, hay un periodo en el que el animal presenta un estado latente (14-65 días), en otras palabras, el bovino adquiere la micobacteria, pero hasta que se desencadena una respuesta inmune detectable puede pasar un tiempo considerable (14-65 días). Tras

este periodo, el animal se convierte en reactivo, es decir, tiene una respuesta inmunitaria detectable a través de la tuberculina, y posteriormente, se convierte en infeccioso y comienza a excretar dicha bacteria a través de los fluidos (Barlow N. D. et al., 1997). La infecciosidad suele ser intermitente, pues no todo el tiempo está liberando micobacterias al medio, sino que por una cuestión inmunitaria a veces logra controlar la infección y por un tiempo no excreta, pero puede volver a hacerlo cuando, por alguna razón, dicha bacteria supera la barrera de defensa del animal (Parra A. et al., 2003).

4.2. Diagnóstico

En lo referente a brucelosis, todos los abortos del ganado bovino en fases tardías de la gestación, a partir del quinto mes, deben tratarse como sospechosos de la enfermedad y, por tanto, deben estudiarse. El diagnóstico puede estar basado en diversos estudios: Epidemiológico-clínico, para diferenciar de otras causas de abortos; Etiológico-directo, mediante microscopía óptica directa, aislamiento de *Brucella* a partir de los abortos, secreciones mamarias y tejidos tomados en el examen *post-mortem*; Etiológico-indirecto para identificar los animales y rebaños infectados. El diagnóstico inequívoco de una infección por *Brucella* solo puede hacerse mediante el aislamiento y la identificación de *Brucella*, pero en situaciones en las que no es posible el análisis bacteriológico, el diagnóstico puede basarse en los métodos serológicos (Álvarez L., 2010).

El diagnóstico etiológico de la enfermedad permite la confirmación de la misma, aunque debido a su escasa sensibilidad el resultado negativo no permite rechazar la presencia de la infección en la unidad epidemiológica, por lo que no existe una única prueba que permita la identificación de *Brucella*, generalmente se requiere una combinación de cualidades de desarrollo y métodos serológicos, bacteriológicos y/o moleculares (Crespo F., 2011).

En general, se analiza el animal vivo mediante la valoración de las reacciones de hipersensibilidad retardada. La infección es normalmente subclínica, en otras palabras, cuando aparece, los signos clínicos no son expresamente distintivos y, de esta manera, no permiten a los veterinarios establecer una determinación

concluyente a partir de estos. Tras la muerte, el inquinamento se analiza mediante necropsia, estrategias histopatológicas y bacteriológicas (MAPA, 2020).

En el caso de la tuberculosis, la prueba cutánea de la tuberculina es la técnica demostrativa estándar en los animales domésticos. Consiste en la inoculación de tuberculina bovina (un extracto purificado de proteína obtenido de *M. bovis*) por vía intradérmica y la posterior estimación del grosor de la piel en el lugar de la inyección pasadas 72 horas, para identificar cualquier inflamación posterior en el lugar de la infección (una indicación de hipersensibilidad diferida relacionada con la enfermedad).

Actualmente, se encuentran disponibles o en desarrollo pruebas sanguíneas in vitro que detectan bacterias, anticuerpos o inmunidad celular. La prueba sanguínea más utilizada es la prueba IGRA (del inglés *interferon-gamma release assay*, ensayo de liberación de interferón-gamma) que se basa en la inmunidad celular y fue diseñada para complementar el diagnóstico de infección latente por tuberculosis e incrementar la sensibilidad y especificidad, al detectar el IFN- γ producido por linfocitos T en respuesta a antígenos específicos de *Mycobacterium tuberculosis*. En cualquier caso, el diagnóstico concluyente se afirma mediante el cultivo y la identificación en el laboratorio de los microorganismos, un proceso que puede requerir dos meses o más. Es una prueba valiosa ante resultados dudosos de la prueba de la tuberculina y con animales difíciles de tratar (MAPA, 2020).

4.3. Sintomatología

Atendiendo a la brucelosis, la enfermedad provoca un desempeño reproductivo deficiente, debido a abortos, infertilidad, desprendimiento de la placenta, mortinatos o nacimiento de crías débiles. Además, un animal infectado puede manifestar orquitis, epididimitis y, muy raramente, artritis, con excreción microbiana en las secreciones uterinas y en la leche (OIE, 2016). La enfermedad suele ser asintomática en animales jóvenes y hembras no gestantes, en cambio, en embarazadas, tras la infección con *B. abortus* o *B. melitensis*, se desarrolla una inflamación placentaria que, por lo general, conduce al aborto entre los cinco y los nueve meses de embarazo. En las infecciones agudas, el organismo está presente

en la mayoría de los ganglios linfáticos principales del cuerpo (FAO/OMS, 1986; USDA, 2003).

En el caso de tuberculosis, las lesiones son muy versátiles, y su aparición depende de diversos factores relacionados con el huésped o animal que enferma (especie animal, resistencia individual y sistema inmune del animal), el agente causante (especie de micobacteria y virulencia), el órgano afectado y la dosis infectiva. Por regla general, se trata de una infección progresiva donde existe una toxemia de curso persistente que causa debilitamiento y deterioro progresivo del estado corporal. Resulta poco común observar lesiones generalizadas de tuberculosis, siendo más normal la presencia de pequeñas lesiones granulomatosas situadas en los nódulos linfáticos, visibles después de un análisis macroscópico, es decir, a simple vista. En aquellas circunstancias en las que la criatura sacrificada hubiera sido contaminada recientemente, las lesiones naturalmente visibles pueden no ser notadas, aunque más tarde el cultivo confirme la enfermedad por *M. bovis* o *M. caprae*. En otros casos de infección reciente, la carga bacteriana es tan baja y/o tan localizada que no existen lesiones naturalmente visibles y no se puede cultivar el especialista etiológico, a pesar de que el animal está contaminado (Hermoso de Mendoza J. et al., 2006). Algunos signos clínicos menos frecuentes son pérdida de apetito y de peso, fiebre fluctuante, disnea, neumonía de bajo grado y diarrea.

4.4. Medidas de control y prevención

En lo que respecta a brucelosis, históricamente el control oficial de la infección por *Brucella* se ha llevado a cabo por medio de campañas anuales que se basaban en la identificación de portadores y su sacrificio obligatorio, herramientas de diagnóstico, vacunación masiva en una gran población, restricción del movimiento pecuario y vaciado sanitario, pues, en ausencia de animales inmunes, la enfermedad puede agravarse debido a una mayor virulencia y una transmisión más extensa en diferentes especies (Moreno E., 2014). Actualmente se plantea el objetivo de mantener dicho estatus mediante la aplicación de diversas estrategias de control efectivas contra esta enfermedad como la vigilancia, la prevención de la transmisión y el control del reservorio de inquinamento por diferentes métodos, incluido el sacrificio, garantizando así la incapacidad de desarrollo de dicha bacteria (Rahman

M. S. et al., 2011; Khurana S. K. et al., 2021). No obstante, ante la aparición de reaccionantes positivos en un rebaño se procederá al vaciado sanitario de la explotación, aunque se trate de un solo animal positivo implicado. Brucelosis es una de las infecciones de laboratorio más fáciles de contraer y exige la aplicación de estrictas medidas de seguridad. La manipulación en los laboratorios de cultivos vivos de *Brucella* es peligrosa y debe realizarse a un nivel de contención y bioseguridad adecuado, que se determinará a partir de un análisis del riesgo biológico (Ashford D. A. et al., 2004).

Asimismo, la tuberculosis bovina presenta una serie de particularidades que la convierten en una enfermedad difícil de controlar. En primer lugar, las micobacterias poseen un amplio abanico de hospedadores (es decir, especies animales que pueden ser infectadas) por lo que la epidemiología de las infecciones causadas por miembros de este género bacteriano es muy compleja (Ryan T. J. et al., 2006; Reynolds D., 2006). El factor que implica en gran medida el éxito de los programas de erradicación frente a esta enfermedad es el movimiento de ganado, especialmente en lo que hace referencia a la introducción de nuevos animales en una explotación (Vicente J. et al., 2006). Por ello es muy importante la realización de pruebas diagnósticas previas a dichos movimientos, con el fin de prevenir la introducción de la enfermedad en una granja a priori libre de la misma, garantizando un mercado libre de animales enfermos y asegurando el movimiento de los animales dentro de las fronteras de la Unión Europea. La lucha contra la tuberculosis bovina es, no obstante, dificultosa debido a las características de la enfermedad, pero gracias al trabajo realizado por todos los expertos en cuestión, en el que los ganaderos tienen un papel importante, el programa nacional de erradicación de la tuberculosis bovina, que se está llevando a cabo actualmente, incorpora medidas técnicamente pioneras, lo que lo convierte en uno de los proyectos más vigentes de la Unión Europea (Martin-Hernando M. P. et al., 2007).

4.5. Salud pública

Como ya se ha mencionado anteriormente, las enfermedades infecciosas tienen un papel fundamental en cuanto a salud pública.

En el caso de brucelosis, particularmente *B. Melitensis*, es una de las enfermedades zoonóticas reemergentes más prevalentes a nivel mundial con una incidencia estimada de más de 50.000 casos humanos por año. La importancia de la brucelosis como enfermedad zoonótica está aumentando debido al aumento espectacular del comercio mundial de productos animales, el rápido aumento de la deforestación, la urbanización, la agricultura intensiva, la cría de animales y el aumento de los viajes internacionales. (Memish y Balkhy 2004; Bayeleyen 2007). Incluso las exhaustivas y avanzadas medidas de vigilancia y control no han podido reducir la prevalencia de la brucelosis en la mayoría de los países en desarrollo debido a la falta de higiene, falta de saneamiento, pobreza, falta de administración adecuada y voluntad política (Pappas G. et al. 2006).

La brucelosis es una zoonosis altamente infecciosa para los humanos que causa una enfermedad a menudo llamada fiebre ondulante o fiebre de Malta, ya que se reconoció por primera vez en Malta durante la década de 1850. Es una de las infecciones de laboratorio más fáciles de adquirir y se deben establecer estrictas precauciones de seguridad al manipular cultivos y muestras muy infectadas, como los productos del aborto, aunque también puede llegar a contraerse a través del consumo de leche sin pasteurizar procedente de animales infectados. Los síntomas en humanos incluyen fiebre intermitente o irregular, dolor de cabeza, debilidad, sudoración profusa, escalofríos, pérdida de peso y dolor general. También pueden ocurrir infecciones de órganos como el hígado y el bazo. Los veterinarios, granjeros y trabajadores de mataderos son vulnerables a la infección cuando manipulan animales infectados y fetos o placentas abortados (CFSPH, 2009).

Por otra parte, la tuberculosis tiende a ser una condición de salud pública importante debido a su alta infecciosidad, su problemático tratamiento y el riesgo de transmisión entre el ser humano y los animales. Afecta aproximadamente a un tercio de la población mundial, causando 1,6 millones de muertes anuales. El principal agente etiológico de esta enfermedad en las personas es *Mycobacterium tuberculosis*, que se transmite principalmente por vía aerógena y provoca lo que se conoce como tuberculosis pulmonar. No obstante, una de las principales formas de la enfermedad a escala mundial es de tipo zoonótico, es decir, una infección que se transmite de los animales al hombre (OMS, 2021).

España es actualmente, junto con Portugal, el país más afectado por esta enfermedad en la Unión Europea. Según indica la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR), cada año se registran 10.000 nuevos casos a pesar de la presencia de programas de control de la enfermedad. El perfil de los pacientes infectados por *M. tuberculosis* es muy variado, influyendo principalmente en los pacientes inmunodeprimidos (portadores de VIH), indigentes o extranjeros de países no industrializados. El personal sanitario y los cooperantes que trabajan en regiones con una alta prevalencia de la enfermedad son igualmente un grupo de riesgo a tener en cuenta (Pichiule M. et al., 2020).

En España, la prevalencia de la tuberculosis en personas provocada por *M. bovis* está por debajo del 0,8%, sin duda debido a la ejecución de los Programas Nacionales de Erradicación de la Tuberculosis en ganado bovino, que se llevan a cabo desde finales de los años 70 y que obligan a sacrificar a los animales positivos a las pruebas de diagnóstico de la tuberculosis. Gracias a este sistema de reconocimiento y control, la prevalencia de la tuberculosis en bovinos se ha visto reducida y, por consiguiente, también ha disminuido el riesgo de transmisión de la enfermedad al hombre por medio de los alimentos. De este modo, la transmisión de la tuberculosis bovina al ser humano estaría producida fundamentalmente por el contacto directo con animales contaminados, como los ganaderos y los veterinarios. En definitiva, la tuberculosis humana es un problema que parecía abocado a su desaparición hace veinte años, pero que ha reaparecido con una fuerza inusitada (Braier M. et al., 2020).

4.6. Impacto económico

La brucelosis ha afectado gravemente a la economía del ganado pues las pérdidas económicas han sido el efecto acumulativo de la reducción en la producción de leche, sacrificio de animales afectados, abortos, impedimento en la exportación y comercio de animales, gastos médicos y veterinarios, gastos administrativos y gubernamentales en programas de investigación y control (Georgios et al. 2005).

Por otra parte, la tuberculosis bovina ocasiona importantes perjuicios económicos debido a la disminución en la producción y de los costes generados en el proceso de

erradicación, así como a la indemnización de los propietarios por el sacrificio obligado de los animales contaminados. En el inicio del programa, los costes de remuneración por la aniquilación de los animales eran extremadamente altos debido a la alta incidencia. Estos valores lógicamente disminuyeron de forma progresiva debido al avance positivo del programa, en cambio, los gastos de ejecución se han incrementado, siendo importante mantener el grado de financiación para alcanzar el objetivo final. Así mismo se ha producido un incremento de los costes de laboratorio debido a la utilización de una variedad más notable de pruebas demostrativas con el objetivo de intentar el diagnóstico etiológico o, en su caso, realizar el diagnóstico diferencial de la enfermedad (Torres A., 2010).

4.7. Situación epidemiológica en España

Por último, se hace alusión a la situación epidemiológica en España. En referencia a brucelosis, desde las primeras actuaciones en 1952, la consolidación del programa permitió llegar al año 2001 con un 1,77% de prevalencia por rebaños. Como se puede observar en la evolución de este indicador epidemiológico [Figura 15], la tendencia que existió durante la realización del programa nacional de erradicación para 2001-2020 ha sido una disminución sostenida en la incidencia de la enfermedad. Con la excepción de 2002, 2003, 2013 y 2017, todos los descensos anuales desde 2001 han sido significativos. La tasa de rebaños positivos en 2019 fue del 0% por primera vez, puesto que no se observaron rebaños infectados con *B. abortus*. En cambio, la prevalencia de rebaños positivos, en 2020, tuvo un leve aumento del 0,002%, pues se identificó un positivo latente para *B. abortus*, en marzo de dicho año (MAPA, 2020).

Evolución de la prevalencia de rebaño

(%, 2001-2020)

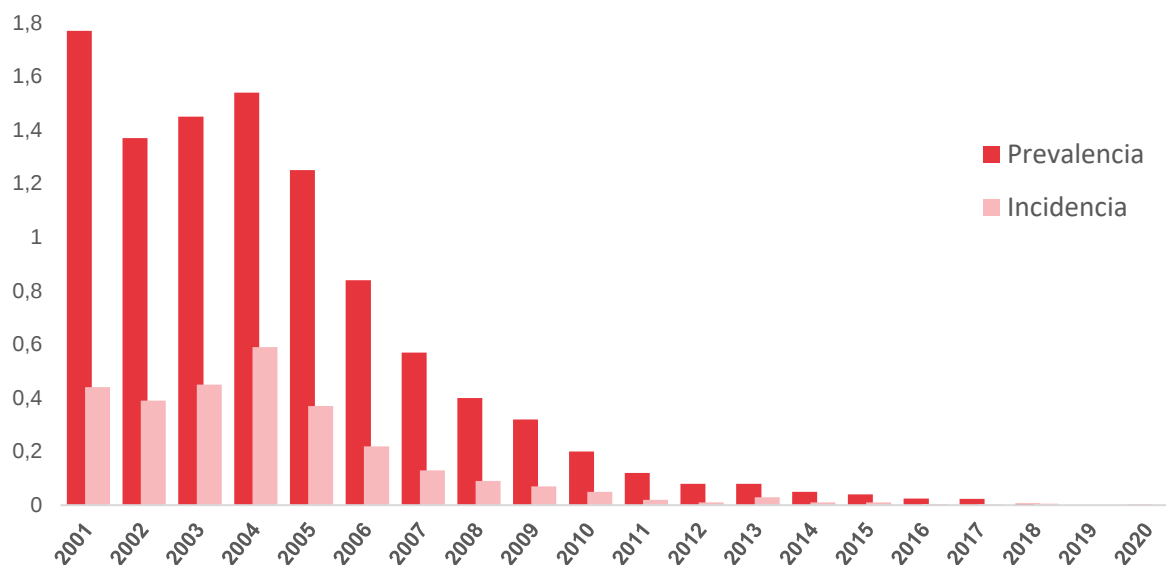


Figura 15. Evolución nacional de la Brucelosis bovina. Fuente: Elaboración propia.

En 2020, la Decisión de Ejecución (UE) 2021/385 de la Comisión, reconoce como oficialmente libres de la enfermedad varias provincias que aún no lo estaban. En abril el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/620 de la Comisión reconoce a toda España como Estado miembro oficialmente libre de brucelosis bovina excepto la provincia de Cáceres [Figura 16]. En el año 2021 se mantuvo la prevalencia de rebaño en 0 y el 99,8% de los rebaños obtuvieron el estatuto de oficialmente indemnes, de manera que, en febrero de 2022, el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/214 declaró a todo el país como oficialmente libre de la enfermedad (MAPA, 2021).



Figura 16. CCAA/Provincias oficialmente libres de Brucelosis Bovina. Año 2021. Fuente: Elaboración propia.

La ausencia de rebaños infectados por *B. abortus* representa la erradicación aparente de la enfermedad y supone el primer paso para conseguir la calificación de oficialmente indemne. Reiterando lo dicho antes, actualmente, todas las provincias ya están reconocidas como oficialmente libres y, a día de hoy, el principal objeto es mantener dicho estatuto, que será reconocido si no se confirman casos *por B. abortus*, *B. melitensis* o *B. suis* en los últimos 3 años, con el mantenimiento de la calificación oficialmente libre de brucelosis sin vacunación en, al menos, un 99,8% de establecimientos. Esto se consigue mediante el uso de un programa de control basado en la recogida de una muestra representativa de todos los establecimientos que tienen bovinos y que permita al menos detectar, con un nivel de confianza del 95 %, la infección por *Brucella abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*, con una prevalencia objetivo del 0,2% de todos aquellos establecimientos que tienen bovinos (MAPA, 2020).

Acerca de la tuberculosis bovina, las primeras actuaciones de lucha frente a dicha enfermedad se inician en España a principios de los años 50. En 1965 se establece, mediante la Orden de 24 de mayo, un Plan Nacional de Lucha contra la tuberculosis bovina, centrado en los principales núcleos de vacuno lechero del norte y centro de España. Tras la entrada de nuestro país en la Comunidad Económica Europea (CEE), en 1987 España presenta un Programa de Erradicación Acelerada, de acuerdo con las Directivas 77/391/CEE y 78/52/CEE y la Decisión 87/58/CEE. Tras esto, se ha evidenciado un detrimento progresivo de la enfermedad en lo que a prevalencia de rebaño se refiere (MAPA, 2021) [Figura 17].

Efectividad del Programa de Erradicación Acelerada (Prevalencia de rebaño, 1986-2021)

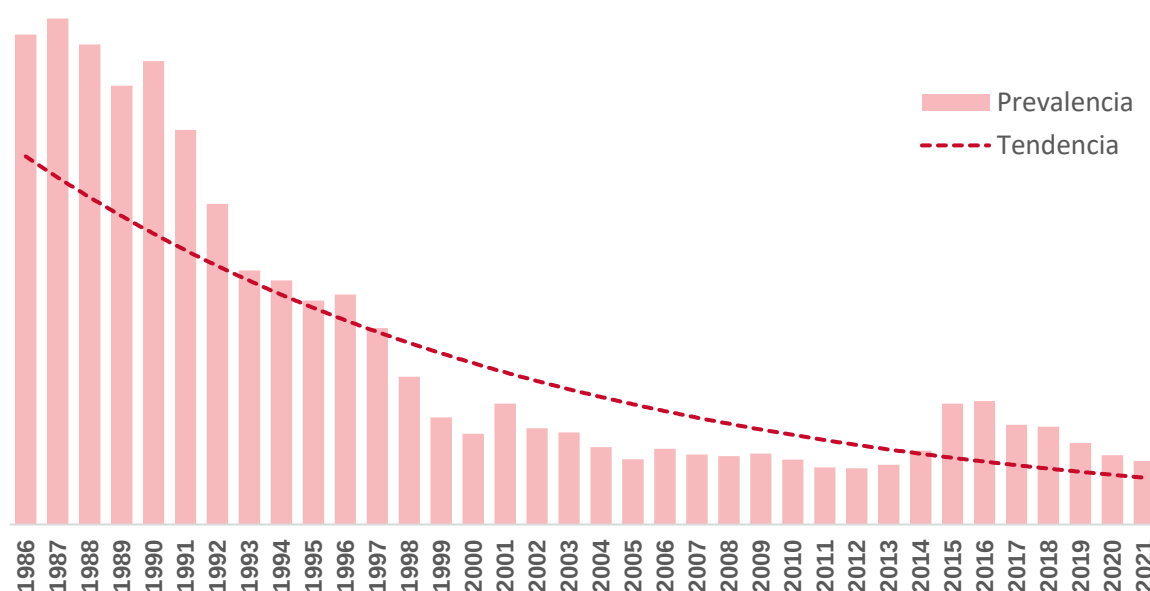


Figura 17. Efectos del Programa de Erradicación Acelerada reflejado en la prevalencia de rebaño, años 1986-2021. Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad, España presenta una distribución asimétrica, concentrándose las áreas de mayor prevalencia en la parte sur y centro oeste del país, mientras que, en la cornisa cantábrica y el levante, así como en las Islas Canarias y las Islas Baleares, existe una menor presencia de la enfermedad (MAPA, 2021) [Figura 18].

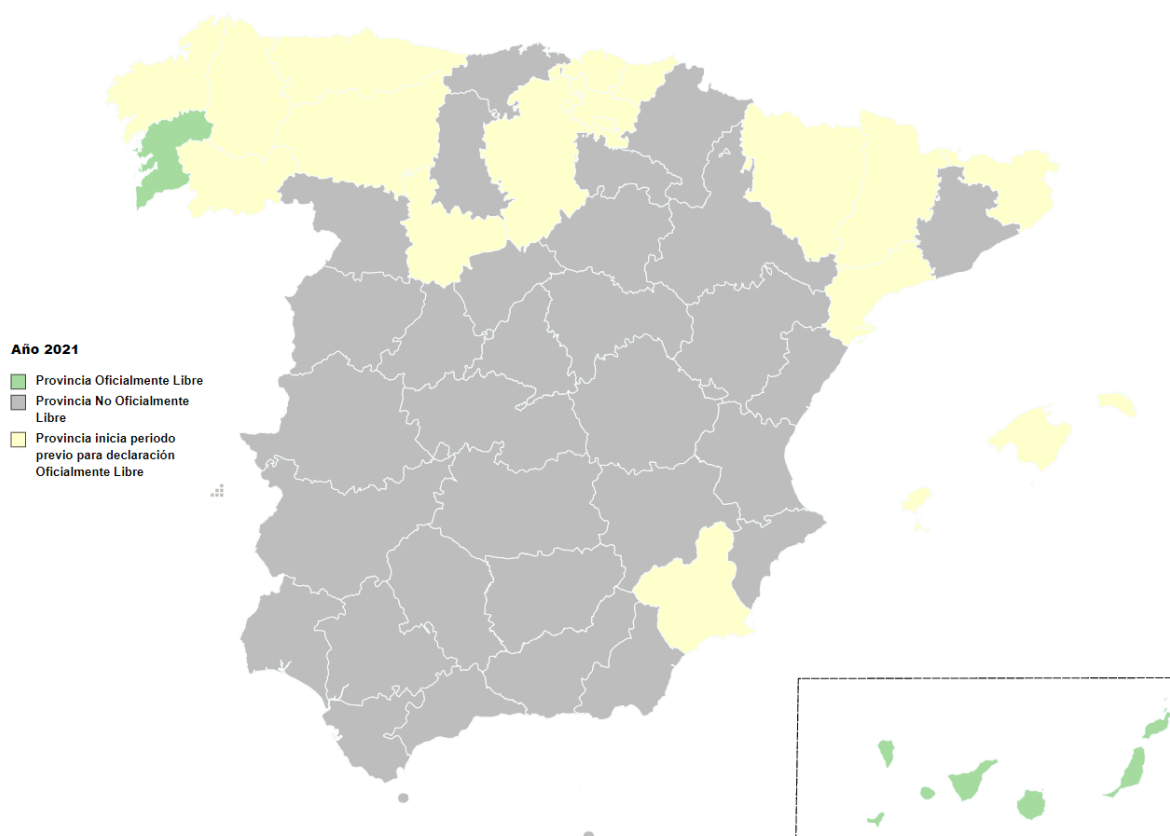


Figura 18. CCAA/Provincias oficialmente libres de Tuberculosis Bovina. Año 2021. Fuente: Elaboración propia.

Esta variabilidad puede presentarse por diferencias climáticas y productivas. La prevalencia es mayor en las regiones más secas y calurosas, ya que esto favorece la aglomeración de animales y, en consecuencia, la propagación de la enfermedad (Aranaz A. et al., 2004). En el norte y este de España se concentra el ganado de aptitud lechera, en el que las prevalencias de la enfermedad son menores, sin embargo, en el sur y en la meseta, hay un mayor porcentaje de ganado de carne, que empezó a ser saneado más tarde que el de leche, y por ello presenta unas prevalencias de tuberculosis algo superiores.

Además, una gran parte de las explotaciones de carne presentan un régimen extensivo, de vez en cuando en regiones de difícil acceso, con variedades autóctonas de difícil manejo, y que podrían estar compartiendo alimento con otras especies diferentes (como el ganado caprino) y, en consecuencia, pueden pasar a abastecerse de alimentos contaminados. La mayor concentración de especies de vida libre en la parte sur del país puede igualmente ayudar a dar sentido al avance

más lento del programa de erradicación nacional en estas regiones (Vicente J. et al. 2007).

Evolución de la prevalencia de rebaño

(%, 2002-2021)

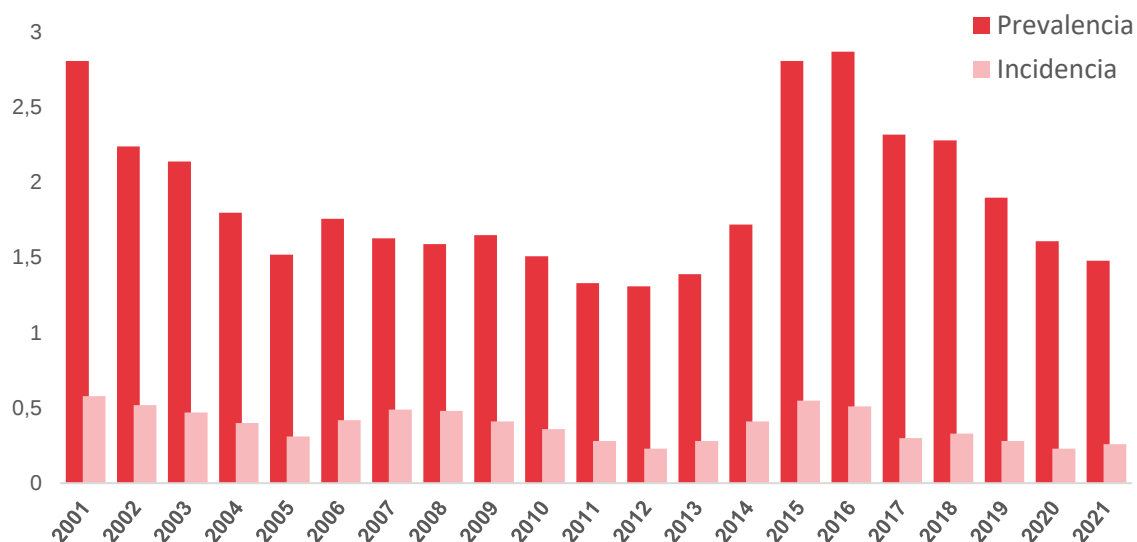


Figura 19. Evolución nacional de la Tuberculosis Bovina. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la evolución de este indicador epidemiológico [Figura 19], la tendencia mostrada por la ejecución del programa nacional a lo largo de los últimos años, ha sido un descenso moderado de la enfermedad, hasta el año 2013, a partir del cual este indicador experimentó un repunte, especialmente en 2015 y 2016, dejándolo a niveles del año 2001.

5. CONCLUSIONES

A partir de los datos expuestos en el presente trabajo y a la vista de los datos bibliográficos recogidos, se pueden establecer como principales las siguientes conclusiones:

- El modo de transmisión de brucelosis y tuberculosis ha ocasionado, en gran escala, numerosas infecciones que han provocado graves consecuencias en nuestro país. Frente a esto, se han llevado a cabo programas de seguimiento y vigilancia integrales, a nivel nacional, donde la enfermedad es prevalente.
- Estas enfermedades han causado pérdidas económicas colosales a nivel nacional en términos de producción animal y efectos en la salud pública. Asimismo, han provocado un gran consumo de recursos económicos debido a las extensas campañas de control y erradicación que se han llevado a cabo en nuestro país.
- En lo referente a brucelosis, España, gracias a medidas a nivel de un exhaustivo control de las explotaciones ganaderas, ha conseguido reducir la incidencia considerablemente desde los años 1990, consiguiendo en 2022, la erradicación oficial de la enfermedad.
- Sin embargo, la erradicación de la tuberculosis bovina es, en la actualidad, el objetivo final de cualquier programa de lucha contra la enfermedad en los países desarrollados. La reducción de la tasa de la enfermedad que se ha mantenido de forma sostenida en España desde el inicio del programa hasta ahora demuestra que el camino que se está siguiendo es sin duda el correcto. A pesar de ello, no podemos sentirnos satisfechos y es importante que en conjunto nos esforcemos más hasta lograr alcanzar el objetivo final de la erradicación.

BIBLIOGRAFÍA.

- Acha, PN and Szyfres, B. (2003) Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y los animales. 3ra Edición, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 284-292.
- Álvarez, L., Durán, M., Gómez, B., Garrido, F., Yustes, C., Vendrell, J., Dominguez, L., Fernández-Garayzabal, J.F., Vela, A.I., Latre, M.V., 2010. Determinación de los tejidos y medios de elección para la confirmación microbiológica de los resultados serológicos de las campañas de control de *Brucella melitensis* en el ganado ovino. Arch. Med. Vet. **42** (43-49).
- Aranaz, A., de Juan, L., Montero, N., Sanchez, C., Galka, M., Delso, C., Álvarez, J., Romero, B., Bezos, j., Vela, A. I., Briones, V., Mateos, A., y Dominguez, L. (2004). Bovine Tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in Wildlife in Spain. J. Clin. Microbiol. **42**, 2602-2608.
- Aranaz, A., Liebana, E., Gomez-Mampaso, E. & 8 other authors (1999). *Mycobacterium tuberculosis* subsp. *caprae* subsp. nov.: a taxonomic study of a new member of the *Mycobacterium tuberculosis* complex isolated from goats in Spain. Int. J. Syst. Bacteriol **49**, 1263–1273.
- Ashford D.A., Di Pietra J., Lingappa J., Woods C., Noll H., Neville B., Weyant R., Bragg S.L., Spiegel R.A., Tapperro J. & Perkins B.A. (2004). Adverse events in humans associated with accidental exposure to the livestock brucellosis vaccine RB51. Vaccine, **22**, 3435–3439.
- Barlow, N. D., Kean, J. M., Hickling, G., Livingstone, P. G., Robson, B. (1997). Un modelo de simulación para la propagación de la tuberculosis bovina dentro de los rebaños de ganado de Nueva Zelanda. Anterior Veterinario. Medicina, **32**, 57-75.
- Braier M., García F. J., Ancochea J., 2020. Red contra la Tuberculosis y por la Solidaridad: el compromiso de la sociedad civil. Rev. Esp. Salud Pública; **94**.
- Brooks-Pollock E., de Jong M.C.M., Keeling M.J., Klinkenberg D., Wood J.L.N. (2015). Eight challenges in modelling infectious livestock diseases, Epidemics, **10**, 1-5, 1755-4365. Recuperado el 15 de mayo de 2022 de <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2014.08.005>.
- Cabia, D. L. (2020). *Economía del Neolítico*. Economipedia. Recuperado el 3 de abril de 2022 de <https://economipedia.com/historia/economia-del-neolitico.html>.

- CFSPH (The Center for Food Security & Public Health), 2009. *Brucellosis*. Iowa State University. Recuperado el 11 de marzo de 2022 de <https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/!replaced/!brucellosis.pdf>.
- Crespo, F., 2011. Contribución al estudio de la etiología y la epidemiología de la brucelosis en España. Tesis Doctoral., Facultad de Veterinaria, UCM. Recuperado el 16 de marzo de 2022 de https://dspace.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3076/9788498876154_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Eurostat (Estadísticas europeas), 2021. Población del ganado en número de cabezas en la Unión Europea.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2022. La ganadería y el medio ambiente. LivestockEnv. Recuperado el 2 de mayo de 2022 de <https://www.fao.org/livestock-environment/es>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2022. FAOSTAT: Productos agrícolas y ganaderos. Recuperado el 2 de mayo de 2022 de <http://faostat.fao.org/site/636/DesktopDefault.aspx?PageID=636#anchor>.
- FAO/WHO (joint Food and Agriculture Organization of the united nations/World health organization) 1986. *Expert committee on brucellosis*. Technical Report Series **740**, Sixth Report.
- Garbaccio, S.; Barandiaran, S.; Fernandez, A.; Macias, A.; Magnano, G.; Martinez Vivot, M.; Peyrú, M.; Cataldi, A. (2016). Interlaboratory test: Isolation of *Mycobacterium bovis* from granulomatous lesions in bovine. Rev. Argent Microbiol. **48** (2):161–5.
- Gebreyes W.A., Jackwood D., de Oliveira C.J., Lee C.W., Hoet A.E., Thakur S. (2020). Molecular Epidemiology of Infectious Zoonotic and Livestock Diseases. Microbiol. Spectr. **8** (2).
- Hermoso de Mendoza, J., Parra, A., Tato, A., Alonso, J. M., Rey, J. M., Pena, J., Garcia-Sanchez, A., Larrasa, J., Teixido, J., Manzano, G., Cerrato, R., Pereira, G., Fernandez-Llario, P., y Hermoso de Mendoza, M. (2006). Bovine tuberculosis in wild boar (*Sus scrofa*), red deer (*Cervus elaphus*) and cattle (*Bos taurus*) in a Mediterranean ecosystem (1992-2004). Prev. Vet. Med. 74, 239-247.

- Heymann, D. L. y Dixon, M. (2013). El valor del enfoque One Health: pasar de la respuesta de emergencia a la prevención de las amenazas de enfermedades zoonóticas en su origen. *Espectro de microbiología*, **1** (1), 1-1.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional), 2022. *España a través de los mapas*. (2022). Recuperado el 7 de abril de 2022 de https://www.ign.es/espmap/mapas_rural_bach/Rural_Mapas_04.htm.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2019. *España en cifras 2019*. Recuperado el 28 de febrero de 2022 de https://www.ine.es/prodyser/espa_cifras/2019/files/assets/common/downloads/publication.pdf.
- Jackson, R., Cooke, M.M., Coleman, J.D. & Alley, M.R. (1995). Naturally occurring tuberculosis caused by *Mycobacterium bovis* in brushtail possums (*Trichosurus vulpecula*). I. An epidemiological analysis of lesion distribution. *New Zealand Veterinary Journal*, **43**, 306-314.
- Khurana, S. K., Sehrawat, A., Tiwari, R., Prasad, M., Gulati, B., Shabbir, M. Z., Chhabra, R., Karthik, K., Patel, S. K., Pathak, M., Iqbal Yatoo, M., Gupta, V. K., Dhama, K., Sah, R., & Chaicumpa, W. (2021). Brucellosis bovina: una revisión exhaustiva. *The veterinary quarterly*, **41**(1), 61-88. Recuperado el 20 de marzo de 2022 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7833053/>.
- Lloyd, S. (2020). «Robert Koch. German bacteriologist». En *Encyclopaedia Britannica*, Inc., ed. Enciclopedia Británica en línea (en inglés).
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2012. *Análisis de la evolución del sector ovino español. impacto de los regímenes de ayudas y estrategias a impulsar (2006-2012)*. Recuperado el 7 de junio de 2022 de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/An%C3%A1lisis%20de%20la%20evoluci%C3%B3n%20del%20sector%20ovino%20espa%C3%B1ol_tcm30-58889.pdf.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2020. *Encuestas ganaderas, análisis del número de animales por tipos*. Recuperado el 7 de junio de 2022 de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/ganaderia/encuestas-ganaderas/>.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2020. Programa Nacional de Erradicación de Brucellosis Bovina presentado por España para

- cofinanciación. Recuperado el 7 de junio de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/programabb2020final_tcm30-523302.PDF.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2020. Realización de las pruebas de intradermotuberculinización y gamma-interferón. Programa nacional de erradicación de la tuberculosis bovina 2019-2020. Recuperado el 13 de junio de 2022 de https://www.visavet.es/data/mapa/manual_procedimiento_IDTB_IFN_2019.pdf
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021. *Comunidades autónomas/provincias oficialmente libres de brucelosis prevalencia cero (marzo 2021)*. Recuperado el 16 de junio de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/bruccaaprev0_tcm30-440578.pdf.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021. *El sector de la carne de vacuno en cifras. Principales indicadores económicos*. Recuperado el 7 de junio de 2022 de https://www.mapa.gob.es/ca/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicoscarne devacuno_julio2021_tcm34-381390.pdf.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021. *Estudio del sector vacuno de carne español. Datos SITRAN*. Recuperado el 16 de abril de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/estudio_vacasnodrizas_datossitran2020_tcm30-109530.pdf.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021. Programa nacional de vigilancia y control de la brucelosis bovina (Infección por *B. abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*) 2021. Recuperado el 18 de abril de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higieneg ganadera/programabb2021versionabril_tcm30-561035.pdf.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2022. *Cuentas Económicas de la Agricultura (Renta Agraria: Macromagnitudes Agrarias)*. Producción Animal. Recuperado el 20 de junio de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/cea20212estimacionenero2022_tcm30-586943.pdf.

- Marfil, M. J., Huertas, P. S., Garbaccio, S. G., Barandiaran, S., Martínez Vivot, M., Garro, C., Alonso, B., Eirin, M. E., Zumárraga, M. J. (2018). Detection of Viable *Mycobacterium bovis* in Lungs and Livers Sold in Butchers' Shops in Buenos Aires, Argentina. *Foodborne Pathogens and Disease*, **15** (12).
- Martin-Hernando, M. P., Hofle, U., Vicente, J., Ruiz-Fons, F., Vidal, D., Barral, M., Garrido, J. M., de la, Fuente J., y Gortazar, C. (2007). Lessons associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the European wild boar. *Tuberculosis*. (Edinb.) **87**, 360-367.
- Meltzer E, Sidi Y, Smolen G, Banai M, Bardenstein S, Schwartz E. (2010). Brucellosis de transmisión sexual en humanos. *Clin Infect Dis*. **51** (2): e12–e15.
- Mitscherlich, E. & Marth, E. H. (1984). *Microbial Survival in the Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2008. La ganadería autóctona en España. Recuperado el 8 de marzo de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/laganaderiaautoctona/enespana_tcm30-118944.pdf.
- Moreno E, Moriyon I. (2002). *Brucella melitensis*: un insecto desagradable con credenciales ocultas de virulencia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **99** (1), 1-3.
- Moreno E. (2014). Perspectivas retrospectivas y prospectivas sobre la brucelosis zoonótica. *Microbiol frontal*. **5**, 213.
- Morris R.S., Pfeiffer D.U. & Jackson R. (1994). The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Vet. Microbiol.*, **40**, 153-177.
- Naranjo, V., Gortazar, C., Vicente, J., y de la Fuente J. (2008). Evidence if the role of European wild boar as a reservoir of *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Vet. Microbiol*. **127**, 1-9.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2009. Tuberculosis bovina. Manual de pruebas diagnósticas y vacunas para animales terrestres. Recuperado el 4 de junio de 2022 de www.oie.int/standard-setting/terrestrial-manual/access-online/.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2014. Directrices para el control de las enfermedades animales. Recuperado el 4 de junio de 2022 de https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Our_scientific_expertise/docs/pdf/E_Guidelines_for_Animal_Disease_Control_final.pdf.

- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2016. Brucelosis (*Brucella abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*) (Infección por *Brucella abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*). Recuperado el 20 de abril de 2022 de https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/cha_pitre_bovine_brucellosis.pdf.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2017. *El bienestar animal: una ventaja para la industria ganadera*. Recuperado el 20 de abril de 2022 de <https://www.oie.int/app/uploads/2021/03/bull-2017-1-esp.pdf>.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2018. Enfermedades, infecciones e infestaciones de la lista de la OIE vigentes en 2018. Recuperado el 25 de abril de 2022 de <http://www.oie.int/es/salud-animal-en-el-mundo/enfermedades-de-la-lista-de-la-oie-2018/>.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), 2022. *Enfermedades animales*. Recuperado el 30 de marzo de 2022 de https://www.woah.org/es/que-hacemos/sanidad-y-bienestar-animal/enfermedades-animales/?tax_animal=terrestres&tax_diseases=listada-por-la-oie.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2012. *Brucelosis en humanos y animales: orientación de la OMS*. Recuperado el 6 de abril de 2022 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/brucellosis>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2021. Tuberculosis. Recuperado el 5 de marzo de 2022 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>.
- Pappas, G., Papadimitriou, P., Akritidis, N., Christou, L., Tsianos, E. V., 2006. The new global map of human brucellosis. *Lancet Infect Dis.* **6**(2):91-9.
- Parra, A., Fernandez-Llario, P., Tato, A., Larrasa, J., Garcia, A., Alonso, J. M., Hermoso de, Mendoza M., y Hermoso de, Mendoza J. (2003). Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections of pigs and wild boars using a molecular approach. *Vet. Microbiol.* **97**, 123-133.
- Pérez, R., Pontones, C., Gortázar, C., y Muñoz, L. I. (2020). Quantifying the Economic Impact of Bovine Tuberculosis on Livestock Farms in South-Western Spain. *Animals*, **10**(12), 2433.
- Pollock, J.M., Neill, S.D. (2002). *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Veterinary Journal*, **163**, 115-127.

- Pichiule, M., Rodero, I., Febrel, C., Ribeiro, M. C., Rodríguez E., Córdoba, E., Sánchez, J., Gil, E., Barbas, J., Jiménez, S., Zamora, A., Aragón, A., Velasco, M., Martín, F., García, N., Mata, N., Rumayor, M., Pérez, A., Miguel, A., Sanz, C., Ordobás, M., 2020. Tendencia de la tuberculosis en la Comunidad de Madrid en población autóctona y extranjera (2009-2018). *Rev. Esp. Salud Pública*, **94**.
- Radostits, O., Blood, O., Gay, C., Hinchcliff, K. (2002). *Medicina veterinaria. Tratado de las enfermedades del ganado bovino, ovino, porcino, caprino y equino*. **9**, 1076-1085.
- Rahman, M. S., Faruk, M. O., Her, M., Kim, J. Y., Kang, S. I., Jung, S. C. (2011). Prevalencia de brucelosis en rumiantes en Bangladesh. *Médico Veterinario*. **56** (8), 379–385.
- Reynolds, D. (2006). A review of tuberculosis science and policy in Great Britain. *Vet. Microbiol.* **112**, 119-126.
- Rodríguez, J. Á., Pérez, B. S., Armengol, A. I. I., & Penedo, I. B. (2022). *¿Hemos llegado al techo de producción ganadera?* The Conversation. Recuperado el 28 de febrero de 2022 de <https://theconversation.com/hemos-llegado-al-techo-de-produccion-ganadera-174669>.
- Ryan, T. J., Livingstone, P. G., Ramsey, D. S., de Lisle, G. W., Nugent, G., Collins, D. M., y Buddle, B. M. (2006). Advances in understanding disease epidemiology and implications for control and eradication of tuberculosis in livestock: the experience from New Zealand. *Vet. Microbiol*, **112**, 211-219.
- Schelling E, Diguimbaye C, Daoud S, Nicolet J, Boerlin P, Tanner M, Zinsstag J. (2003). Seroprevalencias de brucelosis y fiebre Q en pastores nómadas y su ganado en Chad. *Prev Vet Med*. **61** (4):279–293.
- Serrano, J. M., Moreno T., Pons, R. M. y Lara, R. S. (2008). Evaluación de programas de formación de profesores en métodos de aprendizaje cooperativo, basada en análisis de ecuaciones estructurales. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, **10** (2).
- Spickler, A. R. (2018). Brucellosis: *Brucella melatensis*. Recuperado el 27 de abril de 2022 de <http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/factsheets.php>.
- Sweetline A. N., Ronald B. S., Kumar T. M., Kannan P., Thangavelu A. (2017). Molecular identification of *Mycobacterium tuberculosis* in cattle. *Veterinary Microbiology* **198**, 81-87.

- Torres A. 2010. Consideraciones económicas internacionales sobre las enfermedades agrícolas y los costos para la salud humana de las enfermedades zoonóticas. *Ann NY Acad Sci.* **894**:80-2.
- Tukana A, Gummow B. (2017). Dairy farm demographics and management factors that played a role in the re-emergence of brucellosis on dairy cattle farms in Fiji. *Trop. Anim. Health Prod.* **49**(6), 1171-1178.
- USDA/APHIS (United States Department of Agriculture/Animal and Plant Health Inspection Services), 2003. Availability of an Environmental Assessment for Licensing of *Brucella abortus* Vaccine, Strain RB-51, Live Culture. **68**, 7761.
- Vicente, J., Hofle, U., Garrido, J. M., Fernandez-de-Mera, I. G., Juste, R., Barral, M., y Gortazar, C. (2006). Wild boar and red deer display high prevalences of tuberculosis like lesions in Spain. *Vet. Res.* **37**, 107-119.
- Vicente, J., Hofle, U., Garrido, J. M., Fernandez-de-Mera, I. G., Acevedo, P., Juste, R., Barral, M., y Gortazar, C. (2007). Risk factors associated with the prevalence of tuberculosis like lesions in fenced wild boar and red deer in south central Spain. *Vet. Res.* **38**, 451-464.
- Zinsstag, J., Crump, L., Schelling, E., Hattendorf, J., Maidane, Y. O., Ali, K. O., Muhummed, A., Umer, A. A., Aliyi, F., Nooh, F., Abdikadir, M. I., Ali, S. M., Hartinger, S., Mäusezahl, D., de White, M. B. G., Cordon-Rosales, C., Castillo, D. A., McCracken, J., Abakar, F., Cissé, G. (2018). Climate change and One Health. *FEMS Microbiology Letters*, **365**(11).