



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Plumbismo en aves silvestres

Lead intoxication in wild birds

Autor/es

Estel Clopes Ribas

Director/es

Lluís Luján Lerma

Javier González Esteban



Facultad de Veterinaria

2019

ÍNDICE

1. Resumen.....	2
2. Introducción.....	3
2.1. Plomo.....	3
2.2. Toxicocinética.....	3
2.3. Mecanismos de acción.....	5
3. Justificación y objetivos.....	5
4. Metodología.....	6
5. Resultados y discusión.....	7
5.1. Causas de intoxicación.....	7
5.2. Afectaciones generales.....	9
5.2.1. Afectaciones clínicas.....	9
5.2.2. Afectaciones subclínicas.....	11
5.2.3. Hallazgos de necropsia.....	14
5.2.4. Métodos diagnósticos.....	16
5.2.5. Tratamiento.....	16
5.3. Casos del centro de recuperación de fauna silvestre de la Alfranca.....	17
5.4. Sostenibilidad de la caza con plomo.....	21
5.4.1. Alternativas al plomo.....	23
5.4.2. Afectación a humanos.....	24
5.4.3. Legislación actual.....	25
6. Conclusiones.....	27
7. Valoración personal.....	28
8. Bibliografía.....	29

1. RESUMEN

El plomo es un metal tóxico que causa importantes morbilidades y mortalidades en animales salvajes, siendo las aves la clase taxonómica más afectada. Las intoxicaciones son causadas principalmente por la ingestión, por parte de las aves acuáticas, de perdigones de plomo presentes en los ecosistemas como residuos de la caza realizada en humedales. Estudios recientes han demostrado que no solo estas especies se ven afectadas, también tiene especial importancia en carroñeros y rapaces que desarrollan la intoxicación a través del consumo de presas contaminadas. Se realizó una revisión de los casos diagnosticados en el centro de recuperación de fauna silvestre de la Alfranca (Zaragoza) y se observó que aunque la causa de muerte pueda ser otra, la intoxicación está presente en el animal de forma subclínica y afecta a una amplia variedad de especies carroñeras y rapaces. La caza con este tipo de municiones no solo supone una contaminación de los ecosistemas y una disminución de su fauna, también puede producir efectos negativos en los seres humanos mediante el consumo de carne proveniente de la caza con plomo. Sería necesario la sustitución del plomo por otros elementos inocuos, mediante la modificación de la legislación vigente y la concienciación de los cazadores.

ABSTRACT

Lead is a toxic metal which causes important morbidities and mortalities in wild animals, birds being the most affected taxonomic class. Intoxications are principally caused with the ingestion, by waterfowl, of lead pellets found in ecosystems as a waste from hunting practiced in wetlands. Recent studies demonstrated that not only this species are affected, it also has special importance in scavengers and predatory birds which develop the intoxication by consuming contaminated preys. A review of the cases found at the Alfranca (Zaragoza) recuperation center of wildlife was made and it was observed that although death cause can be different, intoxication is present at the animal in a subclinic way and it affects a wide variety of scavengers and predatory birds species. Hunting with this type of ammunition does not only entail a contamination of the ecosystems and a decrease of wildlife, it can also produce negative effects in humans by consuming game meat hunted with lead pellets. It would be necessary to replace lead with other innocuous elements, with the modification of the current legislation and raise awareness hunters.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. PLOMO

El plomo es un metal pesado tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. De color azulado blanquecino a gris, se encuentra como Pb (del latín *plumbum*) en la tabla periódica y su principal fuente de extracción es el mineral conocido como galena, perteneciente al grupo de los sulfuros, aun que también puede ser extraído de los minerales cerusita o anglesita. Es probablemente el primer elemento tóxico reconocido por el ser humano y tiene una gran importancia debido a su extendido uso. Antiguamente era usado en pintura, aditivos para gasolina, materiales para construcción, entre otros y en la fabricación de vino para hacer más suave su sabor y su color. Actualmente, aún persiste su uso en algunos países como aditivo para la gasolina o en la pintura, pero las principales fuentes de contaminación ambientales son la explotación minera, la metalurgia y las actividades de fabricación y reciclaje. Más de tres cuartos del consumo mundial de este metal están dirigidos a la fabricación de baterías de vehículos a motor (Thompson, 2007).

En los últimos años, la intoxicación por plomo o plumbismo en humanos ha ido disminuyendo por la regulación del uso de productos que contienen este metal. En salud animal su disminución ha sido menos notable, persisten altas frecuencias de casos en ciertas especies y es más común que la intoxicación por otros tipos de metales (Thompson, 2007).

2.2. TOXICOCINÉTICA

La entrada principal del plomo en el organismo es a través del sistema digestivo, aunque dependerá de la forma en que este se encuentre y el estado fisiológico del animal en cuestión (Thompson, 2007). Por ejemplo, las partículas menores a 0,5 μm pueden ser absorbidas por pulmón y las mayores a este tamaño serán ingeridas por el animal y pasarán directamente a digestivo, generando una exposición oral. La naturaleza en la que se encuentra el plomo también es importante ya que los componentes orgánicos de este serán mejor absorbidos que las sales inorgánicas, pudiendo pasar en algunas circunstancias a través de la piel (Haschek et al., 2013).

En la absorción llevada a cabo en el tracto digestivo, el metal entrará por la cavidad oral y se dirigirá a estómago, donde las partículas finas y las sales de plomo son susceptibles de ser

solubilizadas en el ambiente ácido que existe en tal órgano, aunque este será un proceso influenciado por dieta o el tamaño de la partícula (Thompson, 2007). Seguidamente pasará a intestino delgado, lugar donde se producirá la mayor absorción aunque solo una pequeña parte del plomo ingerido es asimilado, aproximadamente un 1-2%, debido a que en el tracto alimentario se forman complejos insolubles (Jubb et al., 2016). La asimilación estará condicionada a fenómenos que van a hacer que exista una mayor o menor absorción del metal. Niveles bajos de calcio, zinc o hierro en el organismo pueden causar un aumento de la absorción de plomo, este fenómeno se ve agravado si existen cantidades de grasa superiores a las normales, que junto con el déficit de minerales (sobre todo de calcio), genera un aumento en la asimilación del tóxico en cuestión. La fisiología del animal también será un factor importante a tener en cuenta, afecta en mayor medida a animales jóvenes y animales en gestación, actuando principalmente en el feto en desarrollo, gracias a su capacidad para atravesar la barrera placentaria, o en lactantes debido a que puede estar contaminando la leche (Thompson, 2007).

El plomo, una vez ha sido absorbido en el tracto digestivo, pasará a sangre siendo transportado en las membranas de los eritrocitos, los cuales lo distribuirán por el organismo, acumulándose y afectando en mayores concentraciones en hueso, dientes, pulmón, riñón, bazo, hígado y cerebro. En los tejidos blandos, el metal se fijará a varias proteínas y se acumulará en la matriz del hueso actuando como reservorio inerte de plomo en el cuerpo. Sustituirá el calcio de la matriz del hueso, resultando algunas veces en toxicosis constante una vez ha finalizado la exposición directa al metal. Su movilización puede estar causada por procesos que promueven la remodelación del hueso, tales como fracturas, lactación o gestación o bien por acción de quelantes. Es capaz de cruzar la barrera hematoencefálica y concentrarse en la materia gris del cerebro, causando la clínica nerviosa que caracteriza esta intoxicación (Haschek et al., 2013).

Se excreta principalmente por tres vías: leche, bilis y orina. En bilis y en riñón se elimina muy lentamente. En riñón se filtra inicialmente por la zona glomerular y se genera una pérdida ya significativa en la zona de los túbulos renales, donde se suele concentrar. La acción de los quelantes aumentará la excreción por orina (Jubb et al., 2016).

Todos estos procesos pueden tener variaciones, no todas las especies presentan las mismas sensibilidades o sintomatología clínica.

2.3. MECANISMO DE ACCIÓN

El plomo interfiere en varios procesos bioquímicos desarrollados en el organismo, inhibiendo principalmente a ciertas enzimas y provocando cambios en el metabolismo del calcio y la vitamina D. Contribuye al estrés oxidativo, causado por un desequilibrio entre la actividad de los radicales libres y la actividad antioxidante, e interfiere en la formación de la hemoglobina disminuyendo la biosíntesis del grupo hemo a través de la inhibición de enzimas como la porfobilinógeno sintasa y la actividad de la ferroquelatasa. Este fenómeno, junto con un aumento de la fragilidad de los glóbulos rojos, producirá anemia en el animal (Thompson, 2007).

A nivel cerebral se produce una alteración en la barrera hematoencefálica, por exposición a altas dosis del metal, que generará edema. La presión intracraneal aumenta por causa del edema generado y cuando esta presión alcanza valores similares a los de la presión sistémica, se desarrolla la isquemia cerebral. A nivel neuronal, inicialmente se activan las quinasas en los extremos finales del nervio y posteriormente se produce un bloqueo de los canales de calcio dependientes de voltaje, alterando así la liberación de los neurotransmisores. Los efectos neurotóxicos están asociados a la capacidad del plomo para inhibir o mimetizar la acción de ciertos metabolitos o bien a la alteración indirecta que se produce en la microvascularización, que tiene un efecto dañino en los astrocitos que dan la señal para el mantenimiento de la integridad de la barrera hematoencefálica, lo que genera necrosis en neuronas (Thompson, 2007).

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En la actualidad, el plumbismo es una patología relevante en el ámbito de salud animal, se trata de la intoxicación por metales pesados más importante y perjudica a varias especies. Concretamente, es un grave problema en aves silvestres que se ven afectadas por el tipo de municiones que se usan en la caza, perdigones de plomo que son los causantes principales de la intoxicación. Afecta mayoritariamente a anátidas y en múltiples estudios realizados en distintas zonas geográficas y con varias especies, se ha demostrado que también puede ser causante de un gran número de muertes de aves rapaces y carroñeras, que presentan la patología de forma subclínica y pueden no ser diagnosticadas, atribuyendo sus muertes o afectaciones a otras causas.

Al contrario que en la especie humana, el plumbismo en aves va en aumento y cada vez son más los casos que aparecen en especímenes de vida libre, algunos con signos clínicos característicos de la intoxicación y otros con muertes o afectaciones relacionadas con niveles subclínicos de plomo en sangre. Es una patología estudiada y desarrollada por varios autores, pero la información de la cual se dispone actualmente no permite un enfoque a nivel global de la gravedad que esta presenta, los datos obtenidos no son suficientes para concienciar del gran peligro que esta supone, no solo para las especies afectadas, sino también para los ecosistemas y el ser humano.

Los objetivos a alcanzar en este Trabajo de Fin de Grado son:

- Realizar una revisión bibliográfica que permita obtener información y una visión global de la intoxicación por plomo en aves silvestres.
- Profundizar en la bibliografía para demostrar la gravedad del problema y describir afectaciones que no son usualmente citadas en la bibliografía básica.
- Recopilar datos de casos de aves con plumbismo de un centro de recuperación de animales salvajes para poder comprobar de forma directa la gravedad e importancia de esta patología y poder corroborar la información bibliográfica revisada.
- Investigar las implicaciones de esta patología y sus causas más allá de la afectación a las propias aves para descubrir si puede causar problemáticas a otros niveles como son la salud humana, la conservación de los ecosistemas y la economía.

4. METODOLOGÍA

Se ha realizado una revisión bibliográfica de distintas fuentes para poder obtener y desarrollar la información recopilada en el trabajo. Principalmente se han utilizado publicaciones científicas de bases de datos como PubMed, Web of Science y Science direct mediante el uso de palabras clave o una combinación de ellas: *lead*, *plumbism*, *intoxication*, *wildlife*, *bird*, *waterfowl*, *raptor*, *scavenger*, *ammunitio*, *shot*, *poisoning* (plomo, plumbismo, intoxicación, fauna, ave, ave acuática, rapaz, carroñero, munición, perdigón, intoxicación), para poder obtener información sobre este tipo de intoxicación y como ha ido evolucionando y afecta actualmente en las aves. La revisión de libros también ha sido importante para entender

las cuestiones relacionadas con las características principales del elemento, la toxicocinética que presenta y sus mecanismos de acción, para establecer así una información básica que introducirá el tema a tratar. Las diversas fuentes consultadas durante la realización del trabajo han sido referenciadas usando el estilo utilizado por *Journal of Comparative Pathology*.

Para complementar esta información bibliográfica, también se han analizado una serie de datos relacionados con casos de intoxicación por plomo provenientes del Centro de Recuperación de Fauna Silvestre del Gobierno de Aragón, localizado en la reserva de La Alfranca (Zaragoza).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de los múltiples elementos presentes en el medio ambiente que pueden causar una intoxicación, el plomo es uno de los que más casos genera. Por la toxicocinética que presenta y sus mecanismos de acción, la patología generada por plumbismo es una de las principales causas de muerte en animales, tanto domésticos como de vida libre. Este es un hecho muy significativo en aves ya que la intoxicación por plomo causa millones de muertes anuales: solamente en los Estados Unidos de América se estima que existen de 1,5 a 3 millones de muertes en aves acuáticas por año debido a esta causa (U.S. Fish & Wildlife Service, 1990).

5.1. CAUSAS DE INTOXICACIÓN

Las aves de vida libre están expuestas a múltiples sustancias tóxicas localizadas en el medio natural a las cuales se han ido adaptando, pero la actividad del ser humano ha generado un aumento del riesgo a sufrir intoxicaciones, que junto con otras acciones como serían la modificación y destrucción de hábitats, han ocasionado pérdidas de un gran número de especímenes y la extinción o amenaza de extinción de ciertas especies de aves. El plumbismo en aves de vida libre se ha convertido en un fenómeno habitual, principalmente en pantanos y afectando mayoritariamente a aves acuáticas (Bellrose, 1959).

El plomo es introducido en el organismo de las aves principalmente a través de la vía oral mediante la ingestión de perdigones usados en la caza con armas de fuego. Este hecho ha sido demostrado realizando experimentos a nivel laboratorial sobre efectos dosis-dependientes y pruebas de campo en las cuales se han encontrado fragmentos de munición en

el aparato digestivo de aves muertas, mediante de la realización de exámenes postmortem o vivas, mediante el uso de exámenes diagnósticos (radiología principalmente), trozos de munición en regurgitaciones provenientes principalmente de aves rapaces y correlaciones temporales y espaciales entre un aumento de los niveles de plomo en los tejidos de las aves y actividades de caza, entre otros (Pain et al., 2019).

Se puede afirmar que el grupo más afectado son las aves acuáticas y dentro de este es importante destacar a los *Anseriformes*, el orden con mayor número de intoxicaciones dentro del grupo (Pain, 2019). De forma fisiológica, dichas aves ingieren pequeñas piedras, comúnmente conocidas como *grit*, que les ayudan a triturar el alimento en molleja. Los perdigones tienen una forma similar a los *grits*, por lo que causan confusión en los animales y acaban ingiriendo los perdigones por error (De Francisco et al., 2003). Otros hábitos comportamentales y de alimentación influyen en este aspecto, por ejemplo aquellas especies que sumergen su pico en el barro para encontrar comida o bien aquellas que son granívoras, serán más susceptibles a la ingestión de perdigones que otras especies que se alimentan a base de plantas (Bellrose, 1959).

Otro grupo importante a tener en cuenta son los predadores o carroñeros, los cuales pueden exponerse a este toxico a través del consumo de vísceras de animales que hayan sido disparados, ya estén muertos y no hayan sido recogidos por el cazador o bien estén heridos y acaben muriendo tiempo después. Esto ocurre en caza menor y mayor, por ejemplo un alto porcentaje de individuos de lagópodo común (*Lagopus lagopus L.*) (Holmstad, 1998) y liebre de montaña (*Lepus timidus L.*) (Larsen y Nybakk, 2011) son heridos por disparos pero llegan a sobrevivir y los perdigones se quedan insertados en los tejidos del animal. En este caso el toxico pasa a digestivo de carroñeros o rapaces. Debido al pH ácido presente en el proventrículo de dichas especies, con valores que oscilan entre 1 y 2, se produce una disolución más rápida del metal, permitiendo la absorción del tóxico y por lo tanto, su paso a sangre causando la intoxicación (Benson et al., 1974). Actualmente en aves carroñeras, la principal vía de intoxicación por plomo es a través de los proyectiles usados en la caza (Ogada et al., 2012), lo que ha sido demostrado mediante la comparación de la concentración de plomo en sangre en el animal durante y fuera de la época de caza (Legagneux et al., 2014).

Comúnmente se produce una bioacumulación de sustancias a medida que se incrementa el nivel trófico. En el caso del plomo y teniendo en cuenta que este puede ser acumulado en algunos tejidos del organismo, la bioacumulación de este es mínima (Szefer, 1991; Farag et al., 1998). Este hecho es debido a que mayormente el metal se acumula en tejidos como hueso y no en músculo o vísceras, por lo que en las partes de la presa más susceptibles a ser ingeridas por los depredadores no se concentra tanta cantidad del tóxico y

no se aumenta su concentración a medida que se alcanzan niveles superiores en la cadena trófica. También es debido a una biopurificación secuencial del calcio en el organismo que produce una disminución en el ratio plomo/calcio a través de la cadena alimentaria. Generalmente, los niveles de plomo en las presas son mayores a los niveles de plomo en los predadores, debido a una rápida excreción y por la absorción incompleta de metales a través del aparato digestivo (Szefer, 1991).

También es posible la intoxicación a través de una contaminación directa de la hidrosfera, hábitat de estas especies, con elementos como contaminantes industriales (Jorgensen y Willems, 1987). En algunos casos se ha descrito la intoxicación en palomas (*Columba livia*) debido a la inhalación de humo proveniente de coches con combustible en el cual se podían encontrar partículas de plomo (González y Tejedor, 1991).

5.2. AFECTACIONES GENERALES

La intoxicación por este metal comportará una serie de cambios en la fisiología del animal que variarán según las características de la exposición a este tóxico, por lo que se pueden encontrar casos de intoxicaciones agudas, en los cuales las aves suelen ingerir altas cantidades del tóxico en un período corto de tiempo y se produce la muerte del individuo en pocos días o bien casos de intoxicaciones crónicas, que aparecen cuando se consumen pequeñas cantidades de plomo en un largo período de tiempo (Scheuhammer, 1991). De esta forma, se pueden observar casos que presentarán una clínica y por lo tanto unos signos que nos indican que se puede tratar de esta patología o bien podemos tener casos subclínicos que no muestran ningún tipo de signo característico de la intoxicación.

5.2.1. Afectaciones clínicas

Los signos clínicos suelen ir asociados a una exposición crónica al tóxico con niveles que de forma inicial no producirían alteraciones o la muerte del animal, aun que esta ultima puede suceder al final del proceso. Son varios y están directamente relacionados con las afectaciones que el tóxico genera en el organismo. Entre ellos podemos destacar: letargia, anemia, anorexia, pérdida de musculatura, pérdida de reservas de grasa, diarrea de coloración verdosa que puede llegar a manchar la cloaca, caída del ala, pérdida del equilibrio y la coordinación y otras afectaciones neurológicas como convulsiones o parálisis de las extremidades (Pain et al., 2019). En el caso de una exposición aguda, las aves mueren rápidamente sin mostrar ningún

signo clínico. Experimentalmente se ha demostrado que a dosis subletales en gaviotas y otras especies de aves marinas, afecta a la locomoción, el equilibrio, la percepción profunda y puede llegar a incrementar el riesgo de colisión con objetos del medio. Este hecho está relacionado con la capacidad de volar de forma correcta, que se ve afectada también y puede reducir la capacidad para la caza y por lo tanto, derivar en anorexia (Kelly y Kelly, 2005).

Es necesario tener en cuenta que las afectaciones y las variaciones en la fisiología del animal estarán limitadas por la propia biología y el ambiente del individuo, por lo que no siempre se generarán las mismas respuestas a cierta exposición al tóxico. La sensibilidad al plomo puede llegar a variar entre especies y no siempre afecta de forma directa, puede incrementar la susceptibilidad a enfermedades infecciosas, parasitarias o el riesgo de muerte por causas como colisiones con objetos por problemas en musculatura y coordinación o hacer al animal más susceptible de ser cazado o disparado, causando así la muerte de forma indirecta (Pain and Green, 2015).

En la siguiente Tabla 1 se indican los valores de referencia para distinguir entre intoxicaciones a nivel subclínico, clínico y clínica severa, a través de muestras de distintos órganos o sangre.

	Sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	Hígado ($\text{mg}/\text{hg ww}$)	Riñón ($\text{mg}/\text{kg ww}$)	Hueso ($\text{mg}/\text{kg dw}$) ^c
Intoxicación subclínica	20 < 50	2 < 6	2 < 6 ^a	10 - 20
			2 < 4 ^b	
Intoxicación clínica	50 - 100	6 - 10	6 - 15 ^a	> 20
			4 - 6 ^b	
Intoxicación clínica severa	> 100	> 10	> 15 ^a	-
			> 6 ^b	

Tabla 1. Interpretación de la concentración de plomo en distintos tejidos en *Anseriformes*, *Falconiformes* y *Accipitriformes* (Adaptado de Green et al., 2019).

^aAnseriformes

^bFalconiformes y accipitriformes

^cLa concentración en hueso es un indicador de la acumulación a lo largo del tiempo y las concentraciones pueden ser similares en caso de exposición aguda a corto plazo y exposición crónica a largo plazo.

No se han identificado concentraciones sin efecto adverso (*No Observed Adverse Effect Level*, NOAEL), ni predicción de concentración sin efectos (*Predicted No-Effect Concentration*, PNEC) (EFSA, 2010). El plomo en sangre puede ser detectable durante un período de dos semanas (Ecke et al., 2017) pero una baja concentración del metal en una muestra no es

indicativo de que el animal no haya experimentado una intoxicación más severa en otro momento (Burger y Gochfeld, 2001).

5.2.2. Afectaciones subclínicas

La exposición al plomo puede producir en el animal una serie de afectaciones que causarán ciertos signos clínicos que permitan llegar a un diagnóstico de la patología, como se ha comentado anteriormente. Sin embargo, hay ciertas afectaciones que pueden pasar desapercibidas o no son signos claros de una intoxicación por plomo, en tales casos se trata de un plumbismo subclínico que puede generar por ejemplo, afectaciones a nivel comportamental de las aves intoxicadas, variaciones a nivel inmunológico del individuo o a nivel reproductivo y afectaciones a la flora residente o bien parasitaria del organismo del animal. Estos hechos se han comprobado a través de los estudios que se describen a continuación.

Uno de los aspectos más importantes estudiados ha sido la afectación que tiene la intoxicación en los movimientos que realizan de forma normal las aves. Hay distintos factores que determinan y caracterizan el comportamiento y las actividades de las aves (Kelly et al., 2005) sobretodo factores intrínsecos como serían la edad, el sexo del animal, la fisiología que presenta en el momento y su condición corporal y factores externos como la población humana y las actividades que esta realiza, el clima, la presencia de otros individuos y por lo tanto la competición con estos, entre otros factores (Singh et al., 2012). En el año 2014 se realizó un estudio en águilas reales (*Aquila chrysaetos*) de vida libre para poder ver si una intoxicación subletal por plomo podía llegar a afectar a los movimientos normales de esta especie. Se trata de un ave que está ampliamente distribuida a través del hemisferio norte y está catalogada como especie con necesidades especiales de conservación de hábitat por la directiva de aves de los Estados Unidos. En su alimentación, fuera de la época de cría, tienen especial importancia los restos de animales, como podrían ser individuos que han sido disparados por cazadores pero no recuperados del medio, por lo que este águila es susceptible a padecer intoxicación por plomo. En dicho estudio se capturaron 46 individuos en la zona del extremo norte de Suecia y se equiparon con sistemas de seguimiento. Los resultados obtenidos mostraron que la intoxicación a niveles subletales con el tóxico en cuestión genera problemas en los movimientos normales, debidos a alteraciones en el vuelo y un incremento del riesgo de muerte. Este estudio permitió llegar a la conclusión de que muy probablemente la intoxicación subletal por plomo debido a la ingestión de munición hecha con este material, es la principal causa de esta intoxicación en las águilas reales de Suecia. Esta afirmación se

justifica mediante la incapacidad que presentan los animales para realizar el vuelo de forma correcta cuando hay un incremento de concentraciones de plomo en sangre y la correlación positiva que presenta el inicio y el desarrollo de la época de caza de alce (*Alces alces*) y el incremento de la concentración de plomo en sangre de las águilas (Ecke et al., 2017). Aun que el estudio se ha realizado solo en esta especie en concreto, es esperable que surjan los mismos problemas en distintas especies de aves que se alimentan con carroña en zonas donde se realiza caza de fauna salvaje con munición de plomo (Legagneux et al., 2014).

Otro aspecto a tener en cuenta es la inmunotoxicidad que puede llegar a causar el metal en los animales afectados, el cual produce problemas y reducción de la inmunocompetencia de los individuos y contribuye de forma indirecta a la difusión de patógenos, pudiendo llegar a incrementar el riesgo de que se desarrollen enfermedades epidémicas (Hemphill et al., 1971). El plomo afecta a prácticamente todos los componentes del sistema inmune (Dietert y Piepenbrink, 2006).

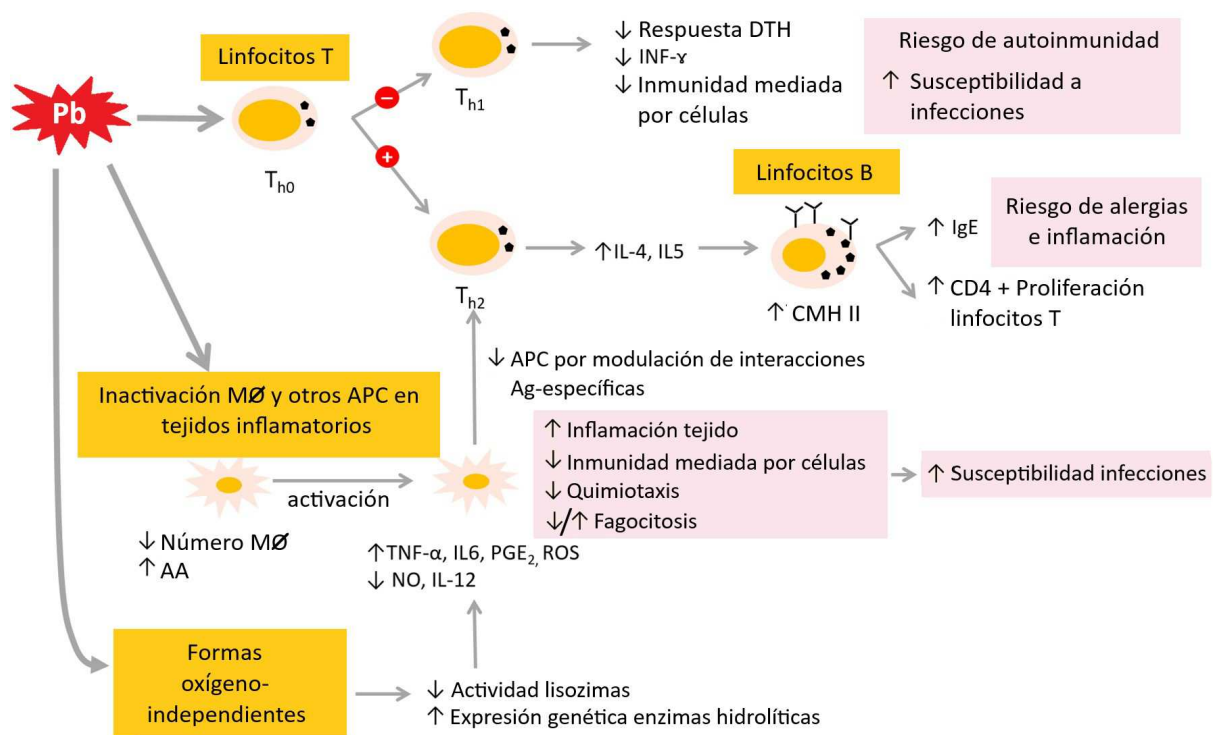


Figura 1. Resumen gráfico que muestra los efectos del plomo en distintos componentes del sistema inmune y las principales consecuencias de dichos efectos. Ver explicación en el texto. T_h: linfocitos T colaboradores. DTH: Hipersensibilidad de tipo tardío. INF: interferón. IL: interleuquinas. CMH: complejo de inmunohistocompatibilidad. Ig: inmunoglobulina. APC: células presentadoras de antígeno. Ag: antígeno. TNF: factor de necrosis tumoral. PG: prostaglandinas. NO: óxido nítrico. MØ: macrófago. AA: ácido arquidónico (Adaptado de Vallverdú et al., 2019).

En la Figura 1, se describen las principales afectaciones que tiene la intoxicación por plomo en el sistema inmunológico de las aves. A nivel de linfocitos Th1 se puede observar una disminución de la hipersensibilidad de tipo tardío (DTH), del interferón gamma (INF- γ) y de la inmunidad mediada por células que producirán una mayor susceptibilidad a infecciones y un aumento del riesgo de autoinmunidad. En linfocitos Th2 se produce un aumento de las interleuquinas (IL) 4 y 5, que afectan a los linfocitos B y causan un aumento del complejo de inmunohistocompatibilidad 2 (CMH II), que a su vez provoca un aumento en las inmunoglobulinas E (IgE) y un aumento del cúmulo de diferenciación 4 (CD4) y la proliferación de células T, lo cual puede llevar a riesgo de alergias y de inflamación. Se produce también una inactivación de macrófagos (MØ) y otras células presentadoras de antígeno (*antigen presenting cells*, APC) en tejidos inflamatorios. Esta disminución de macrófagos y un aumento del ácido araquidónico (AA) de membrana producen un aumento de factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), de las interleuquinas 6, de las prostaglandinas E2 (PGE2) y de las especies reactivas del oxígeno (ROS) y una disminución del óxido nítrico (NO) y las interleuquinas 12. Estos sucesos afectan a linfocitos Th2 y también provocan un aumento de la inflamación del tejido, una disminución de la inmunidad mediada por células y de la quimiotaxis y un aumento o disminución de la fagocitosis, pudiendo causar finalmente un aumento de la susceptibilidad a infecciones. Se produce también una disminución en las lisozimas y un aumento de la expresión genética de enzimas hidrolíticas. Algunas de estas afectaciones pueden solo aparecer con ciertas acciones estresantes y pueden variar según el estado, fisiología y especie del animal o bien otros factores externos (Vallverdú-Coll et al., 2019).

En humanos se ha demostrado que una exposición temprana a plomo puede derivar en comportamientos impulsivos o agresivos (Nevin, 2000) y también en el hámster dorado (*Mesocricetus auratus*) se ha demostrado una correlación positiva entre la exposición a plomo durante el desarrollo y un comportamiento agresivo (Deville, 1999). Un estudio realizado en la especie aviar carbonero común (*Parus major*) demostró que la exposición a metales pesados (en los cuales se destaca el plomo) producía ciertas alteraciones comportamentales en estas aves. La acción más destacable observada fue que los machos realizaban vuelos más agresivos alrededor de lo que representaba un intruso para el nido, y se concluyó que este incremento de agresividad territorial podía suponer una alteración en la cría de los polluelos ya que se invertiría menor tiempo y energía en realizar esta acción (De Ridder et al., 2000). Este hecho puede ser debido a alteraciones a nivel hormonal causadas por la exposición al tóxico, ya que las modificaciones hormonales pueden asociarse a altos niveles de metales pesados. Las hembras también pueden verse afectadas, experimentan estrés como resultado directo o

indirecto (limitación de comida) a la exposición a altas concentraciones del tóxico y se puede producir un incremento de las interrupciones en la puesta. Estas alteraciones pueden generar problemas a nivel reproductivo y de cría en la especie (Janssens et al., 2003). El plomo no solo afecta a la reproducción mediante una modificación del comportamiento, también interfiere en un correcto desarrollo a nivel testicular que se describe en el siguiente apartado.

No solo las aves se verán afectadas por este problema, también se genera un impacto en la biodiversidad que reside en el organismo de estos animales. Los helmintos presentes en los intestinos de las aves se ven alterados por la intoxicación, la cual provoca una disminución en las poblaciones de dichos parásitos. Estos son bioindicadores útiles para advertir cambios en los ecosistemas, un descenso en el número de dichos individuos es indicativo de una reducción de la biodiversidad del entorno (Prüter et al., 2018).

5.2.3. Hallazgos de necropsia

Los hallazgos de necropsias que se pueden encontrar en aves que hayan sufrido una intoxicación pueden ser variables, de la misma forma que lo son las afectaciones clínicas. Un estudio realizado en 15 ejemplares de cisne cantor (*Cygnus cygnus*) que presentaban intoxicación por plomo a nivel subagudo, mostraron diarrea verdosa en la zona de la cloaca, hígados de coloración verdosa manchados por la bilis, distensión de la vesícula biliar, impactación del proventrículo (retención y desecación de la ingesta), manchas verdes e hiperqueratosis focal en el revestimiento de la molleja, riñones pálidos o verdosos y edema o gelatinización de la medula en la diáfisis del fémur, compatible con atrofia serosa y, por tanto, caquexia (Ochiai et al., 1992).

ÓRGANO	HALLAZGOS DE NECROPSIA	PREVALENCIA
HÍGADO	Coloración verdosa	10/15 (66,6%)
	Inflamación	3/15 (20%)
VESÍCULA BILIAR	Distensión	14/15 (93,3%)
RIÑONES	Palidez	7/15 (46,6%)
	Coloración verdosa	4/15 (26,6%)
PROVENTRÍCULO	Impactación	11/15 (73,3%)
VENTRÍCULO (MOLLEJA)	Mancha de bilis en revestimiento	15/15 (100%)
	Hiperqueratosis	14/15 (93,3%)
MÉDULA ÓSEA	Edema o gelatinización	7/14 (50%)

Tabla 2. Hallazgos más destacables de la necropsia de 15 cisnes cantores (*Cygnus cygnus*) con plumbismo (Adaptado de Ochiai et al., 1992).

A nivel histológico, los hallazgos más destacables fueron: hemosiderosis e ictericia hemolítica en hígado, atrofia folicular y disminución de linfa en bazo, tubulonefrosis en los riñones, hipoplasia de la médula del hueso con un incremento en el número de eritroblastos policromáticos y necrosis miocárdica focal con fibrosis (Ochiai et al., 1992).

En otro estudio, realizado por Almansour (2009), se demostró que la intoxicación por plomo también puede afectar a nivel testicular. Se usó a machos adultos de codorniz común (*Coturnix coturnix*) divididos en grupos de 12 y se les hizo ingerir dosis ascendentes del tóxico durante 6 meses (usando a 1 de los 12 grupos como control, cuyos animales no ingirieron el tóxico). Como resultado final se demostró que una exposición crónica subtoxica al plomo puede causar cambios importantes en el tejido testicular de los individuos expuestos y genera alteraciones a nivel vascular, intersticial y tubular. Los hallazgos del estudio fueron: hiperplasia de las células de Leydig, edema intersticial entre los túbulos seminíferos, aumento del espesor de la membrana basal de los túbulos seminíferos por proliferación de fibroblastos, cambios tubulares degenerativos como células espermáticas gigantes y multinucleadas, picnosis del núcleo del espermatozoide, descamación del espermatocito, alteraciones vasculares varias y atrofia de los túbulos seminíferos.

5.2.4. Métodos diagnósticos

El diagnóstico de una intoxicación puede ser realizado con múltiples pruebas, pero debido a las dificultades que presentan los animales de vida libre solo algunas serán factibles.

Inicialmente, es necesario realizar una exploración de la sintomatología que presenta el animal, que puede informar e indicar claramente una patología generada por una intoxicación. El método laboratorio principal será la medición directa de concentraciones de metal en sangre, suero o tejidos (Markowitz y Rose, 1991). La concentración de plomo en sangre es el principal indicativo de exposición a plomo y cantidad presente del metal en el organismo usado en estudios epidemiológicos y experimentales. En sangre también se puede medir la actividad de ciertas enzimas como la ALAD (*Delta-aminolevulinic acid dehydratase*) y la ferroquelatasa que son indicativas de exposición a plomo (Murase et al., 1992). Este examen se complementa con muestras de orina para determinar la diuresis del metal, pero en el caso de aves y debido a las dificultades que presentan, la prueba en orina no se realiza (Humphreys, 1990).

La radiología es una prueba diagnóstica muy importante a la hora de valorar una intoxicación por plomo a través de la observación de fragmentos del metal presentes en el animal. Tiene ciertas limitaciones: puede resultar complicado diferenciar los perdigones y los grit localizados en la molleja o existe la posibilidad de que estas ya no se encuentren en el órgano por que han sido regurgitadas o expulsadas por cloaca (Hovette, 1972). Otro problema que aparece con esta prueba es la viabilidad de realizar las radiografías a animales de vida libre que han sido capturados.

En animales muertos se realizan necropsias para poder corroborar otras pruebas diagnósticas que indican una patología causada por este metal.

5.2.5. Tratamiento

El tratamiento de una intoxicación por plomo consiste en (Mautino, 1997):

- Retirar el metal en caso de que se encuentre localizado en sistema digestivo mediante el uso de técnicas como la endoscopia, lavado, laparotomía, uso de catárticos o mediante la manipulación de la dieta. El método se elige según el estado del individuo a tratar y la especie.

- Uso de quelantes. Su uso puede provocar un aumento en la absorción gastrointestinal del metal si este no ha sido extraído del sistema digestivo, por lo que es necesario realizar la extracción previa al uso de quelantes.

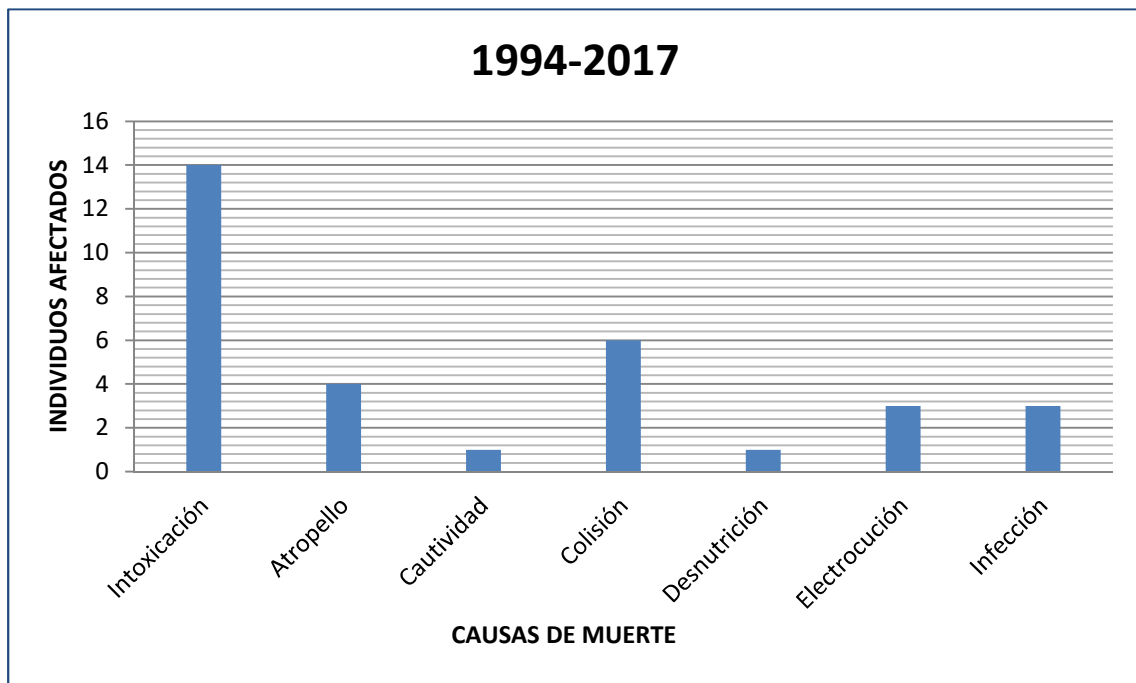
En las aves de vida libre el tratamiento es poco viable, solo es posible su uso en aquellos casos en los que los animales pueden ser capturados y son diagnosticados y tratados en centros de recuperación de fauna silvestre.

5.3. CASOS DEL CENTRO DE RECUPERACIÓN DE FAUNA SILVESTRE DE LA ALFRANCA

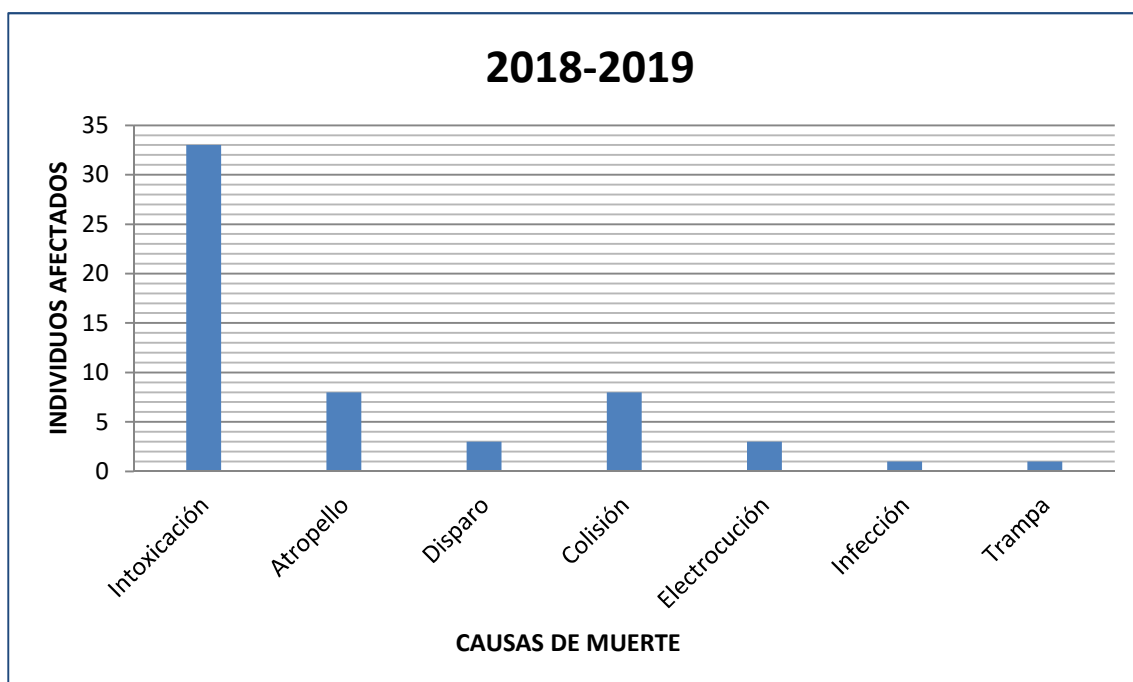
El centro de recuperación situado en la Alfranca es un hospital veterinario que atiende a animales salvajes de especies protegidas que son encontrados vivos, con distintos tipos de patologías, o bien muertos en la comunidad autónoma de Aragón. Las funciones principales que desarrolla este centro son: Atender a los animales que son hallados heridos o enfermos, para liberar aquellos que puedan ser viables en el medio, realizar necropsias de los ejemplares muertos para recabar información y elaborar un archivo informatizado que permita a la administración encargada planificar actuaciones y medidas correctoras para la mejora del medio natural.

Las aves son los especímenes que con más frecuencia llegan al centro y la intoxicación por plomo es una patología hallada usualmente entre los casos que entran a este. Sin embargo, los animales diagnosticados con intoxicación por este metal que entraron al centro en el período comprendido entre 1994 y 2018 son pocos. Esto es debido a que se tiende a infravalorar esta patología en España ya que el plumbismo crónico suele ser solamente considerado en aves acuáticas que ingieren los perdigones para poder usarlos a modo de *grit*, como se ha comentado anteriormente. Por lo tanto, no se solía incluir esta patología en el diagnóstico diferencial de las aves rapaces que entraban al centro con cuadros que no eran estrictamente característicos de intoxicación por plomo y solo se enviaban muestras de sangre a laboratorio para detectar los niveles de plomo en aquellos individuos que si que presentaban los cuadros característicos de la patología o se sospechaban niveles subletales del metal en sangre. En 2018, los casos aumentaron notablemente debido a la introducción al centro de la tecnología adecuada para realizar análisis del metal en sangre. Esto ha supuesto un cambio importante en el diagnóstico de los animales, ya que ha permitido observar que muchas de las muertes que eran atribuidas a casos de desnutrición o accidentes por ejemplo, en realidad eran causadas por intoxicaciones por plomo que pasaban desapercibidas. Como se ha

explicado en apartados anteriores, el pH del ventrículo de las aves rapaces es mucho más ácido que el de las anátidas, por lo que el plomo se disuelve más y con mayor rapidez, causando afecciones agudas en sistema nervioso y parálisis del tracto digestivo. Los registros indican que existe en el archivo de la Alfranca un total de 32 casos desde 1994 hasta el año 2017 (incluido), una media de 1,3 casos por año. Sin embargo, los casos que aparecieron durante el año 2018 y hasta el 4 de noviembre de 2019 son un total de 57 individuos, 28,5 casos de media por año. Se puede observar una gran diferencia, que se justifica por la adquisición del aparato que mide niveles de plomo en sangre, que permitió detectar aquellos especímenes que no presentaban signos claros de intoxicación.



Gráfica 1. Causas de muerte de las aves ingresadas en el centro de recuperación de fauna silvestre de la Alfranca en las que se detectó exposición a plomo, durante 1994 hasta 2017 (incluido).

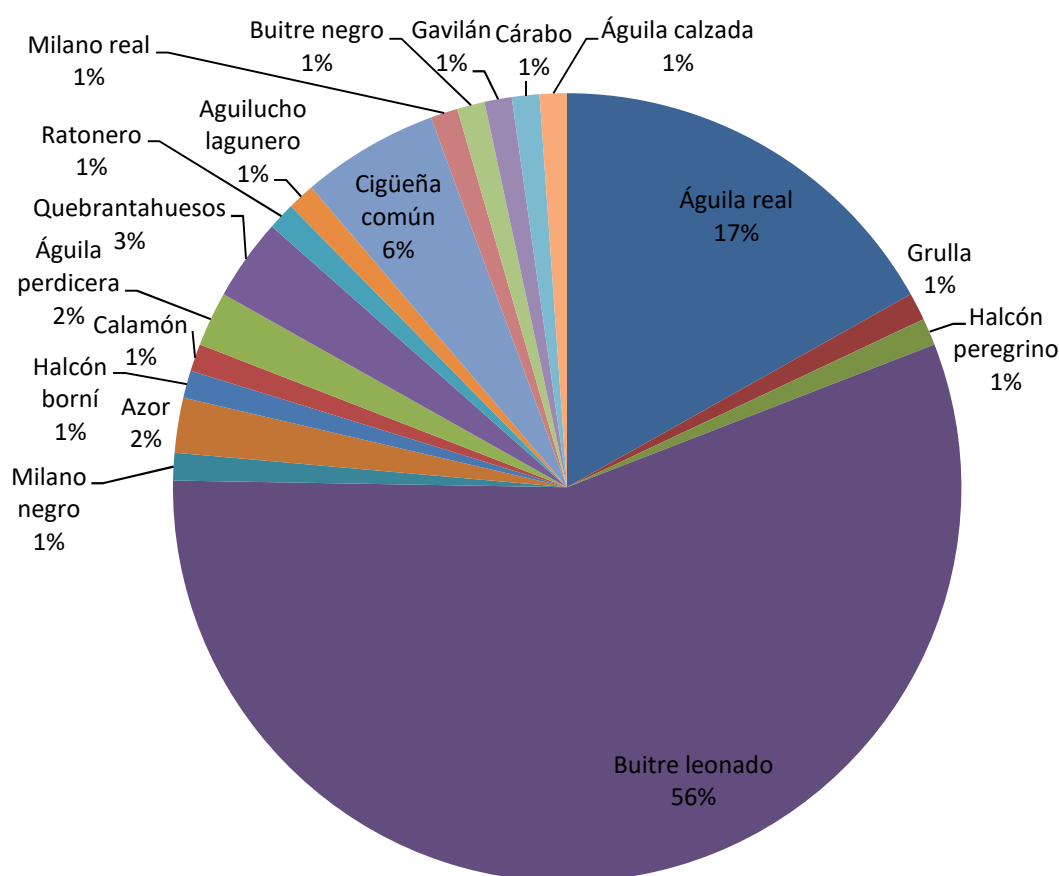


Gráfica 2. Causas de muerte de las aves ingresadas en el centro de recuperación de fauna silvestre de la Alfranca en las que se detectó exposición a plomo, durante 2018 hasta el 4 de noviembre de 2019.

Todas las columnas de la Gráfica 1 representan todos los casos positivos (n=32) a intoxicación por plomo que fueron detectados tras una sospecha clínica y un análisis de sangre posterior, agrupados por la causa principal de muerte, durante el período 1994-2017. La mayoría de los casos donde la causa de muerte es una afección distinta a la intoxicación, son casos en los que se encontraron niveles subletales de plomo que favorecieron otras causas de muerte. En el caso de muerte por atropello, colisión o por electrocuciones, muchos de los animales presentaban restos de perdigones en ventrículo, presencia de disparos previos a la muerte o bien ingestión de presas con contaminación por plomo. En uno de los casos se describe como causa de muerte la cautividad, esto es debido a que se trataba de un ave mantenida por un particular, la cual se encontraba sujeta con anillas metálicas que generaron una sospecha de posible intoxicación.

Todas las columnas de la Gráfica 2 representan todos los casos positivos (n=57) a intoxicación por plomo detectados aleatoriamente, tras una analítica realizada en el mismo centro para la detección de niveles de plomo en sangre, agrupados por la causa principal de muerte, durante el período 2018-2019. Destaca el marcado aumento del número de casos de intoxicación por plomo a más del doble en un periodo de tan solo dos años, comparado con un periodo de 23 años. En algunos de estos individuos se hallaron también durante la realización

de la necropsia indicaciones de intoxicación, como son la presencia de presas con restos de perdigones de plomo en aparato digestivo.



Gráfica 3. Especies de individuos muertos relacionados con la intoxicación por plomo del centro de recuperación de fauna silvestre de la Alfranca.

Las especies más afectadas por plumbismo del centro de recuperación son el Buitre leonado (*Gyps fulvus*) con un total de 50 individuos y el águila real (*Aquila chrysaetos*) con 15 individuos. Se trata de dos especies depredadoras que justifican la grave alteración que el plomo produce en rapaces y carroñeros y corrobora el hecho de que no solo las aves acuáticas se ven afectadas. Es posible afirmar que se produce una intoxicación mediante la ingestión de presas que contienen en su organismo perdigones, hallados en varios de los especímenes en los cuales se ha realizado necropsia, y que es relevante la patología que puede llegar a causar en este tipo de animales. La tercera especie más frecuente con un total de 5 individuos es la cigüeña común (*Ciconia ciconia*) que puede encontrarse en hábitats húmedos en busca de alimentación, por lo que se ve afectada por la acumulación del metal en este tipo de áreas. Las

demás especies presentan características de hábitat o depredación similares, pero el número de casos existentes es menor.

5.4. SOSTENIBILIDAD DE LA CAZA CON PLOMO

La sostenibilidad es un término que se define como la capacidad para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias, generando ningún daño y teniendo en cuenta el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Aplicada a la caza, se considera sostenible aquella que no pone en peligro la conservación de la biodiversidad, selecciona las especies a las cuales es aplicable y no produce un sufrimiento evitable al animal. El cumplimiento estricto de la legislación establecida en las distintas zonas existentes de caza y las buenas prácticas de actuación determinadas para cada área son principios fundamentales para mantener tal situación (Kanstrup, 2018).

Como se ha descrito, el uso de perdigones de plomo afecta directa e indirectamente a las poblaciones de aves a nivel mundial y la dispersión de dicho elemento en los ecosistemas, principalmente en zonas pantanosas, genera un daño para el medio. El acumulo de tal contaminante supone una afectación tanto para las presas como los depredadores, provoca una disminución de los individuos susceptibles a ser cazados y altera la conservación de ciertas especies y de su hábitat. Es necesario de 100 a 300 años para que este metal se degrade y desaparezca físicamente del medio. Teniendo en cuenta que cada cartucho usado con armas de fuego contiene 280 perdigones aproximadamente, pesa unos 35 gramos, será preciso más de un disparo para acertar al animal y finalmente solo algunos de los perdigones impactarán en el individuo, es posible estimar que por cada disparo unos 1000 perdigones se dirigirán y se mantendrán en el ecosistema (U.S. Fish & Wildlife Service, 1990). Se calcula que se acumulan unos 2 billones de perdigones anuales provenientes de la caza y tiro recreativo en los ecosistemas a nivel mundial (De Francisco et al., 2003). En las zonas en las que la caza es frecuente podemos encontrar un mayor número de municiones, siendo las áreas con abundante presencia de agua las más afectadas debido a la presencia de gran número de especies de interés para los cazadores, con rangos de algunos a miles de perdigones por metro cuadrado (O'Halloran et al., 1988).

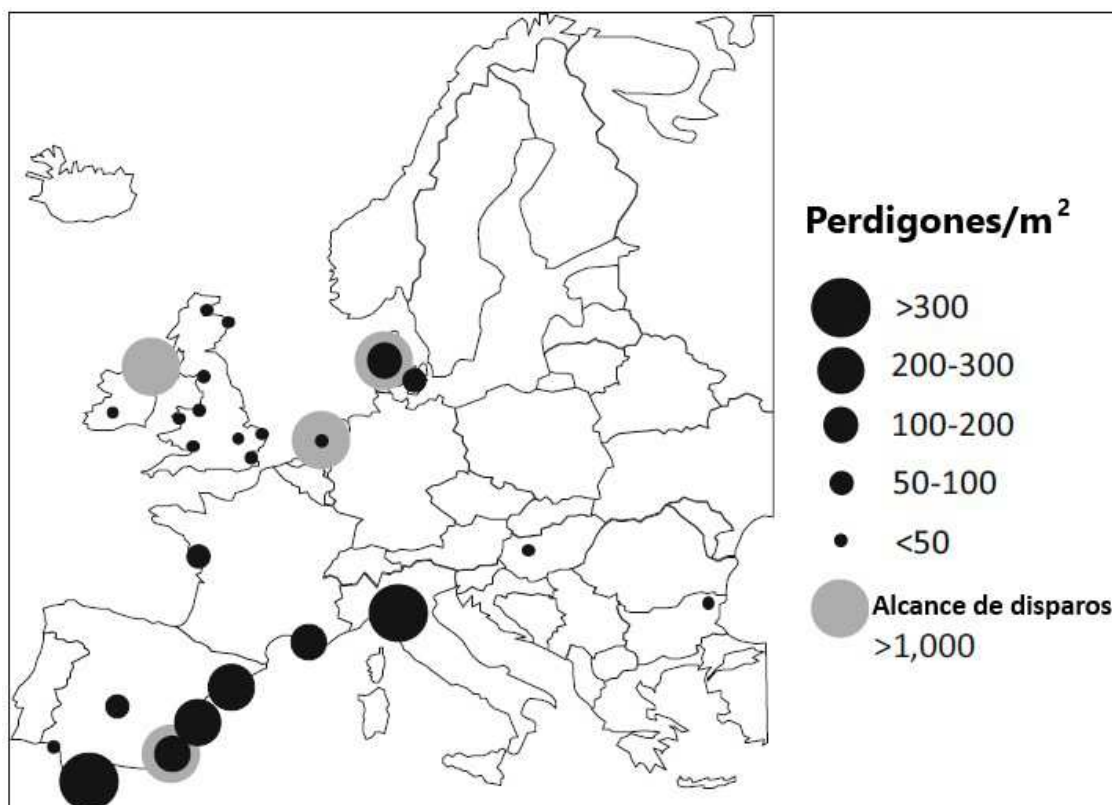


Figura 2. Densidades de perdigones de plomo en zonas pantanosas con amplia actividad de caza de aves acuáticas (Adaptado de Pain et al., 2019).

Las afectaciones letales y subletales que este tóxico produce afectan a múltiples especies de forma no selectiva, el metal dispersado por el medio es susceptible a ser ingerido por cualquier espécimen que habite la zona y puede afectar a individuos no seleccionados por los cazadores. Las consecuencias que presenta el uso de este tipo de municiones en el bienestar animal no han sido ampliamente estudiadas debido a las dificultades de su medición, aun así es posible afirmar que la exposición a ciertas dosis de plomo pueden provocar alteraciones en el bienestar y la salud de los individuos que están expuestos, causando estados clínicos en los que los animales presentan claros signos de malestar, estrés y dolor o bien estados subclínicos que modifican la fisiología del animal y pueden provocar una patología de forma indirecta (Kanstrup et al., 2018).

Mediante tales argumentos, es posible afirmar que la caza con munición de plomo no es sostenible. Altera el medio natural y la conservación de este, se rompe la norma de selección de especies y produce en los animales sufrimiento que podría ser evitable (Kanstrup et al., 2018).

Se calcula que aproximadamente un millón de aves muere anualmente en Europa por intoxicación con perdigones de plomo y otros tres millones de individuos sufren intoxicaciones

subletales con sus correspondientes consecuencias. La pérdida económica anual causada por la mortalidad de aves acuáticas que ingieren perdigones de plomo varía entre 100-200 millones de euros en la Unión Europea, por lo que podemos afirmar que la caza también tiene una afectación a nivel económico. En 2018, se realizó un estudio para poder determinar la viabilidad de la prohibición total del uso de plomo en la caza, en el que se analizaron las pérdidas económicas generadas por la intoxicación con plomo en aves, incluyendo los proyectos que es necesario implementar para la recuperación de los ecosistemas, y las pérdidas que conllevaría el uso de materiales alternativos. Cuando existe una situación en la cual se produce un daño a los recursos naturales y este afecta a las poblaciones de aves, hay tres tipos de procedimientos que es posible llevar a cabo para recuperar las poblaciones afectadas: Implementación de proyectos de recuperación de hábitats que generen beneficios ecológicos para las aves, reducción de la mortalidad que deriva de otras causas que tengan una prevención más factible o programas de reintroducción de las especies que se ven afectadas. En el estudio se utilizó el último método para calcular las pérdidas económicas derivadas del uso de plomo. La conclusión obtenida indicaba que los costes de adaptación a municiones sin plomo en la Unión Europea excederían el coste que supone el mantenimiento de la caza con plomo. Es preciso indicar que en el estudio no se incluyeron ciertos parámetros que podrían suponer una alteración de tales conclusiones: solo se tuvieron en cuenta las muertes causadas por intoxicación aguda y se desestimaron las afectaciones provocadas por intoxicaciones subletales, por lo tanto no se añadieron las muertes causadas de forma indirecta y la afectación a la reproducción de las aves, y se descartaron ciertas especies por falta de información sobre estas (Andreotti et al., 2018). Otra variable que es importante tener en cuenta son los niveles de plomo presentes en la carne de los animales cazados que serán destinados a la venta para consumo humano. Mucha de la carne obtenida en caza contiene niveles de plomo que serían legalmente inaceptables en carnes provenientes de granjas dedicadas a la producción para la venta y consumo humano, si se aplicaran las mismas regulaciones de contaminación que se aplican para productos animales provenientes de granja, sería necesario rechazar la mayor parte de la carne obtenida en caza y se añadirían pérdidas económicas relacionadas con este factor (Kanstrup et al., 2018).

5.4.1. Alternativas al plomo

El uso de plomo en la caza supone un riesgo para la fauna residente en las áreas en las que es usado, afecta de forma negativa a los ecosistemas y supone un peligro para los consumidores de carne de caza. Según la *United Nations Environment Programme* (Programa

de las naciones unidas para el medio ambiente, UNEP) (2012) sería necesario que se realizara un esfuerzo para prohibir el uso de plomo en la caza en zonas pantanosas en el menor tiempo posible. Los últimos estudios realizados revelan que el uso de este metal en áreas terrestres también afecta negativamente a las especies presentes, por lo que no solo las aves acuáticas se ven perjudicadas. El cambio de plomo a otro tipo de material no tóxico supone un problema para los cazadores, su argumento se basa en la poca efectividad de los otros elementos que conlleva a una menor recuperación de las presas disparadas y mayor sufrimiento para el animal (Mateo et al., 2014). Tal razonamiento ha sido refutado por varios estudios que indican que existen pocas diferencias destacables entre el uso de plomo y el uso de otro tipo de metales. El cobre es una de las opciones de sustitución, usado en la caza presenta similar exactitud que el plomo y las diferencias en la capacidad de matar son mínimas, las cuales se ven reducidas si el cazador adquiere práctica con la munición. Presenta menor toxicidad que el plomo cuando es ingerido y en el caso de ser ingerido un alto porcentaje es excretado y por lo tanto, no supone una amenaza tan grave como el plomo para la fauna salvaje y los humanos. La principal desventaja que presenta es su coste en comparación con el plomo (Knott et al., 2009).

El cambio de plomo a otro tipo de elementos es viable actualmente y para realizar este paso es preciso modificar las leyes que rigen la caza y demostrar a los cazadores que tal cambio es necesario y este no tiene por qué suponer una desventaja en su actividad. Es importante aportar argumentos que les convenzan para que apoyen tales modificaciones y no suponga una imposición con la que no están a favor, de esta forma es posible evitar prácticas ilegales que no permiten un avance en la eliminación del plomo en la caza y los ecosistemas donde es usado.

5.4.2. Afectación a humanos

La caza no solo es una actividad deportiva o lúdica para aquellos que la practican, también supone una forma de obtención de carne para la alimentación humana. En Europa el consumo de carne de caza no es muy frecuente aun que puede ser significativo en cazadores, sus familias y grupos sociales, a diferencia de Estados Unidos donde es comúnmente vendida a la población y usada en restauración (Sevillano Morales et al., 2011).

Debido al uso de plomo y la alta posibilidad de exposición de ciertas especies a este metal, el consumo de carne que ha estado en contacto con tal elemento supone un peligro para el ser humano que la ingiere. La exposición puede darse por una ingestión por parte del animal del metal, que provoca niveles de plomo en músculo superiores a los establecidos por

la Unión Europea para los alimentos provenientes de ganado de granjas y por lo tanto genera una contaminación en la carne que es consumida o bien por la fragmentación que se produce en los perdigones una vez alcanzan al animal y que resulta en una diseminación de los múltiples fragmentos por la herida producida, incrementando el riesgo de exposición al plomo en los consumidores de dicha carne (Hunt et al., 2009).

Los efectos tóxicos en humanos son numerosos y pueden llegar a ser irreversibles en la mayoría de los casos, afectan principalmente al sistema nervioso central y los grupos de mayor riesgo son los niños y los fetos. El consumo de carne proveniente de la caza que ha estado en contacto con dicho elemento, puede producir una reducción del coeficiente intelectual en niños si es consumida una vez por semana y puede estar asociado con un incremento en la presión sistólica de la sangre, desarrollo de una enfermedad crónica renal y aumento del riesgo de aborto espontáneo si su consumo es de 1,2 a 6,4 veces por semana (Green y Pain, 2012). Actualmente, se recomienda a los niños y a las embarazadas evitar consumir carne procedente de tal actividad por el riesgo que esta presenta (Knutsen et al., 2014).

5.4.3. Legislación actual

La problemática que genera en los ecosistemas el uso de plomo en la caza, ha obligado a las autoridades pertinentes a redactar y aplicar leyes y prohibiciones que permitan un control de la presencia de este metal y una reducción de su uso, para poder eliminar o disminuir la contaminación actual y las afectaciones negativas que este produce. La introducción de municiones sin plomo ha supuesto un importante avance en el desarrollo de estas regulaciones y de la posible disminución de la presencia del elemento en el medio natural. (Thomas, 2013; Kanstrup, 2019). Los riesgos que el plomo puede suponer para la vida son superiores a los beneficios que este produce, por lo que es necesaria la sustitución de este por otros materiales que no generen tal problemática (ECHA, 2017).

En el año 2017, la *European Chemicals Agency* (Agencia europea de productos químicos, ECHA) publicó una propuesta de restricción del uso de perdigones de plomo, indicando que el metal y objetos compuestos por este no deberían ser usados para disparar con armas de fuego en zonas pantanosas o en zonas que deriven en este tipo de ecosistemas y que las personas que se encuentran dentro o en las proximidades de estas regiones no deberían llevar este tipo de armamento. En 2018, la ECHA publicó otra investigación en la que se informaba de que los perdigones de plomo en áreas terrestres también suponen un riesgo para el medio ambiente y los humanos, y que el consumo de animales que han sido disparados con municiones

fabricadas con plomo puede producir una exposición de este metal a los consumidores, derivando en un riesgo para la salud humana.

Actualmente en Europa, 23 países han prohibido total o parcialmente el uso de municiones de plomo. La prohibición total se ha realizado en 2 países (Dinamarca y Países Bajos), en otros 16 países (Finlandia, Noruega, Suecia, Estonia, Alemania, Reino Unido, Bélgica, República Checa, Eslovaquia, Austria, Suiza, Francia, Luxemburgo, Croacia, Bulgaria y Chipre) hay una prohibición del uso de estos objetos en todas las zonas pantanosas o para la caza de aves acuáticas y en los 5 países restantes (Letonia, Hungría, Italia, España y Portugal) solo se prohíbe su uso en zonas pantanosas de importancia internacional (Mateo y Kanstrup, 2019).

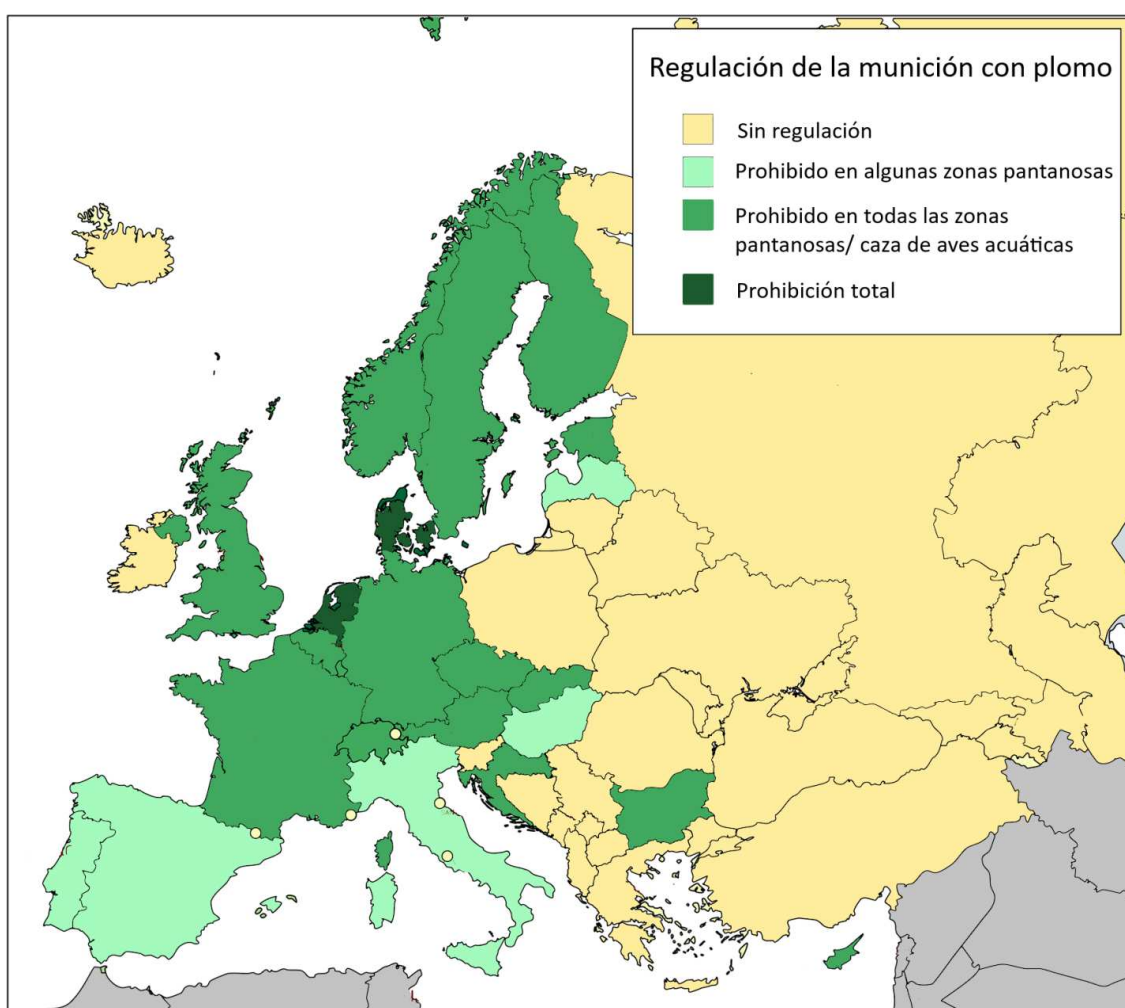


Figura 3. Regulaciones en el uso de plomo para la caza (Adaptado de Mateo y Kanstrup, 2019).

Hay importantes variaciones en las regulaciones que se aplican en los distintos países y por lo tanto la defensa de especies que se ven afectadas está limitada a una pequeña parte de Europa. La falta de protección en algunas zonas, principalmente en el este de Europa, supone un problema ya que se trata de zonas de migración de algunas especies provenientes de

aéreas protegidas. Es necesaria una mejora en las prohibiciones y restricciones que controlan el uso de plomo, ya que las medidas actualmente aplicadas no son suficientes (Mateo y Kanstrup, 2019).

En España se decretó el Real Decreto 581/2001, en el que se prohíbe la tenencia y el uso de munición que contenga plomo durante el ejercicio de la caza y el tiro deportivo, cuando estas actividades se ejerzan en zonas húmedas del territorio español que estén incluidas en la Lista del Convenio relativo a Humedales de Importancia Internacional y uso en zonas húmedas que sean objeto de protección conforme a cualquiera de las figuras de espacios naturales protegidos legalmente establecidas.

En un estudio realizado en el área del Delta del Ebro (Cataluña) se demostró la eficacia de estas prohibiciones mediante la monitorización de varias especies que habían sido estudiadas anteriormente. La ingestión de perdigones de plomo en ánade real (*Anas platyrhynchos*) disminuyó notablemente, pasando de un 30,2% antes de las prohibiciones, a un 15,5% una vez establecidas las restricciones. Las aves cazadas con perdigones de plomo incrustados disminuyeron de un 26,9% en 2007-2008 a menos del 2% en las siguientes temporadas de caza después de la implementación un mayor control de los cazadores (Mateo et al., 2014).

6. CONCLUSIONES

1. El plumbismo causado por el uso de perdigones de plomo en la caza afecta a una gran variedad de especies de aves, tanto especies acuáticas como carroñeras o predatoras.
2. La prevalencia de la intoxicación por plomo, comprobada mediante analítica, es mucho mayor de la que se puede sospechar por la sintomatología clínica.
3. El consumo de carne obtenida mediante la caza con munición de plomo o de zonas con alta contaminación de este metal, puede representar un riesgo para la salud de las personas que la consumen.
4. Es necesaria la concienciación de los cazadores, mediante programas educativos que den a conocer las afectaciones que este metal produce en los ecosistemas, su fauna residente y a la población consumidora de carne de caza.
5. Es necesaria la modificación de la legislación vigente para eliminar el plomo como munición. La eliminación del uso de este metal supondría una notable mejora,

aunque las intoxicaciones seguirían existiendo durante un período de tiempo debido a la elevada presencia de plomo en los ecosistemas.

CONCLUSIONS

1. Plumbism caused by the use of lead pellets at hunting affects a great variety of bird species, either waterfowls or scavengers and predatory birds.
2. Prevalence of lead intoxication, confirmed by analysis, is much larger than the suspected by clinic symptomatology.
3. Meat consumption obtained from hunting with lead ammunition or in areas where a high contamination with this metal exists, entails a risk for the health of the individuals who consume it.
4. It is necessary to raise awareness hunters by educational programs that expose the affectations caused by this metal in the ecosystems, its resident fauna and the game meat consumer population.
5. It is necessary to modify the current legislation to get rid of lead in ammunition. The elimination of the use of this metal would signify a great improvement, but intoxications would still exist for a certain period of time on account of the elevated presence of lead in ecosystems.

7. VALORACIÓN PERSONAL

La realización del Trabajo de Fin de Grado es una gran oportunidad para obtener información y desarrollar un tema que despierta cierto interés personal. He podido trabajar con una problemática presente en fauna salvaje, materia en la cual me gustaría especializarme una vez finalizado mi grado. Me ha permitido tratar temas más relacionados directamente con la veterinaria, como sería la parte clínica y las afectaciones que causa en las distintas especies de aves, pero también he podido considerar aspectos más relacionados con la conservación de ecosistemas, que permite una visión más global de la afectación y complementa de manera esencial la labor de un veterinario de fauna salvaje.

Mediante su realización he adquirido práctica en la búsqueda, selección y organización de información y me ha permitido mejorar mis capacidades a la hora de redactar un texto de tales características.

Me gustaría dar las gracias a mis tutores Lluís Luján Lerma y Javier González Esteban por toda la ayuda e información aportada durante la realización del trabajo, que ha sido esencial para poder avanzar de forma correcta.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Almansour MI (2009) Histological alterations induced by lead in the testes of the quail *Coturnix coturnix*. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 3, 24-30.
- Andreotti A, Guberti V, Nardelli R, Pirrello S, Serra L et al. (2018) Economic assessment of wild bird mortality induced by the use of lead gunshot in European wetlands. *Science of the Total Environment*, 610-611, 1505-1513.
- Bellrose FC (1959) Lead poisoning as a mortality factor in waterfowl populations. *Illinois Natural History Survey Bulletin*, 27, 235-288.
- Benson WW, Pharaoh B, Miller P (1974) Lead poisoning in a bird of prey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 11, 105-108.
- Burger J, Gochfeld M (2001) Metal levels in feathers of cormorants, flamingos and gulls from the coast of Namibia in South Africa. *Environmental Monitoring Assessment*, 69, 195-203.
- De Francisco N, Ruiz Troya JD, Agüera EI (2003) Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian pathology*, 32, 3-13.
- Delville Y (1999) Exposure to lead during development alters aggressive behavior in Golden hamsters. *Neurotoxicology and Teratology*, 21, 445-449.
- De Ridder E, Pinxten R, Eens M (2000) Experimental evidence of a testosterone-induced shift from paternal to mating behaviour in a facultatively polygynous songbird. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 49, 24-30.
- Dietert RR, Piepenbrink MS (2006) Lead and immune function. *Critical reviews in toxicology*, 36, 359-385.
- Ecke F, Singh NJ, Arnemo JM, Bignert A, Helander B et al. (2017) Sublethal lead exposure alters movement behavior in free-ranging golden eagles. *Environmental Science & Technology*, 51, 5729-5736.
- Farag AM, Woodward DF, Goldstein JN, Brumbaugh W, Meyer JS (1998) Concentrations of metals associated with mining waste in sediments, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish from the Coeur d'Alene River Basin, Idaho. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 34, 119-127.

- González M, Tejedor MC (1991) Niveles de plomo en sangre y hueso de palomas tratadas o expuestas al medio ambiente de Alcalá de Henares. *Revista de Toxicología*, 8, 24-31.
- Green RE, Pain DJ (2012) Potential health risks to adults and children in the UK from exposure to dietary lead in game birds shot with lead ammunition. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 4180-4190.
- Haschek WM, Rousseaux CG, Wallig MA (2013) Lead. En: *Haschek and Rousseaux's handbook of toxicologic pathology*, 3ª edición, WM Haschek, CG Rousseaux, MA Wallig, R Bolon, R Ochoa, BW Mahler, London, pp. 1327-1332.
- Hemphill FE, Kaeberle ML, Buck WB (1971) Lead suppression of mouse resistance to *Salmonella typhimurium*. *Science*, 172, 1031-1032.
- Hunt WG, Watson RT, Oaks JL, Parish CN, Burnham KK et al. (2009) Lead bullet fragments in venison from rifle-killed deer: potential for human dietary exposure. *PLoS One*, 4, 5330.
- Janssens E, Dauwe T, Van Duyse E, Beernaert J, Pinxten R et al. (2003) Effects of heavy metal exposure on aggressive behavior in a small territorial songbird. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45, 121-127.
- Jorgensen SS, Willems M (1987) The fate of lead in soils: The transformation of lead pellets in shooting-range soils. *Ambio*, 16, 11-15.
- Kanstrup N, Swift J, Stroud DA, Lewis M (2018) Hunting with lead ammunition is not sustainable: European perspectives. *Ambio*, 47, 846-857.
- Kanstrup N (2019) Lessons learned from 33 years of lead shot regulation in Denmark. *Ambio*, 48, 999-1008.
- Kelly A, Kelly S (2005) Are mute swans with elevated blood lead levels more likely to collide with overhead power lines?. *Waterbirds: the international journal of waterbird biology*, 28, 331-334.
- Knott J, Gilbert J, Green RE, Hoccom DG (2009) Comparison of the lethality of lead and cooper bullets in deer control operations to reduce incidental lead poisoning; field trials in England and Scotland. *Conservation Evidence*, 6, 71-78.
- Knutsen HK, Brantsaeter AL, Alexander J, Meltzer HM (2014) Associations between consumption of large game animals and blood lead levels in humans in Europe: the Norwegian experience. *Oxford Lead Symposium*, 1, 44-50.
- Ladds P (2009) Diseases caused by exogenous toxins in birds. En: *Pathology of Australian native wildlife*, 1ª edición, P Ladds, A Kretser, J Kelly, R Brooks, Australia, pp. 411-412.

- Legagneux P, Suffice P, Messier JS, Lelievre F, Tremblay JA et al. (2014) High risk of lead contamination for scavengers in an area with high moose hunting success. *PLoS One*, 9, 111546.
- Markowitz ME, Rosen JF (1991) Need for the lead mobilization test in children with lead poisoning. *The Journal of Pediatrics*, 119, 305-310.
- Mateo R, Kanstrup N (2019) Regulations on lead ammunition adopted in Europe and evidence of compliance. *Ambio*, 48, 989-998.
- Mateo R, Vallverdú-Coll N, López-Antia A, Taggart MA, Martínez-Haro M et al. (2014) Reducing Pb poisoning in birds and Pb exposure in game meat consumers: The dual benefit of effective Pb shot regulation. *Environment International*, 63, 163-168.
- Mautino M (1997) Lead and Zinc intoxication in zoological medicine: a review. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 28, 28-35.
- Murase T, Ikeda T, Goto I, Yamato O, Jin K et al. (1992) Treatment of lead poisoning in wild geese. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 200 (11), 1726-1729.
- Nevin R (2000) How lead exposure relates to temporal changes in IQ, violent crime, and unwed pregnancy. *Environmental research*, 83, 1-20.
- Ochiai K, Jin K, Itakura C, Goryo M, Yamashita K et al. (1992) Pathological study of lead poisoning in Whooper swans (*Cygnus Cygnus*) in Japan. *Avian Diseases*, 36, 313-323.
- Ogada DL, Torchin ME, Kinnaird MF, Ezenwa VO (2012) Effects of vulture declines on facultative scavengers and potential implications for mammalian disease transmission. *Conservation Biology*, 26, 453-460.
- O'Halloran J, Myers AA, Duggan PF (1988) Lead poisoning in swans and sources of contamination in Ireland. *Journal of Zoology*, 216, 211-223.
- Pain DJ, Green RE (2015) An evaluation of the risks to wildlife in the UK from lead derived from ammunition. *A report to the UK Government*, 120-132.
- Pain DJ, Mateo R, Green RE (2019) Effects of lead from ammunition on birds and other wildlife: A review and update. *Ambio*, 48, 935-953.
- Prüter H, Franz M, Auls S, Cziráj GÁ, Greben O et al. (2018) Chronic lead intoxication decreases intestinal helminth species richness and infection intensity in mallards (*Anas platyrhynchos*). *Science of the Total Environment*, 644, 151-160.
- Real Decreto 581/2001, de 1 de junio, “por el que en determinadas zonas húmedas se prohíbe la tenencia y el uso de municiones que contengan plomo para el ejercicio de la caza y el tiro deportivo”, BOE núm. 143, de 15 de junio de 2001.
- Scheuhammer AM (1991) Effects of acidification on the availability of toxic metals and calcium to wild birds and mammals. *Environmental Pollution*, 71, 329-375.

- Sevillano Morales JS, Moreno Rojas R, Pérez Rodríguez F, Arenas Casas A, Amaro López MA (2011) Risk assessment of the lead intake by consumption of red deer and wild boar meat in Southern Spain. *Food Additives & Contaminants*, 28, 1021-1033.
- Singh NJ, Börger L, Dettki H, Bunnefeld N, Ericsson G (2012) From migration to nomadism: movement variability in a northern ungulate across latitudinal range. *Ecological Applications*, 22, 2001-2020.
- Szefer P (1991) Interphase and trophic relationships of metals in a southern Baltic ecosystem. *Science of the Total Environment*, 101, 201-215.
- Thomas VG (2013) Lead-free hunting rifle ammunition: Product availability, price, effectiveness and role in global wildlife conservation. *Ambio*, 42, 737-745.
- Thompson LJ (2007) Lead. En: *Veterinary Toxicology*, 1ª edición, LJ Thompson, RC Gupta, New York, pp. 522-526.
- U.S. Fish and Wildlife Service (1990) Lead poisoning in waterfowl. *U.S. Fish and Wildlife Service*, 1-15.
- Vallverdú-Coll N, Mateo R, Mougeot F, Ortiz-Santaliestra ME (2019) Immunotoxic effects of lead on birds. *Science of the Total Environment*, 689, 505-515.