



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**  
**Facultad de Veterinaria**



## **Grado de Veterinaria**

Trabajo Fin de Grado

Revisión bibliográfica

# **La prevención de accidentes de la avifauna por colisión contra cristales en ambientes urbanos. Papel del Centro de Conservación Zoo de Córdoba**

**Prevention of birdlife accidents due to collision with glass in urban environments. Role of the Córdoba Zoo Conservation Center**

Autor: Elisabet Pérez Gámiz

Director/res: Evangelina Rodero Serrano y Rafael Guerra Caro

07/09/2021



Universidad de Córdoba



Facultad de Veterinaria

**FACULTAD DE VETERINARIA**  
**TRABAJO DE FIN DE GRADO: DOCUMENTO 4**

**INFORME DEL/LOS DIRECTOR/ES DEL TRABAJO FIN DE GRADO**

D. Rafael Guerra Caro, Veterinario Titular del Parque Zoológico Municipal de Córdoba  
Dña. Evangelina Rodero Serrano. Profesora Titular del Departamento de Producción Animal.  
DIRECTOR/ES (NOMBRE, CATEGORÍA PROFESIONAL, DEPARTAMENTO)

**INFORMAN**

Que el trabajo presentado por Dña. Elisabet Pérez Gámiz

Con NIF 76881196Q, bajo el “Prevención de accidentes de la avifauna por colisión contra cristales en ambientes urbanos. Papel del Centro de Conservación Zoo de Córdoba” reúne los requisitos para su lectura y defensa, estando adaptado en contenido, profundidad y duración a la asignación de créditos ECTS del Plan de Estudios del Título de Graduado/a en Veterinaria de la Universidad de Córdoba.

**Córdoba, a 6 de septiembre de 2021.**

RODERO SERRANO  
EVANGELINA - 30508678Y  
2021.09.06 12:27:00 +02'00'

**Fdo. Por Orden de D. Rafael Guerra Caro**

RODERO SERRANO  
EVANGELINA - 30508678Y  
2021.09.06 12:27:46 +02'00'

**Fdo. Evangelina Rodero Serrano**  
**Fdo. El/Los directores del Trabajo Fin de Grado**

## Índice general

Índice de figuras .....	3
Índice de tablas.....	4
Resumen .....	5
Abstract .....	6
Introducción .....	7
Objetivos.....	10
Material y Métodos .....	11
Resultado y Discusión .....	13
1. Limitaciones para la percepción visual de las aves en el entorno urbano .....	13
1.1. Capacidad para captar el rango ultravioleta .....	14
1.2. Agudeza visual.....	14
1.3. El campo visual.....	15
1.4. Percepción de los brillos o destellos .....	16
2. Fuentes de riesgo por colisión en cristales de aves en zonas urbanas .....	16
2.1. Transparencia y reflexión de los cristales.....	16
2.2. La iluminación del entorno .....	17
2.3. Los depredadores urbanos oportunistas .....	19
3. Identificación de espacios urbanos de especial .....	19
3.1. Parques Zoológicos .....	19
3.2. Jardines públicos/Parques urbanos .....	20
3.3. Barreras antirruído .....	20
3.4. Campus Universitarios .....	21
3.5. Polideportivos/Pistas de pádel .....	22

4. Soluciones arquitectónicas y estructurales para evitar las colisiones de aves.....	22
4.1. Cómo podemos reducir la transparencia de los cristales .....	22
4.2. Cómo evitar la reflexión de nuestros cristales .....	27
4.3. Cómo iluminar los espacios en horas nocturnas .....	28
4.4. Cambios de hábitos recomendados .....	28
5. Regulación para la prevención de accidentes de aves por colisiones en las normativas urbanísticas .....	29
5.1. A nivel europeo .....	29
5.2. En el ámbito nacional.....	30
5.3. A nivel autonómico y local.....	30
6. Propuesta de planes educativos en el Centro de Conservación Zoo de Córdoba en la sensibilización y prevención de los accidentes por colisión de la avifauna .....	32
Conclusiones .....	33
Compromiso ético .....	34
Agradecimientos .....	34
Bibliografía.....	35

## Índice de figuras

Figura 1. Número y causas de muertes de aves debido al ser humano en Canadá.....	7
Figura 2. Correlación de porcentaje de vidrio y las colisiones en el Campus Universitario de Duke .....	8
Figura 3. Mapa de densidad poblacional de Estados Unidos y principales rutas migratorias	9
Figura 4. Distribución temporal de las colisiones en el Campus Universitario de Cleveland.	10
Figura 5. Diferencia del rango de visión entre humanos y aves .....	14
Figura 6. Imagen de las dos foveas de un cernícalo .....	15
Figura 7. Disposición de las ventanas en la esquina de una edificación .....	17
Figura 8. Imagen nocturna de Europa con el impacto de la iluminación.....	18
Figura 9. Combinación de luz artificial y niebla en la noche de los Alpes.....	18
Figura 10. Instalaciones del Zoo del Bronx que permiten ver mucha vegetación .....	19
Figura 11. Autoridades de la Universidad de Córdoba y alumnado de la Escuela de Arte Mateo Inurria, Córdoba, en la inauguración del proyecto “Pasillos de biodiversidad” .....	22
Figura 12. Vinilos en una pista de pádel de Prádena del Rincón (Madrid) .....	22
Figura 13. Cristales con patrones de rayas en diferentes ángulos .....	23
Figura 14. Adhesivos de rapaces en el Centro de Conservación Zoológico de Córdoba y adhesivos UV para evitar colisiones de aves .....	23
Figura 15. Balcones con cristal grabado, vidrio fritado en la ventana y fritas de cerámica ...	24
Figura 16. Uso de cuerdas en la fachada de un edificio.....	24
Figura 17. Aplicación de vinilo en la entrada del Centro de Educación Ding Darling en el Refugio Nacional de Vida Silvestre .....	25
Figura 18. Utilización de ladrillo de vidrio o cristal pavés en un edificio.....	25

Figura 19. Fachada con vegetación para reducir la distancia al cristal y evitar las colisiones por transparencia.....	26
Figura 20. Cristal Ornilux y manera en que lo perciben las aves y o las personas .....	26
Figura 21. Fachada de edificios con vidrios de color no reflectantes.....	27
Figura 22. Patrón de puntos para evitar la reflexión.....	27
Figura 23. Diferentes tipos de farolas, según idoneidad para la prevención de colisiones ...	28
Figura 24. Destellos de una farola en una calle poco transitada .....	28
Figura 25. Proporción de muertes por colisiones en relación a la disposición de comederos para aves .....	29

## Índice de tablas

Tabla 1. Resumen del número de fuentes científicas bibliográficas consultadas según temáticas y lugar de la autoría .....	12
Tabla 2. Clasificación de las diferentes vías públicas de Córdoba .....	31
Tabla 3. Valores lumínicos en función de las diferentes vías públicas en Córdoba.....	32

## Resumen

En este trabajo se aborda el problema de las colisiones de avifauna contra cristales, que representa la segunda causa de muerte de las aves en entornos urbanos y que tiene un origen en las actuaciones arquitectónicas antrópicas. La aplicación de la metodología de búsqueda bibliográfica en la literatura científica, nos ha permitido dar a conocer que las principales fuentes de peligro son la transparencia y reflexión de los cristales, el mal uso de la luz en horas nocturnas y los depredadores oportunistas del entorno. Las limitaciones para percibir el entorno afectan de distinta manera entre especies y las colisiones presentan una estacionalidad marcada. Dentro de las zonas urbanas más vulnerables encontramos las instalaciones de los parques zoológicos, los jardines públicos que cuenten con edificaciones a su alrededor, las barreras antirruído de carreteras, edificaciones de los Campus Universitarios y estructuras y edificaciones de polideportivos. Para eludir tal problema en la avifauna se establecen soluciones al alcance de todos para evitar las principales fuentes de peligro, así como recomendaciones para el día a día del ciudadano. La normativa existente a nivel europeo y a nivel nacional para la conservación de avifauna, incluye algunas medidas de prevención de los accidentes de las aves por colisión con tendidos eléctricos, pero no existe una normativa concisa frente a colisiones de la avifauna contra cristales en zonas urbanas. Los programas educativos que se desarrollan en el Centro de Conservación Zoo de Córdoba incluyen contenidos de conservación y protección de las especies. En este trabajo proponemos incluir en los programas formativos de este centro contenidos específicos sobre los accidentes que sufren las aves por las colisiones contra cristales en el entorno urbano, a desarrollar a través de una serie de actividades educativas con el objeto de dar a conocer, sensibilizar y crear conciencia social frente al problema.

**Palabras clave:** amigable con las aves, accidentes urbanos de avifauna, colisiones de aves en cristales, planes de conservación avifauna, arquitectura sostenible, conservación y bienestar de las aves.

## Abstract

This paper addresses the problem of bird collisions with glass, which represents the second cause of death of birds in urban environments and which has its origin in anthropic architectural actions. The application of the bibliographic search methodology in the scientific literature has allowed us to discover that the main sources of danger are the transparency and reflection of glass, the misuse of light at night and opportunistic predators in the environment. Limitations in perception of the environment affect different species in different ways and collisions have a marked seasonality. Among the most vulnerable urban areas are zoo facilities, public gardens with surrounding buildings, road noise barriers, university campus buildings and sports centre structures and buildings. In order to avoid this problem for birdlife, solutions within everyone's reach are established to avoid the main sources of danger, as well as recommendations for the day-to-day life of citizens. The existing European and national regulations for the conservation of birdlife include some measures for the prevention of bird accidents due to collisions with power lines, but there are no concise regulations for bird collisions with glass in urban areas. The educational programmes developed at the Cordoba Zoo Conservation Centre include content on the conservation and protection of species. In this work we propose to include in the educational programmes of this centre specific content on the accidents suffered by birds due to collisions with glass in the urban environment, to be developed through a series of educational activities with the aim of raising awareness and creating social awareness of the problem.

**Keywords:** bird-friendly, urban bird accidents, bird collisions in glass, bird conservation plans, sustainable architecture, bird conservation and welfare.

## Introducción

### Accidentes de la avifauna por colisiones en cristales en zonas urbanas.

Las aves mueren por múltiples causas directamente antropogénicas (Figura 1), entre las que cabría destacar las colisiones contra estructuras artificiales y vehículos, la depredación por mascotas que vagan libremente y el envenenamiento por toxinas (Calvert et al., 2013; Loss et al., 2012, 2015). De tal manera que las poblaciones de aves que se encuentran en declive debido a la pérdida de hábitat, quedan además gravemente amenazadas por esos otros motivos. Según diversos estudios (Klem, 2009; Loss et al., 2015), la segunda causa que provoca más muertes en aves se da por colisiones contra cristales de edificaciones o estructuras similares creadas por el ser humano, y solo es superada por la presencia de felinos domésticos libres (Passive et al., 2019; Rebolo-Ifrán et al., 2021). Las aves que chocan con las ventanas de edificios u otras estructuras parecidas, pueden morir al instante o, en muchas ocasiones, tras el impacto pueden sufrir lesiones que disminuye su capacidad de movimiento durante un período de tiempo y ser ahí cuando un depredador doméstico (gato o perro) aproveche para cazarla (Rebolo-Ifrán et al., 2021). En relación a esto último, según Kelm (1990) las lesiones más propensas de padecer las aves tras las colisiones son hemorragias intracraneales y fracturas, aunque algunas pudieran resultar ilesas.

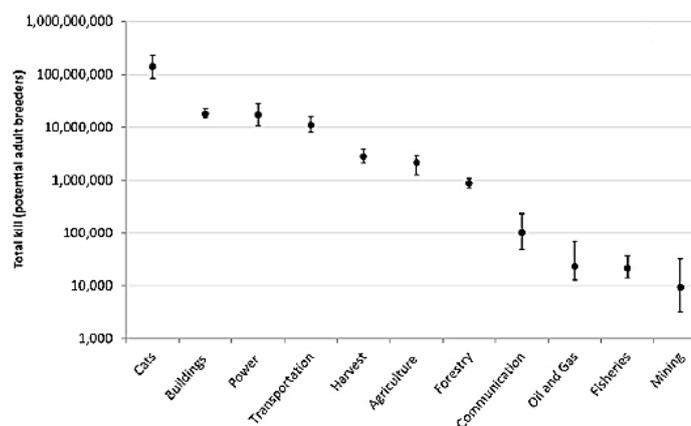


Figura 1. Número y causas de muertes de aves debido al ser humano en Canadá. Fuente: Calvert et al., 2013.

Se ha demostrado que el área y/o la proporción de edificios cubiertos por vidrio (Figura 2) y la distancia de la vegetación de los edificios están correlacionadas positivamente con las colisiones (Klem, 2009; Cusa et al., 2015; Schneider et al., 2018; Gómez Martínez et al., 2019; Lao et al., 2019; Riding et al., 2019) de tal manera que la mortalidad es más alta en edificios grandes con muchas ventanas (O'Connell, 2001; Hager et al., 2008, 2013; Klem, 2009; Machtans et al., 2013; Loss et al., 2014; Kahle et al., 2016; Ocampo-Peñuela et al., 2016; Riding et al., 2019). Por otro lado, las fachadas de los

edificios con forma de “alcoba” causan más colisiones que cualquier otro tipo de fachada. Para que se den soluciones arquitectónicas sostenibles en lo que se refiere a la conservación de la avifauna, los esfuerzos de para la disminución de las colisiones deben dirigirse al control de este tipo de fachadas, hacia sus dimensiones y a la proporción de vidrio que contienen (Riding et al., 2019).

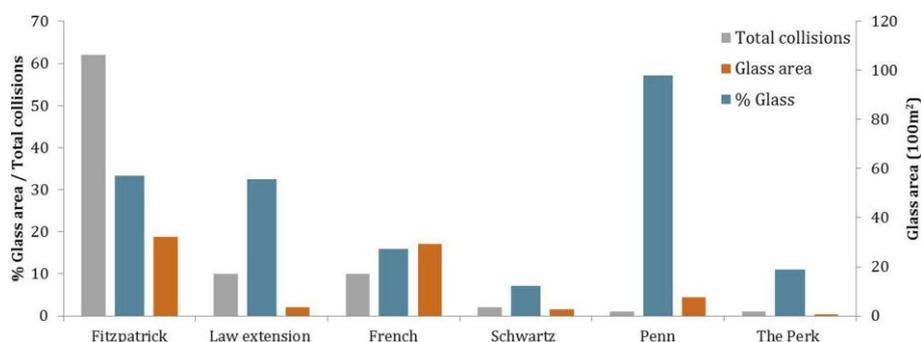


Figura 2. Correlación de porcentaje de vidrio y las colisiones en los edificios del Campus Universitario de Duke en Durham, Carolina del Norte; El edificio Penn contaba con cristal fritado, de ahí que no hubiera apenas colisiones. Fuente: Ocampo-Peñuela et al., 2016.

En Estados Unidos, zona de alto flujo de migración de aves en primavera y otoño, se ha estimado que hasta mil millones de aves colisionan y mueren, habiéndose registrado hasta 258 especies de aves que han colisionado (Klem, 1990a; Machtans et al., 2013; Loss et al., 2014; Klem, 2014; Sheppard y Phillips, 2015). Se ha podido comprobar, según un estudio realizado en urbanizaciones del Norte de América, que hay variación en los impactos entre zonas urbanizadas, según tengan más o menos vegetación, siendo las primeras más propensas a colisiones (Cusa et al., 2015; Schneider et al., 2018). Igualmente, se ha observado que las especies adaptadas y que tienen un hábitat propiamente urbano prosperan y tienen una alta tasa de supervivencia en las ciudades, mientras que las aves migratorias son propensas a colisiones en áreas urbanizadas (Hager, 2009; Stracey y Robinson, 2012; Cusa et al., 2015; Santos et al., 2017). Esto sugiere que no todas las especies responden de manera similar a la urbanización.

En España no hay cifras precisas, pero se cree que mueren al año cientos de miles de aves a causa de las colisiones (Schmid et al., 2008). Y es que resulta muy complicado estimar un número exacto de bajas de aves, teniendo además en cuenta que en los estudios que se realicen, además de las visibles, hay que contar también las causadas por los depredadores domésticos urbanos, tal y como se ha indicado con anterioridad (Kummer et al., 2016; Clarke et al., 2020). Para la toma de muestras de este tipo de estudios es imprescindible la colaboración ciudadana registrar la descripción detallada de la ubicación de la muestra, usar interfaces de entrada/administración de datos en línea (Cooper et al.,

2007; Bonter y Cooper, 2012; Loss et al., 2015; Kummer et al., 2016). La Sociedad Española de Ornitología cuenta con una plataforma online de gran ayuda para el ciudadano, donde se pueden consultar medidas para evitar las colisiones de aves, y donde el ciudadano puede aportar información sobre colisiones para elaborar un mapa de puntos críticos en España (<https://seo.org/cristales-trampa-mortal-aves/>).

La cantidad de colisiones de aves en cualquier lugar del mundo depende de las poblaciones de aves locales y migratorias (diurnas o nocturnas), así como de las densidades y el comportamiento de las diferentes especies (patrones de descanso, alimentación, épocas de reproducción y preferencias de hábitat) (Hager y Craig, 2014). La mortalidad es más alta durante la migración (Sillert y Holmes, 2002; Hager et al., 2017; Gordo et al., 2017), influyendo también los vientos dominantes y las condiciones meteorológicas del entorno. Kahle et al., (2016) y Uribe-Morfín et al., (2020) mostraron en un estudio realizado en San Francisco (CA, Estados Unidos), que las aves migratorias podrían estar menos familiarizadas con las condiciones y la configuración del paisaje local, y por lo tanto podrían hacerlos más vulnerables a colisionar con las ventanas de los edificios. La figura 3 pone de manifiesto la coincidencia entre las zonas de mayor densidad y construcción urbana con las principales rutas de migración de aves en Estados Unidos. Si se conocen las condiciones que contribuyen a las colisiones de aves con los edificios podremos hacer una planificación segura de los entornos para las aves.

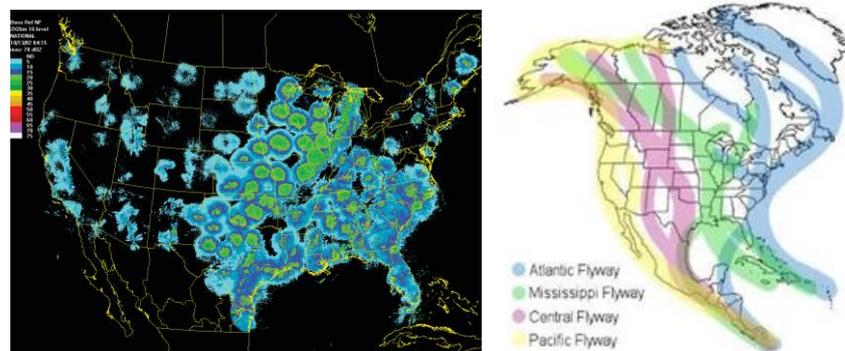


Figura 3. (A) Mapa de densidad poblacional de Estados Unidos. Fuente: s.a. gauthreaux, jr. / clemson university radar ornithology laboratory. Bird-safe building guidelines. (B) Principales rutas migratorias de aves en Estados Unidos. Fuente: AviNews

En cuanto a la estacionalidad de las incidencias, en un estudio realizado en el Campus Universitario de Cleveland (Ohio) (Calvin et al., 2010), se puso de manifiesto que en los meses de migración para las aves (meses de primavera y otoño), hay un aumento significativo del número de colisiones de aves en cristales en dicho Campus Universitario (Figura 4).

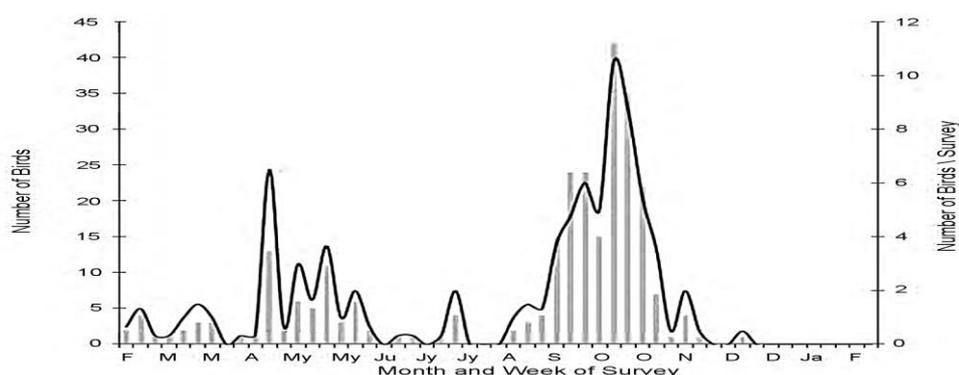


Figura 4. Distribución temporal de las colisiones en el Campus Universitario de Cleveland, Ohio, en un periodo de 12 meses. Fuente: Calvin et al., 2010

Desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, existen especies de aves especialmente vulnerables a las colisiones en ventanas. En los Estados Unidos, por ejemplo, las siguientes por mencionar algunas: curruca de alas doradas (*Vermivora chrysoptera*), empavesado pintado (*Passerina ciris*), curruca de Canadá (*Cardellina canadensis*), zorzal de madera (*Hylocichla mustelina*), curruca de Kentucky (*Geothlypis formosa*) y curruca come gusanos (*Helminthos vermivorum*) (Loss et al., 2014). La biodiversidad del planeta se ve muy dañada cuando una especie se extingue, por lo que la pérdida o amenaza de pérdida de aves como parte integrante de los ecosistemas mundiales y como indicadores útiles de la salud ambiental sería devastadora.

De lo expuesto se deduce la relevancia del problema por la cantidad de muertes que crean las estructuras acristaladas diseñadas por el hombre, lo que hace que sea de gran importancia abordar este tema completamente derivado de actuaciones atropogénicas sobre los hábitats de las aves. Está al alcance del ser humano realizar una arquitectura sostenible y que evite diseños “un-friendly” para la avifauna, en las áreas donde se reproducen y en sus rutas migratorias (Klem, 2014). Para ello se hace necesario, en primer lugar, el análisis sobre cómo los animales perciben estas estructuras, desarrollar soluciones arquitectónicas y tecnológicas sostenibles “bird friendly”, crear conciencia social y un marco legal apropiado.

## Objetivos

De manera general, este trabajo pretende aportar conocimiento sobre los accidentes de aves por colisión en cristales en zonas urbanas, y generar conciencia para promover medidas preventivas para evitarlas. Los centros de Conservación como el del Zoo de Córdoba pueden desempeñar un papel relevante para este propósito.

De manera específica se pretende:

- Identificar las principales causas de accidentes de avifauna por colisiones en zonas urbanas.
- Mostrar las posibles soluciones arquitectónicas y estructurales.
- Analizar modelos reguladores para la prevención de accidentes de avifauna por colisiones en las normativas urbanísticas.
- Mostrar el potencial del Centro de Conservación Zoo de Córdoba en la educación para la prevención de accidentes en avifauna por colisiones.

## Material y Métodos

El método de búsqueda de información se ha basado en la revisión de artículos científicos (Tabla 1), para ello se han utilizado las bases de datos PubMed, Google Scholar, Scopus y ScienceDirect. PubMed es un proyecto desarrollado por el Centro Nacional de Información Biotecnología (NCBI, de los Estados Unidos y que da acceso a más de 30 millones de citas de literatura biomédica. Google Académico está enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y literatura científico-académica. Scopus es una base de datos bibliográfica iniciada en 2004, de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. Contiene, aparte de artículos, más de 3.700 revistas indexadas de Gold Open Access, más de 210.000 libros y más de 8 millones de actas de congresos, también incluye “Articles y Press” de más de 5.500 títulos y cubre 40 idiomas. Su contenido es de áreas de ciencia, tecnología, medicina y ciencias sociales, incluyendo artes y humanidades. Science Direct alberga más de 12 millones de piezas de contenido de 3500 revistas académicas y 34.000 libros electrónicos de las áreas científicas. Acceder al texto completo de los artículos ha sido posible gracias al Catálogo Mezquita de la Universidad de Córdoba (UCO) que pone a disposición del alumnado multitud de revistas científicas. Debido a la necesidad actual de tener que acceder a distancia, se ha realizado la conexión con la UCO a través del servicio de acceso externo a la red basado en la tecnología VPN.

Las palabras clave principalmente usadas en las búsquedas han sido “bird-friendly”, “urban bird accidents”, “bird collisions in glass”, “bird conservation plans”, “sustainable architecture”, “bird conservation and welfare”. Al tratarse de un tema de reciente actualidad, no se puso filtro temporal en la búsqueda pero la mayor parte de los artículos obtenidos como resultado de la búsqueda del criterio “bird collision” han sido publicados en la última década.

En cuanto a los criterios de inclusión se han tenido en cuenta los recursos anteriores relacionados con la fisiología y anatomía del ojo aviar, colisiones de aves, diseño de edificaciones y tratamientos de cristales. Dentro de estos encuadres bibliográficos se han descartado estudios de colisiones de aves donde las edificaciones y en concreto las

estructuras diseñadas con cristal no estuvieran presentes, como por ejemplo colisiones debidas a aerogeneradores y tendidos eléctricos.

Tabla 1. Resumen del número de fuentes científicas bibliográficas consultadas según temáticas y lugar de la autoría.

Temática del artículo	Número de artículos	Instituciones (País)
Alimentación de aves silvestres en las ciudades	4	EEUU, Australia, UK
Colisiones de aves en barreras antirruído	1	Polonia
Colisiones de aves en Campus Universitarios	5	EEUU, Brasil, Colombia
Colisiones de aves en zonas urbanas	21	EEUU, Brasil, México, España
Consecuencias de las colisiones en las aves	1	EEUU
Depredación de aves	4	EEUU, Argentina, Europa occidental
Cómo abordar las encuestas	3	EEUU
Especies de aves que colisionan más frecuentemente	3	EEUU
Estacionalidad en las colisiones de aves	2	EEUU
Luz como fuente de peligro	6	EEUU, Alemania
Migración de aves	3	EEUU
Mitigación de las colisiones de aves en cristales	9	Alemania, EEUU, Colombia, Suiza, Suecia
Oftalmología aviar	4	EEUU, España
Colisiones en Zoológicos	1	Berlín

Por otro lado, se han utilizado guías de diseño de edificaciones bird-friendly obtenidas de la base de datos de American Bird Conservancy (<https://abcbirds.org/>), Flap Canadá (<https://flap.org/>) y SEO Birdlife (<https://seo.org/>). También han sido consultados libros digitalmente, en concreto para la parte de oftalmología.

Para la recopilación de la normativa nos basamos en la búsqueda a través del BOE (Boletín Oficial del Estado) para la normativa a nivel nacional, del BOJA (Boletín Oficial de la Junta de Andalucía) para la normativa a nivel autonómica y hemos hecho consultas de Ordenanzas Municipales, en concreto del municipio de Córdoba. También hemos hecho uso de la web de noticias jurídicas (<https://noticias.juridicas.com/>).

Se ha agrupado la información más relevante buscando ordenarla desde lo más general hasta lo más específico con el propósito de indicar una idea de la aplicación de métodos de prevención de colisiones de aves. Para ordenar la bibliografía que se ha empleado para la redacción de este trabajo se ha recurrido al gestor de referencias Mendeley, el cual permite clasificar y referenciar artículos científicos y académicos, haciéndose la ordenación por países.

Finalmente, para ver las posibilidades que el Centro de Conservación del Parque Zoológico Municipal de Córdoba ofrece en el plano educativo de prevención, se ha recogido información directa de parte del personal del Centro.

## Resultados y Discusión

### 1. Limitaciones para la percepción visual de las aves en el entorno urbano.

La visión de las diferentes especies de aves está ligada a su comportamiento (Graham Martín, 2014). Un pájaro en vuelo es capaz de cazar insectos, posarse en una rama e incluso buscar cualquier presa en el suelo mientras está en las alturas. La calidad de visión variará dependiendo de la especie, pero en general cuentan con una gran capacidad visual (Williams, 2012). Las aves en pelea pueden no percibir los objetos en la dirección de la pelea porque generalmente dirigen su visión hacia abajo o hacia los lados, en busca de alimento, depredadores o congéneres. Complementariamente, las visiones binoculares de las aves pueden no ser de alta resolución, por lo que incluso si las aves dirigen su visión en la dirección de la pelea, es posible que no perciban un objeto estático.

Con respecto a las colisiones entre pájaros y ventanas, varios estudios sugieren que los recursos ambientales, como fuentes de alimento y nidificación, así como las características del paisaje circundante y la estructura de los edificios pueden funcionar como impulsores de colisiones. La vulnerabilidad de las aves a las colisiones contra los cristales parece provenir de al menos cuatro fuentes: 1) la atracción a la luz artificial (Rich y Longcore, 2006); 2) una atracción desproporcionada a luz polarizada, que se produce cuando la luz se refleja en superficies especulares como el vidrio (Horvath et al. 2009); 3) los reflejos del hábitat y el cielo en las ventanas (Gelb y Delacretaz 2009); y 4) un énfasis en la

visión lateral que hace que sea menos probable que vean objetos directamente frente a ellos (Martin, 2011). Las características anatómicas relacionadas con estas fuentes de vulnerabilidad son extremadamente variables de unas especies a otras, pero podemos abordar de forma sintética en los siguientes ámbitos:

### 1.1. Capacidad para captar el rango ultravioleta

Los conos receptores de las aves captan en rango visible la luz verde, roja, azul y, a diferencia de otros animales como podemos ver en la figura 5, hay un tipo de cono que tiene la capacidad de captar el rango de la luz ultravioleta (Contreras, 2015). Sin embargo, la sensibilidad a las radiaciones ultravioleta varía entre las diferentes especies de aves, siendo las especies como las gaviotas, loros y passeriformes aquellas con más capacidad para captar el rango de luz ultravioleta (Håstad y Ödeen, 2014).

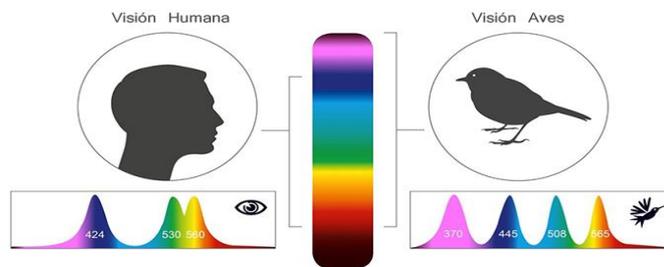


Figura 5. Diferencia del rango de visión entre humanos y aves, donde se aprecia la capacidad del ave para ver la luz UV. Fuente: Klaus Schmitt.

### 1.2. Agudeza visual

En cuanto a la retina de las aves, es no tapetal y no presentan vasos sanguíneos ni capilares retinianos, la cual no tiene un suministro vascular directo de oxígeno y nutrientes para los fotorreceptores retinianos. El hecho de no presentar vasos sanguíneos cerca de la retina hace que las aves tengan una mayor agudeza visual y sean capaces de distinguir más detalles o discriminar entre dos imágenes muy próximas. La agudeza visual, por lo tanto, sería el factor determinante para distinguir los cristales transparentes, siendo es un probable predictor de la susceptibilidad a las colisiones contra ventanas de cada especie entre las que las passeriformes parecen ser las que presentan las mayores limitaciones (Sommerlot, 2003).

Por otra parte, alrededor de un 50% de las especies de aves presentan dos foveas (Figura 6) y se sugiere que este tipo de aves hacen uso de una fovea para que la visión a distancia sea más nítida y la otra fovea para la visión más cercana como por ejemplo la manipulación de una presa. Las aves que más destacan en este punto son las rapaces

diurnas, donde solo con su comportamiento nos muestran esta gran ventaja. Se cree que la fovea lateral es importante para la visión binocular, y la fovea central para la visión monocular. La combinación de varias adaptaciones oculares junto con una gran corteza occipital (llamada “wulst” visual) proporciona a algunas aves una agudeza visual mayor que la de los seres humanos (Contreras, 2015).



Figura 6. Imagen de las dos foveas de un cernícalo. Fuente: Wood's 1917 *Fundus Oculi of Birds*.

### 1.3. El campo visual

Los campos visuales describen el espacio tridimensional alrededor de la cabeza dentro del cual un pájaro puede recibir información visual en cualquier instante. La mayoría de las aves tienen los ojos situados lateralmente, lo que les permite tener una visión de casi 360°, pero por otro lado la visión estereoscópica es menor. Este hecho podría ser una de las causas de que las aves a pesar de estar bien adaptadas visualmente a su medio, y tener una gran agudeza visual, no sean capaces de reconocer algunos obstáculos (Martin, 2007).

Hay considerables diferencias interespecíficas en todos los aspectos de los campos visuales de las aves. En función de la topografía de la porción binocular frontal de los campos de las aves se establecen tres tipos que también están en función de la ecología de la alimentación y de los requisitos de aprovisionamiento de crías. En el tipo 1, el ancho máximo del campo binocular se encuentra entre 20° y 30°, y esto ocurre en la mayoría de las aves, donde podemos incluir a la Garcilla Bueyera. El tipo 2 se caracterizan por un campo binocular frontal de 10° de ancho con el pico cayendo en la periferia o fuera del campo visual. Se hace pleno uso del campo óptico disponible tanto en la parte delantera como en la parte posterior de la cabeza. La consecuencia de esto es que el ave obtiene visión panorámica por encima y alrededor de la cabeza, es decir, tiene una cobertura visual completa. Este tipo de campo visual incluye especies como las anátidas. En el tipo 3 se encuentran en los búhos (*Strigidae*, *Tytonidae*). En estas aves, hay un amplio campo binocular frontal de 50° de ancho con la proyección de la punta del pico justo fuera de la periferia inferior del campo frontal. También cuentan con un área ciega extensa por encima de la cabeza que alcanza una anchura máxima de aproximadamente 160° tras ella. Las aves que presentan campos visuales de tipo 1 son más vulnerables, ya que puede dar lugar

a la abolición espontánea de la binocularidad y se pueden producir campos visuales marcadamente asimétricos.

#### 1.4. Percepción de los brillos o destellos

Otra diferencia muy importante entre las aves y los mamíferos es la ausencia de decusación del quiasma óptico por parte de las aves, esto quiere decir que la integración de la información de cada campo visual se produce de forma directa en el cerebro medio y no hay integración de la información de forma cruzada. Sin embargo, debido a que el tabique interóseo que separa los globos es tan delgado, un estímulo de luz brillante dirigido a un globo puede estimular la retina contralateral y resultar en constricción de la pupila imitando un reflejo consensual. Para poder procesar toda esa información visual, en las aves, el nervio óptico es más grueso y cuenta con mayor número de neuronas que el de otros animales, como consecuencia el área del cerebro donde se proyecta este sentido está más desarrollada que por ejemplo el área del gusto y del olfato (Williams, 2012). Relativo al reflejo pasivo de la luz, luces intermitentes podría tener más probabilidades de alertar a las aves debido a la intermitencia. Los estímulos inhiben la habituación (Staddon, 1993) y porque la interrupción de los estímulos de luz en el campo visual frontal hace los objetos parecen menos distintos (Martin, 2011), lo que puede desviar el movimiento lejos de esos objetos.

Con independencia de las peculiaridades anatómicas de cada especie, el carácter migratorio, el conocimiento que se tenga del sitio, y la agresividad en la defensa del territorio, parecen explicar las diferencias en susceptibilidad a las colisiones encontradas a nivel de especie, sexo (mas en machos) y edad (más en jóvenes) (Basilio et al., 2020).

## **2. Fuentes de riesgo por colisión en cristales de aves en zonas urbanas**

### 2.1. Transparencia y reflexión de los cristales

El problema con el que la sociedad está más familiarizada, en cuanto a las colisiones de los pájaros, es la parte de la transparencia de los cristales, ya que es lo que se suele percibir en la mayoría de las ciudades. En horas de luz las aves no tienen la capacidad de ver el vidrio como un obstáculo durante el vuelo (Klem, 2009), y este hecho puede venir dado por dos factores: la reflexión y la transparencia del vidrio.

El cristal usado en la arquitectura urbana puede ser muy variable, desde un cristal que deje pasar la luz al 100% y sea totalmente transparente, hasta otro que refleje la totalidad de la luz creando un efecto espejo. Así mismo, el vidrio dependiendo del tipo de cristal, de la iluminación del interior del edificio y del entorno, produce un mayor reflejo y

puede actuar como un espejo, reflejando paisajes como las nubes, el cielo, la vegetación o el suelo que los pájaros no son capaces de percibir que se trata de un cristal, por lo que es otro de los motivos de colisiones (Schneider et al., 2018). Podemos afirmar que cuanto más transparente sea la superficie del cristal mayor peligro representa para las aves (Schmid, 2008). Por otro lado, si a través del cristal se puede ver vegetación o macetas dentro del edificio es aún más peligroso. Los "skywalks" de cristal que conectan edificios, las pantallas separadoras antirruido de cristal, las disposiciones de ventanas que forman esquinas de cristal (Figura 7) y los balcones de cristal exteriores o las pasarela de cristal son zonas propensas donde los pájaros colisionan porque estos perciben una ruta sin obstáculos hacia el otro lado (Sheppard y Phillips, 2015; Mitrus y Zbyryt, 2017). La cantidad de vidrio en la fachada de un edificio puede tener un efecto en las colisiones de éstas en edificios igual o mayor que el de la cantidad de luz emitida desde la fachada (Schmid et al., 2008).

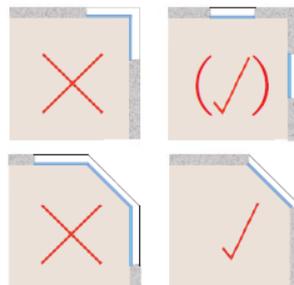


Figura 7. Disposición de las ventanas en la esquina de una edificación; X: disposición de las ventanas que permite un mayor número de colisiones; ✓: disposición de las ventanas bird-friendly. Fuente: Hans Schmid.

Hay situaciones en las que es posible visualizar a través de los cristales de forma tan sumamente clara que para las aves puede suponer un grave peligro. Estas situaciones tienen más peso cuando la transparencia se da en esquinas de los edificios, mamparas anti-ruido, pasillos que conectan edificios, balcones con vegetación dentro, etc. (Gelb y Delacretaz, 2006; Brown et al., 2007; Klem, 2009; Calvin et al., 2010; Kummer et al., 2016; Brown et al., 2020).

## 2.2. La iluminación del entorno

Sabemos que la mayoría de las colisiones suceden en horas de día, pero otra de las causas de accidentes que es menos conocida, pero no por ello menos importante, es la iluminación artificial en horas nocturnas. Aunque la iluminación artificial ha tenido un impacto positivo en la vida de los ciudadanos, tiene efectos negativos para las aves de nuestro entorno cuando ha sido mal diseñada o instalada incorrectamente (Klem, 2014).

La contaminación lumínica (Figura 8) puede atraer y confundir a las aves migratorias nocturnas, aumentando las colisiones en edificios (Evans Ogden, 2002; Gauthreaux y Belser, 2006; Haupt y Schillemeit, 2011; Keyes y Sexton, 2014; Parkins et al., 2015; Winger et al., 2019; Riding et al., 2019). Las luces al aire libre no solo brillan donde queremos en nuestras calles y edificios, sino también hacia el cielo. La iluminación artificial en la noche aparentemente interrumpe los mecanismos de orientación y puede hacer que las aves se desvíen de sus rutas de vuelo. En estos casos las aves se ven atraídas por la iluminación, y esto tiene consecuencias fatales como la muerte por colisiones. Esta trampa se acentúa más en condiciones meteorológicas desfavorables como la niebla, ya que las aves bajan la altura de su vuelo y están más expuestas (Morozov et al., 2017).

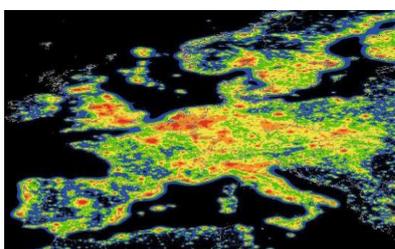


Figura 8. Imagen nocturna de Europa donde se puede apreciar el impacto de la iluminación. Fuente: Dark Sky.

Por otro lado, la susceptibilidad de las condiciones en la noche también es grave, cuando las aves migratorias y nocturnas son atraídas y desorientadas por la iluminación que emana desde detrás de las ventanas, más aún cuando las condiciones meteorológicas son desfavorables (Evans Ogden, 2002; Keyes y Sexton, 2014; Klem, 2014; Parkins et al., 2015; Lao et al., 2019).

Cuando las condiciones meteorológicas son desfavorables como la niebla (Figura 9), en la noche, las aves pueden perder la orientación. Estas son atraídas por los haces de luz que se desprenden en el entorno urbano, y es donde nos encontramos con el problema de las colisiones o incluso caen muertas desde el cielo a causa del estrés y el agotamiento. Para evitar este suceso se pueden tomar una serie de medidas (Morozov et al., 2017).



Figura 9. Combinación de luz artificial y niebla en la noche de los Alpes. Fuente: Christophe Suarez.

### 2.3. Los depredadores urbanos oportunistas

La depredación de aves de vida libre por gatos y perros supone uno de los principales impactos de la urbanización en la avifauna a nivel mundial. Sin embargo, a parte de la depredación directa, también contamos con la depredación después de que las aves sufran una colisión y se encuentren conmocionadas quedando inmóviles y siendo una presa fácil para nuestras mascotas (Rebolo-Ifrán et al., 2021). Incluso si las aves que colisionan llegan a morir, éstas desaparecen rápidamente por carroñeros, por lo que es difícil realizar un conteo preciso en los estudios (Clarke et al., 2020).

Los resultados muestran que la depredación indirecta después de colisiones de aves por ventanas representa una fuente considerable de mortalidad aviar, que requiere más atención y más búsqueda de soluciones eficaces. Rebolo-Ifrán et al. (2021) registraron que alrededor de 6 millones de aves al año mueren en Argentina por la depredación tras colisión. Más del 68% de la población tenían al menos un perro o gato, y de éstos, 45,3% informaron haber observado al menos un caso de depredación de aves por sus mascotas.

## **3. Identificación de espacios urbanos de especial riesgo.**

### 3.1.- Parques Zoológicos.

En los parques zoológicos se prevé que las colisiones sean frecuentes dadas las instalaciones, que suelen ser de cristalerías grandes transparentes que a través de ellas se puede ver vegetación y espacios abiertos para el bienestar de los animales (Figura 10).



Figura 10. Instalaciones del Zoo del Bronx a través de las cuales se ve mucha vegetación.

Fuente: AdtionKid Youtube

La autoridad de conservación de la naturaleza del estado federal de Berlín ha llevado a cabo cuatro estudios para evaluar los riesgos de los parques Zoological Garden Berlín y Tierpark Berlín entre los años 2013 y 2015. Para ello se centraron en el registro de todos los rastros de colisiones de aves, realizado en 98 visitas. En total llegaron a registrarse 270 colisiones en cristalerías, de los cuales 230 fueron registros indirectos. Se comprobó que más del 80% de las colisiones mortales que se verificaron no dejaron rastro reconocible, por

lo que 270 registros no es un número real. De forma general, para obtener un dato real se debe multiplicar por cinco la cifra, por lo que aproximadamente 1.350 aves fueron víctimas del mal uso de cristalerías en los parques zoológicos. Para darle solución a este daño, los parques zoológicos tomaron medidas que resultaron eficaces recubriendo las cristalerías con vinilos, para evitar la transparencia (Steiof et al., 2017).

### 3.2. Jardines públicos/ parques urbanos

Los parques urbanos pueden proporcionar un hábitat para las aves que migran a través de las ciudades (Seewagen y Slayton, 2008; Seewagen et al., 2010). Debido a que se sienten atraídas por este tipo de zonas, las aves son más propensas a encontrarse con ventanas y edificios que están adyacentes a parques y jardines públicos, lo que aumenta los riesgos que plantea la luz y el vidrio en tales áreas (Parkins et al., 2015).

En Bryant Park, un parque en el centro de Manhattan, que a su vez es un ejemplo que con varios factores de riesgo combinados para la colisión de las aves como son la iluminación brillante de estadio y edificios altos con muchas ventanas e iluminados en la noche, se realizó un estudio de colisiones que contabilizó en 45 días de observación, 35 aves de 16 especies diferentes que fueron víctimas de impactos. Pero también se comprobó que la depredación fue un factor fundamental en la desaparición de cadáveres, por lo que sugiere un número mayor de víctimas. Todas las aves identificadas eran aves migratorias de paso, mientras que no hubo constancia de colisiones de aves locales (Parkins et al., 2015). Los edificios que rodean Bryant Park también cuentan con jardines, y toda el área está bordeada de árboles, muchos de los cuales se reflejan en las ventanas y fachadas de los edificios. Estos edificios tienen entre 17 y 50 pisos con una fachada amplia que cuenta con vidrio reflectante. A parte, Bryant Park está iluminado por la noche con luces de estadio, que pueden atraer o desorientar a las aves durante la migración de primavera y otoño. Esto conlleva que las aves migratorias que descansan ahí en la noche, a la hora de volar a la mañana siguiente, los edificios les supone una trampa mortal.

La mitigación de la luz y el vidrio son necesarios para reducir las colisiones de aves en las zonas urbanas con presencia de jardines o parques públicos y la cantidad de vegetación reflejada o presente detrás de las ventanas y el paisajismo que causa la reflexión de la vegetación en ellas puede aumentar el riesgo de muertes por colisión (Gelb y Delacretaz, 2006; Klem, 2009; Calvin et al., 2010; Parkins et al., 2015).

### 3.3. Barreras antirruído

Durante los últimos 100 años, las redes de carreteras se han convertido en una parte visible del paisaje antropogénico y han afectado en gran medida al medio ambiente y al

bienestar humano, incluido el efecto del ruido. Para reducir el impacto del ruido, las barreras antirruído (generalmente transparentes) se instalan a lo largo de las carreteras. Cada año miles de aves mueren en colisión con pantallas de vidrio y acrílico, y estas son causas importantes de mortalidad aviar (Mitrus y Zbyryt, 2017). En una carretera que cruza parte de los bosques de Zwierzyniecki de Białystok (Polonia), con este tipo de sistemas antirruído, se realizó un estudio durante dos años, donde se pudo constatar 114 colisiones con final fatal (Mitrus y Zbyryt, 2017). También la presencia de carroñeros pueden reducir significativamente el número de víctimas encontradas por las colisiones (Klem, 1990a). Para mitigar la situación se instalaron rayas negras a una parte de las barreras antirruído, y se pudo comprobar que donde se pusieron dichas rayas disminuyeron los impactos hasta 15 veces, mientras que en las zonas donde no se instalaron no hubo cambios significativos (Mitrus y Zbyryt, 2017).

#### 3.4. Campus Universitarios

La transformación de áreas naturales a infraestructuras urbanas tiene un impacto sobre las poblaciones de aves que está subestimado (Marzluff et al., 2001; Klem, 2010). Un estudio realizado, entre abril de 2006 y noviembre de 2008, en 6 de los 46 edificios del campus de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, se registraron 106 colisiones de aves de 18 especies diferentes, de las cuales 11 eran aves migratorias y 7 locales. Probablemente los datos de las colisiones no son del todo ciertos, ya que algunos de los impactos de las aves no dejan evidencia como hemos comentado anteriormente. Dicho campus limita al sur y al oriente con el Parque Nacional Olaya Herrera, un área de 283 ha de bosque, al oriente con la Reserva Forestal de los Cerros Orientales y al norte y occidente con zonas urbanas, con lo cual atrae a muchas aves en épocas de migración (Agudelo-Álvarez et al., 2010). También en este contexto se identificó que la introducción de vidrios reflexivos era menor que con vidrios traslúcidos. Como la mayoría de los estudios, este sugiere que se podría lograr una reducción bastante considerable de los accidentes tan solo modificando la cobertura de vidrio y desarrollando construcciones amigables para las aves (Klem, 2010).

La Universidad de Córdoba, en concreto el Campus universitario de Rabanales, ha creado un proyecto llamado “Pasillos de biodiversidad” (Figura 11) para evitar la mortandad de aves por colisión. Dicho campus cuenta con un pasillo con cristaleras que une dos edificios, en el cual surgían a menudo impactos de aves, la mayoría paseriformes. Este proyecto ha establecido medidas para evitar este fenómeno, para ello cuenta con vinilos educativos, en concreto explicativos de diferentes especies de aves, en todas las cristaleras, los cuales dejan pasar la luz pero evitan que las aves colisionen.



Figura 11. Autoridades junto al alumnado y profesorado de la Escuela de Arte Mateo Inurria, Córdoba, en la inauguración del proyecto “Pasillos de biodiversidad”. Fuente: Universidad de Córdoba (2020).

### 3.5. Polideportivos/ pistas de pádel

El equipo técnico de la Reserva de la Biosfera “Sierra del Rincón” en el año 2014 observó como una gran cantidad de aves morían a causa de las colisiones contra las pistas de pádel instaladas en el extremo norte de la Comunidad de Madrid, en las localidades de Prádena del Rincón y Montejo de la Sierra. A raíz de ahí realizaron un estudio en junio de 2015 para saber el alcance de este problema y durante los once meses de estudio hicieron más de 60 visitas, donde localizaron 19 aves muertas y 6 aturdidas que pudieron recuperar y liberar posteriormente, estas aves pertenecían a 13 especies diferentes. Para disminuir las colisiones se instalaron vinilos (Figura 12) en todas las cristaleras de las pistas de pádel, y se pudo comprobar su eficacia, ya que no se constataron casos de colisiones tras la puesta de los vinilos (Vega et al., 2017).



Figura 12. Colocación de vinilos en una pista de pádel de Prádena del Rincón (Madrid). Fuente: Ezequiel Martínez (2014).

## **4. Soluciones arquitectónicas y estructurales para evitar las colisiones de aves.**

### 4.1. Cómo podemos reducir la transparencia de los cristales

Para poder evitar las colisiones de una forma efectiva se debe tener en cuenta que las superficies transparentes de los cristales habría que hacerlas visibles para las aves. La

clave para evitar la transparencia es aumentar el ruido visual en el cristal (Klem, 2009). Aunque aún se necesita más investigación para determinar las dimensiones más efectivas para prevenir colisiones, parece ser que las rayas verticales con una distancia de 5 cm cada una son las más eficaces (Klem, 2009), pero se pueden utilizar diferentes técnicas como rayas horizontales que también pueden ser válidas (Figura 13). Cuando se pretenda usar otro tipo de patrones que no sean rayas es recomendable minimizar el espacio entre ellas, ya que no crean el ruido visual suficiente para evitar las colisiones (Schmid et al., 2008).



Figura 13. Cristales con patrones de rayas en diferentes ángulos. Fuente: Christine Sheppard, ABC.

A pesar de que se siguen comercializando adhesivos negros con siluetas de rapaces (Figura 14 (A)) se ha comprobado que no son efectivos si no se ponen a una distancia suficientemente pequeña unos de otros, ya que se siguen viendo colisiones en cristaleras. (Ocampo-Peñuela et al., 2016; Brisque et al., 2017). Se está llevando a cabo el desarrollo de elementos adhesivos que no sean visibles al ojo humano y sí al ojo de las aves, aprovechando la visión ultravioleta de estas. Estos elementos, aún en desarrollo, todavía no cuentan con suficiente eficacia. Los adhesivos que reflejan la luz UV ha demostrado ser efectivos principalmente en las especies de paseriformes que tienen una mayor percepción ultravioleta (Hastad y Ödeen, 2014). De la misma manera que los anteriores, también requieren que se coloquen muy cerca unos de otros para evitar las colisiones (Figura 14 (B)) (Sheppard y Phillips, 2015).



Figura 14. (A) Adhesivos de rapaces en el Centro de Conservación Zoológico de Córdoba. (B) Adhesivos UV para evitar colisiones de aves.

Otra posibilidad es utilizar materiales alternativos como el vidrio corrugado, translúcido, que nos evita la transparencia y la reflexión de los cristales. Se pueden utilizar técnicas como el cristal grabado al ácido o al chorro de arena, como nos muestra los balcones de la figura 15(A), creando tal opacidad en el cristal que llegue a minimizar la transparencia de éste, dejando un patrón visible para las aves. Otra técnica empleada para dar opacidad al cristal es haciéndolo con una matriz de frita de cerámica (Figura 15(B)), que se basa en hacer un tratamiento térmico de diferentes minerales (Figura 15(C)) (Klem, 2016) y reducen la penetración de la luz y el calor solar (Wilson y Elstner, 2018; Brown et al., 2020).

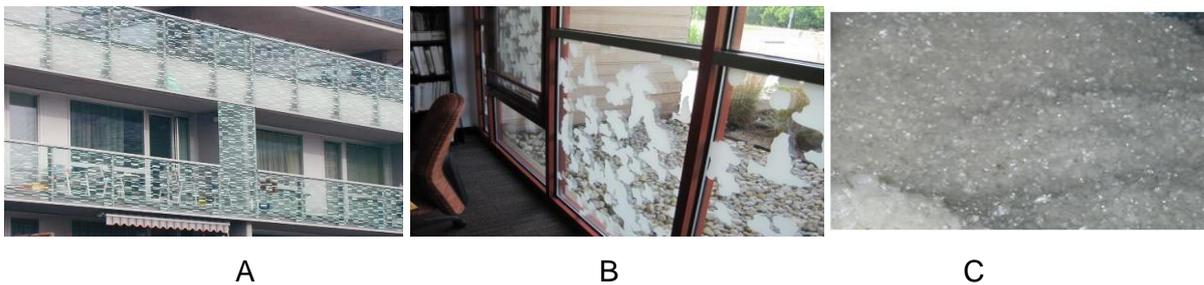


Figura 15. (A) Balcones con cristal grabado. Fuente: Edificaciones, aves y cristales Petra Waldburger. (B) Vidrio fritado en la ventana. Fuente: Christine Sheppard, ABC. (C) Fritas de cerámica. Fuente: <https://www.anfecc.com/es/fritas>

Por otro lado, es recomendable el uso de las pantallas o estores interiores para evitar que el ave sea capaz de ver a través del cristal. Este método no es permanente, pero en épocas de migración, cuando ocurren la mayoría de las colisiones, es una buena alternativa (Calvin et al., 2010). Exteriormente podemos aplicar métodos que nos proporcionen sombreado como toldos, persianas o estantes de luz (Machtans et al., 2013). También se ha comprobado que el uso de cuerdas de tipo paracaídas es eficaz (Figura 16), estas se dejan colgar frente a la ventana y evita que el ave se acerque a ellas y por tanto las colisiones (Brown et al., 2007).



Figura 16. Uso de cuerdas en la fachada de un edificio. Fuente: Hans Schmid.

El empleo de vinilos (Figura 17) es aceptado en ciertas ocasiones, generalmente en edificaciones que no sean de un particular, aunque el principal inconveniente es que la vida

útil de garantía es de 5 a 7 años. Se ha comprobado, según un estudio realizado en Europa, que este tipo de instrumentos han sido utilizados en los autobuses de las ciudades, salvando con ello la vida de cientos de aves, la mayoría paseriformes (Zyśk-Gorczyńska et al., 2019).



Figura 17. Aplicación de vinilo en la entrada del Centro de Educación Ding Darling en el Refugio Nacional de Vida Silvestre J. N. "Ding" Darling. Fuente: USFWS.

Para nuevas construcciones podemos hacer uso de ladrillo de vidrio o cristal de pavés (Figura 18), que deja pasar la luz pero evita la transparencia. Este tipo de vidrio puede dar lugar a reflexión pero la imagen que muestra es tan distorsionada que no es una amenaza para las aves.

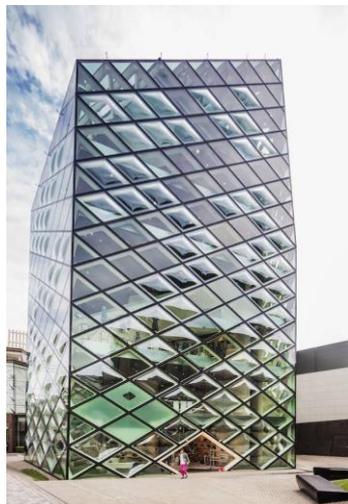


Figura 18. Utilización de ladrillo de vidrio o cristal pavés en un edificio. Fuente: Marta Martínez (2020).

Se pueden crear estructuras metálicas alrededor de los edificios que permitan el paso de la luz y que no permita la entrada de aves, pero para ello no pueden tener un diámetro mayor de 2 cm. Este tipo de estructuras, con un diámetro mayor, pueden combinarse con vegetación y ser un gran éxito, siempre y cuando la vegetación esté a poca distancia de las ventanas (Figura 19), ya que el ave llega a poca velocidad y podría evitar la colisión sin problema (Schmid et al., 2008).



Figura 19. Fachada con vegetación para reducir la distancia al cristal y evitar las colisiones por transparencia. Fuente: Wilfried Doppler/Wiener Umwelthanwaltschaft.

Como últimos avances una empresa alemana, ArnoldGlas, en 2007, desarrolló un vidrio con un tratamiento reflexivo ultravioleta, Ornilux (Figura 20), que se trata de un vidrio visible para las aves sin afectar a la visión de las personas (Ocampo-Peñuela et al., 2010; Håstad y Ödeen 2014). Sin embargo, las especies de aves pueden variar en sus capacidades para detectar estos patrones (Håstad y Ödeen, 2014) y la luz ultravioleta está menos disponible en días nublados o de madrugada (Sheppard, 2019; Brown et al., 2020). Siguiendo la misma línea, BirdShades ha desarrollado otro tipo de elemento parecido, usando un sistema similar aplicando una película ultravioleta al cristal, que aparece como un ligero tinte para el ojo humano, aunque debería ser altamente visible para muchas especies de aves que ven en este rango espectral (Swaddle et al., 2020).

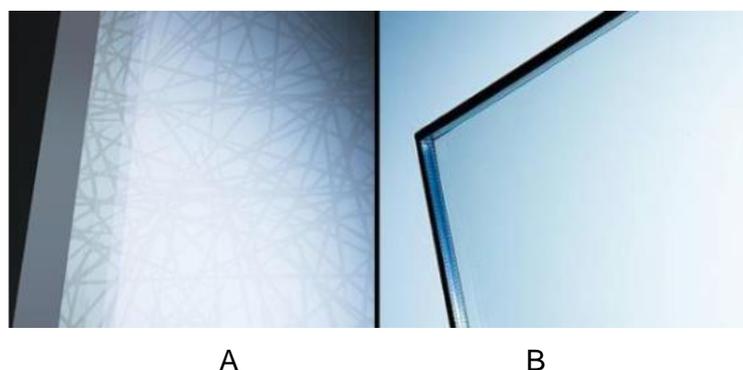


Figura 20. Cristal Ornilux donde puede verse la manera en que lo perciben las aves (A) y la manera en que lo ven las personas (B). Fuente: Roberto Jiménez, 2014.

El hecho de reducir las transparencias de nuestros cristales puede acarrear una serie de inconvenientes como un aumento en el costo de construcción, reducir la entrada de luz natural o que la estética del edificio no sea la esperada. Pero se pueden utilizar alternativas económicas como los adhesivos de tiras y colocarlas de manera vertical, con un gesto tan simple se pueden salvar millones de vidas.

#### 4.2. Cómo evitar la reflexión de nuestros cristales

En edificaciones de nueva construcción lo principal es siempre que sea posible utilizar un cristal sin reflexión o con baja reflexión (entre 0 y 10% de reflexión). Otra de las opciones con la que podemos contar es con vidrios de colores de baja reflexión (Figura 21), aunque no están muy estudiados, se sabe que si son de alta reflexión serían un inconveniente para las aves.



Figura 21. Fachada de edificios con vidrios de color no reflectantes. Fuente: Pirmin Nietlisbach, *Construir con cristal y luz sin perjuicio para las aves. Estación Ornitológica Suiza, Sempach.*

Colocar el cristal con una angulación entre 20 y 40 grados para que pueda reflejar el suelo en lugar de la vegetación del ambiente o incluso el cielo. De esta manera se crea como un efecto de muro y las aves lo evitan (Brown et al., 2007).

Con los métodos vistos anteriormente para evitar la transparencia también podemos evitar la reflexión de los cristales, utilizando los vinilos, patrones de puntos (Figura 22), vidrio grabado al ácido o al chorro de arena y métodos al alcance de todos como la colocación interior de pantallas o estores y exteriormente de persianas o cuerdas colgantes.



Figura 22. Patrón de puntos para evitar la reflexión. Fuente: Dennis Schroeder.

El método de los adhesivos en tiras verticales u horizontales también es efectivo, siempre y cuando se coloquen a una distancia razonable, ya que la imagen que daría de reflexión estaría interferida por dichas líneas y evitaría la colisión de las aves.

### 4.3. Cómo iluminar los espacios en horas nocturnas

Debemos usar la luz en horas nocturnas únicamente el tiempo necesario y en lugares necesarios, y nunca en exceso. Para que no perjudique la luz que usemos en la noche habría que ajustar la intensidad de esta para que fuese, en la medida de lo posible, más baja. En el caso que se precise iluminar algún objeto en concreto hay que tratar de que enfoque exclusivamente al objeto y no se dispersen los rayos de luz siguiendo las pautas de la figura 23 (Kershner, 2016).

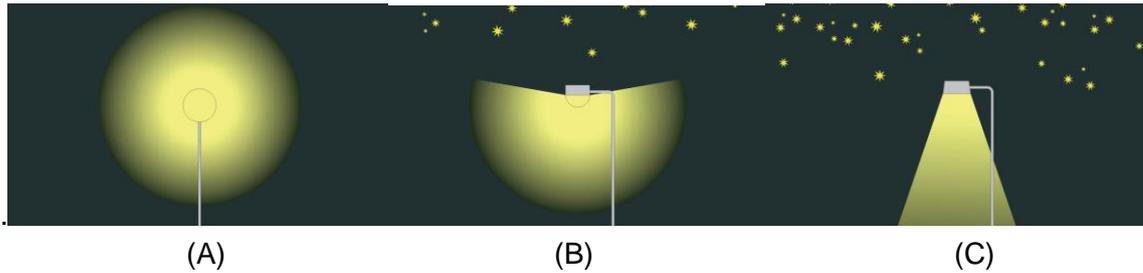


Figura 23. Diferentes tipos de farolas, (A) menos idónea y (C) más idónea. Fuente: Hans Schmid.

Otra de las medidas siguiendo las pautas de bird-friendly y como ahorro de energía, es instalar sensores de movimiento en diferentes estancias de edificios para que las luces solo se enciendan para el paso de la gente y permanezcan apagadas mientras no sean necesarias (Figura 24). Del mismo modo, en épocas de migración, se podrían poner en nuestras calles de forma puntual. Con este tipo de medidas se conseguiría bajar la contaminación lumínica y evitaríamos que la cantidad de aves que migran en primavera y otoño se desorientaran y acabasen muriendo (Brown et al., 2007).



Figura 24. Destellos de una farola en una calle poco transitada.

### 4.4. Cambios de hábitos recomendados

Algo tan fácil como la bajada de una persiana puede salvar la vida de millones de aves que migran en la noche. El único inconveniente es que las personas no somos conscientes del peligro que puede acarrear dejar que la luz de nuestras viviendas sea visible desde el exterior del edificio. Por ello sería interesante realizar campañas a nivel mundial de cómo podemos contribuir a la mejora del entorno para las aves, siguiendo los pasos de los

programas Light Out (<https://www.audubon.org/conservation/existing-lights-out-programs>) como el programa FLAP de Canadá (<https://flap.org/>) (Kershner, 2016).

Organizaciones como el “British Trust for Ornithology”, la “Royal Society for the Protection of Birds” y el “Cornell Lab of Ornithology” han fomentado activamente la alimentación de aves silvestres como una actividad para promover la conservación, sin embargo, habría que tener en cuenta los problemas relacionados con las colisiones que pudiera causar esta acción (Jones, 2011). Según un estudio realizado en Alberta (Canadá) la presencia de comederos de aves en las casas aumentó el riesgo de colisión de 1,57 a 2,20 veces, pero también tuvo repercusión el tipo de casa y el tipo de ventana (Kummer y Bayne, 2015). Klem et al. (2004) recomiendan colocar comederos de aves más cerca de las ventanas para reducir las colisiones, y efectivamente en dicho estudio se obtuvo una tasa de colisión ligeramente mayor cuando la distancia del comedero fue de 5 metros en comparación con 1 metro (Figura 25). El riesgo de colisiones también aumenta si el comedero se encuentra en una zona con vegetación y si la ventana presenta el fenómeno de transparencia o reflectancia (Kummer y Bayne, 2015). Este hecho no quiere decir que haya que eliminar los comederos para las aves, si no que se sigan las directrices para que esos comederos sean seguros para ellas (Robb et al., 2008).

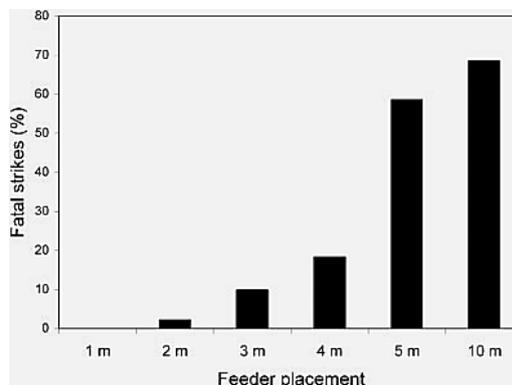


Figura 25. Proporción de muertes por colisiones (%) a medida que aumenta la distancia de los comederos. Fuente: Klem et al., 2004.

## 5. Regulación para la prevención de accidentes por colisiones en las normativas urbanísticas

### 5.1. A nivel europeo

A este nivel podemos destacar la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres, a pesar de no incluir específicamente medidas para evitar las colisiones de aves provocadas por el hombre tales como infraestructuras diseñadas con vidrio.

## 5.2. En el ámbito nacional

Se está abordando la reforma del Real Decreto 1.432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta, añadiéndose en la previsión actual otros supuestos de riesgos antropogénicos, como las colisiones de avifauna y otros animales en diversas infraestructuras, o por ahogamientos de fauna silvestre en estructuras de retención y conducción de agua.

Dicho Real Decreto estableció medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión, es una norma ambiental, y de seguridad industrial, que tiene por objeto establecer normas de carácter técnico de aplicación a las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos, situadas en las zonas de protección que se designan por las Comunidades Autónomas, con el fin de reducir los riesgos de electrocución y colisión para la avifauna, pero aún no recoge lo esperado, los riesgos de colisiones de aves en vidrios a causa del ser humano, para cumplir con la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y Biodiversidad, que establece el principio de “no pérdida neta de biodiversidad”.

Las medidas de prevención y evitación de daños por colisiones en cristaleras y otras superficies rígidas transparentes consistirán en el establecimiento de un sistema que haga visible el cristal, bien sea con vinilos o con sistemas que reduzcan significativamente el impacto. Las medidas deberán instalarse en edificaciones, construcciones e infraestructuras nuevas y en las existentes en la actualidad. Si el sistema empleado no fuera suficientemente eficaz, el titular de la instalación deberá ponerlo en conocimiento de la Administración ambiental, sus Agentes de la Autoridad y la Administración urbanística competente al efecto de que se evalúe y se establezcan otros tipos de soluciones al respecto que garanticen una mejora y la eficacia de las medidas.

## 5.3. A nivel autonómico y local

Las Administraciones autonómicas y locales competentes en materia de urbanismo y ordenación del territorio deberán incorporar e integrar en la normativa y planes correspondientes las medidas y efectos previstos en el Real Decreto 1.432/2008 en cuanto a la prevención y evitación del riesgo de colisión en vallados en suelo rústico o urbano.

Por otro lado, a nivel de Andalucía contamos con el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. En esta norma podemos ver que la iluminación artificial en exceso

termina provocando alteraciones en los ciclos vitales y en los comportamientos de especies animales y vegetales con hábitos de vida nocturnos, aquí es donde incluimos las aves, especialmente las que migran en horas nocturnas. Dicha norma viene dada a través de la Sección 3ª del Capítulo II del Título IV de la Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental y del Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.

A su vez, cada provincia determina una serie de normas en base a lo anterior mediante Ordenanzas Municipales, en concreto Córdoba cuenta con la Ordenanza Municipal sobre "protección del cielo nocturno". El ámbito de aplicación de dicha Ordenanza es dentro del municipio de la ciudad de Córdoba, a los proyectos de iluminación exterior, tanto públicos como privados, de nuevas instalaciones y de renovaciones de instalaciones obsoletas y que han cumplido su vida útil de funcionamiento.

El objetivo de esta ordenanza es establecer unos criterios restrictivos, de manera que se evite, el que por el mal uso de luminarias inadecuadas o el mal apantallamiento de iluminación de exteriores, se envíe luz de forma directa hacia el cielo, en vez de ser utilizada para iluminar de forma adecuada a las calzadas. Por otro lado esta ordenanza trata de establecer unas pautas genéricas de adecuación de niveles lumínicos y de utilización de fuentes de luz adecuadas, para que la emisión indirecta de reflexión de las superficies iluminadas se aminore y para que la distribución espectral de la luz emitida por las lámparas disminuya la radiación ultravioleta, no percibida por el ojo humano, pero perjudicial para las observaciones astronómicas y más concretamente perjudicial para nuestras aves, por ser ondas de gran energía con gran alcance, pero atendiendo a su vez al riesgo de atropello para las personas que transitan por ellas (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Clasificación de las diferentes vías públicas de Córdoba. Fuente: Ordenanza Municipal de Córdoba "Protección del cielo nocturno".

DESCRIPCIÓN DE LA VIA PEATONAL	CLASE
Vía de alto prestigio urbano	P1
Uso nocturno intenso por peatones o por ciclistas	P2
Uso nocturno moderado por peatones o por ciclistas	P3
Uso nocturno menor por peatones o ciclistas	P4

Tabla 3. Valores lumínicos en función de las diferentes vías públicas en Córdoba. Fuente: Ordenanza Municipal de Córdoba “Protección del cielo nocturno”.

	ILUMINANCIA HORIZONTAL			
	ILUMINANCIA MEDIA Em (lux)		ILUMINANCIA MINIMA Emin (lux)	
	VALORES MANTENIDOS		VALORES MANTENIDOS	
CLASE DE ALUMBRADO	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
P1	20	40	7'5	15
P2	10	25	3	7'5
P3	7'5	20	1'5	4
P4	5	15	1	3

Otras comunidades como La Rioja son un poco más concisas y cuenta con la Ley 6/2018, de 26 de noviembre, de protección de los animales en la Comunidad Autónoma de La Rioja, donde en el Título VI de la fauna silvestre, en el Capítulo III de prevención de accidentes, Artículo 36 de Edificaciones y estructuras, habla de que las edificaciones y estructuras de nueva construcción deberán evitar utilizar elementos que puedan producir accidentes en la fauna silvestre y los propietarios de edificaciones y estructuras ya existentes en el momento de la entrada en vigor de la presente ley, en las que se produzcan accidentes de la fauna silvestre, estarán obligados, en el plazo que fijen en cada caso los servicios de la consejería competente en la materia, a dotar a las mismas de los elementos limitantes o disuasorios necesarios para que dichos accidentes no se continúen produciendo, especialmente cuando se trate de: grandes superficies acristaladas que produzcan colisiones en aves, alambradas y cercados que originan colisiones y enganches a la fauna en general, balsas de riego, estanques, acequias y otros depósitos de agua que impiden la salida de fauna en general, tendidos eléctricos y sus apoyos.

## **6. Propuesta de planes educativos en el Centro de Conservación Zoo de Córdoba en la sensibilización y prevención de los accidentes por colisión de la avifauna**

El Centro de Conservación Zoo de Córdoba cuenta con un programa educativo que se compone de actividades didácticas y lúdicas cuya principal finalidad es hacer llegar la educación en valores a todos los públicos (<https://zoo.cordoba.es/>). Sus objetivos principales son promocionar, difundir y divulgar los valores relacionados con el cuidado y la conservación de la naturaleza, de la flora, de la fauna y del medio ambiente, mediante talleres medioambientales, visitas técnicas, exposiciones y enriquecimiento ambiental. Estos objetivos encajan con la sensibilización y prevención de los accidentes por colisión en la avifauna, para ello se elaborarán una serie de talleres educativos:

- Identificación de puntos calientes y colocación de adhesivos en las zonas más vulnerables de las instalaciones del Zoo.
- Mediante fotografías, identificación de edificios y estructuras bird-friendly.
- Verificar tanto visual como manualmente diferentes tipos de cristales “bird-friendly”.
- Colocación de paneles informativos sobre la prevención de las colisiones en las instalaciones de avifauna del Zoo.
- Tertulia interactiva sobre el problema de las colisiones de la avifauna.
- Tras la tertulia se realizará un “Hot Potato”, que constara de una serie de preguntas relacionadas con la prevención de accidentes por colisión, el ganador obtendrá su recompensa.

Otras medidas de divulgación son necesarias. Por ejemplo, en la universidad de Utah (Brown et al., 2019) se llevaron a cabo actividades de divulgación en los medios de comunicación, los boletines de la Universidad, en el periódico estudiantil y se creó un servidor de listas de observación de aves local y una página de redes sociales. Además, se ofrecen actividades explicativas a los transeúntes, que incluyen caminar entre arbustos junto a los edificios.

## Conclusiones

1. El problema de la conservación y bienestar de la avifauna mediante la prevención de los riesgos de accidente por colisión contra vidrios en zonas urbanas es un tema de interés emergente y reciente, lo que se viene traduciendo en la realización en los últimos años de estudios científicos y en el desarrollo de soluciones tecnológicas a integrar en el ámbito de la arquitectura sostenible.

2. Para dimensionar en cifras el problema de las colisiones de avifauna contra cristales se requieren estudios precisos que permitan solventar los sesgos debidos a la dificultad de localización de cadáveres por la actuación de los depredadores oportunistas.

3. Se han identificado cómo un importante factor de riesgo inherente a las propias aves el carácter migratorio de ciertas especies, lo que implica una estacionalidad del problema que se relaciona con la desorientación y desconocimiento del entorno y con la manifestación de comportamientos de competencia por el territorio frente a las especies locales.

4. Entre las causas antropogénicas predisponentes a las colisiones de las aves contra cristales, destacan la transparencia y reflexión de los vidrios, la cantidad de cristal de las edificaciones y la proximidad de las mismas a las zonas verdes. Se han identificado

como espacios de especial riesgo, los Zoos, Campus Universitarios, Parque Urbanos, Polideportivos y Barreras antirruídos.

5. Se ha puesto de manifiesto la carencia tanto a nivel internacional como local de un marco legal específico de protección para el problema de la colisión de aves contra cristales en zonas urbanas en cuyo desarrollo se debe contemplar porcentajes máximos de cristal a utilizar en edificaciones, altura de edificios teniendo en cuenta los espacios verdes del entorno, mitigación de la transparencia y reflexión de edificaciones ya construidas.

6. Entre las soluciones arquitectónicas a incorporar en los planes urbanísticos locales y en las certificaciones de arquitectura sostenible se deben incorporar elementos tales como vidrio “bird-friendly” (grabado, fritado, pavés, ornilux) y adhesivos lineales o con formas.

7. El Centro de Conservación Zoo de Córdoba se manifiesta como un espacio idóneo para el desarrollo de programas educativos a distintos niveles y de sensibilización de la sociedad frente al problema de los accidentes en avifauna por colisiones contra cristales.

## Compromiso ético

El diseño de este trabajo no contempla el uso de animales, por lo que no ha sido necesaria la autorización del Comité de Bioética de acuerdo a la normativa europea en cuanto al bienestar animal.

El trabajo aquí presente es original y libre de plagio, y las fuentes de información que se exponen han sido citadas correctamente, no habiendo sido publicado ni total ni parcialmente con anterioridad.

No existen conflictos de intereses económicos, ni de ninguna otra índole.

## Agradecimientos

A mis directores y tutores de este trabajo Dña. Evangelina Rodero Serrano y D. Rafael Guerra Caro por su aportación de ideas y conocimientos, Dña. Ana González Martínez por su colaboración.

Al Centro de Conservación Zoo de Córdoba por adoptar ideas de este trabajo para la conservación de la avifauna.

A mi familia, en especial mis padres, por apoyarme y guiarme a lo largo de estos años de carrera.

A mis compañeros y amigos de la carrera, por hacerlo todo más ameno y divertido.

## Bibliografía

- Agudelo-Álvarez L., Moreno-Velasquez J., Ocampo-Peñuela N. (2010) Colisiones de aves contra ventanales en un campus universitario de Bogotá, Colombia. *Ornitol Colomb* 10:3-10
- Bonter, D. N., & Cooper, C. B. (2012). Data validation in citizen science: a case study from Project FeederWatch. *Frontiers in ecology and the environment*, 10(6), 305–307.
- Brisque, T., Campos-Silva, L. A., & Piratelli, A. J. (2017). Relationship between bird-of-prey decals and bird-window collisions on a Brazilian university campus. *Zoologia (Curitiba, Brazil)*, 34, 1–8.
- Brown, B. B., Hunter, L., & Santos, S. (2020). Bird-window collisions: different fall and winter risk and protective factors. *PeerJ*, 8(e9401), e9401.
- Brown, B. B., Kusakabe, E., Antonopoulos, A., Siddoway, S., & Thompson, L. (2019). Winter bird-window collisions: mitigation success, risk factors, and implementation challenges. *PeerJ*, 7(e7620), e7620.
- Brown, H. and Caputo, S., 2007. *Bird-Safe Building Guidelines*. New York City Audubon Society. New York, USA.
- Calvert, A.M., Bishop, C.A., Elliot, R.D., Krebs, E.A., Kydd, T.M., Machtans, C.S., Robertson, G.J., (2013). A synthesis of human-related mortality in Canada. *Avian Conservat. Ecol.* 8, 11.
- Calvin, W. (2010). Seasonal, Taxonomic, and Local Habitat Components of Bird-window Collisions on an Urban University Campus in Cleveland, OH. *OHIO J SCI* 110 (3) : 44-52.
- Clarke, M. J., Fraser, E. E., & Warkentin, I. G. (2020). Fine spatial-scale variation in scavenger activity influences avian mortality assessments on a boreal island. *PLoS One*, 15(5), e0233427.
- Contreras, R. (2015). *Un resumen de la visión de las aves*. La guía de Biología. <https://biologia.laguia2000.com/fisiologia-animal/un-resumen-de-la-vision-de-las-aves>.
- Cooper, C. B., Dickinson, J., Phillips, T., & Bonney, R. (2007). Citizen science as a tool for conservation in residential ecosystems. *Ecology and society: a journal of integrative science for resilience and sustainability*, 12(2). <https://doi.org/10.5751/es-02197-120211>
- Cusa, M., Jackson, D. A., & Mesure, M. (2015). Window collisions by migratory bird species: urban geographical patterns and habitat associations. *Urban Ecosystems*, 18(4), 1427–1446.
- Evans Ogden, L. J. (2002). Summary report on the bird friendly building program: Effect of light reduction on collision of migratory birds. Fatal Light Awareness Program (FLAP) 5.
- Fish and wildlife service. Division of migratory bird management. Falls church (January 2016) *Reducing bird collisions with building and building glass. Best practices*. Virginia
- Gauthreaux, S. A., Jr., and C. G. Belser (2006). Effects of artificial night lighting on migrating birds. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (C. Rich and T. Longcore, Editors). Island Press, Washington, DC, USA.
- Gelb Y, Delacretaz N. 2006. Avian window strike mortality at an urban office building. *The Kingbird* 56:190–198.

- Gómez-Martínez, M. A., Klem, D., Jr, Rojas-Soto, O., González-García, F., & MacGregor-Fors, I. (2019). Window strikes: bird collisions in a Neotropical green city. *Urban Ecosystems*, 22(4), 699–708.
- Gordo, O., Aymí, R., & López, T. (2017). Bird-window collisions in a city on the Iberian Mediterranean coast during autumn migration. *Revista Catalana d'Ornitologia*. 33:17-28, 2017.
- Hager, S. B. (2009). Human-related threats to urban raptors. *The Journal of Raptor Research*, 43(3), 210–226.
- Hager, S. B., & Craig, M. E. (2014). Bird-window collisions in the summer breeding season. *PeerJ*, 2, e460.
- Hager, S. B., Cosentino, B. J., Aguilar-Gómez, M. A., Anderson, M. L., Bakermans, M., Boves, T. J., Brandes, D., Butler, M. W., Butler, E. M., Cagle, N. L., Calderón-Parra, R., Capparella, A. P., Chen, A., Cipollini, K., Conkey, A. A. T., Contreras, T. A., Cooper, R. I., Corbin, C. E., Curry, R. L., ... Zuria, I. (2017). Continent-wide analysis of how urbanization affects bird-window collision mortality in North America. *Biological Conservation*, 212, 209–215.
- Hager, S. B., Cosentino, B. J., McKay, K. J., Monson, C., Zuurdeeg, W., & Blevins, B. (2013). Window area and development drive spatial variation in bird-window collisions in an urban landscape. *PloS One*, 8(1), e53371.
- Håstad, O., & Odeen, A. (2014). A vision physiological estimation of ultraviolet window marking visibility to birds. *PeerJ*, 2, e621.
- Haupt, V. H., and U. Schillemeit (2011). Skybeamer und Gebäudeanstrahlungen bringen Zugvögel vom Kurs ab: Neue Untersuchungen und eine rechtliche Bewertung dieser Lichtenanlagen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 43:165–170.
- Heynen, D., Schmid, H. and Waldburge, P., 2012. *Edificaciones, cristales y aves*. Sempach: Estación Ornitológica Suiza, CH-6204 Sempach.
- Jones, D. (2011). An appetite for connection: why we need to understand the effect and value of feeding wild birds. *The Emu*, 111(2), i–vii.
- Kahle, L. Q., Flannery, M. E., & Dumbacher, J. P. (2016). Bird-window collisions at a west-coast urban park museum: Analyses of bird biology and window attributes from Golden Gate park, San Francisco. *PloS One*, 11(1), e0144600.
- Keyes, T., and L. Sexton (2014). Characteristics of bird strikes at Atlanta's commercial buildings during late summer and fall migration, 2005. *The Oriole* 79:1–13.
- Klem Jr., D. 2010. Avian mortality at windows:the second largest human source of bird mortality on earth. Proceedings Fourth International Partners in Flight Conference 2008, McAllen, Texas, USA. USDA, Forest Service Technical Report.
- Klem, D., Jr, Keck, D. C., Marty, K. L., Miller Ball, A. J., Niciu, E. E., & Platt, C. T. (2004). Effects of window angling, feeder placement, and scavengers on avian mortality at plate glass. *The Wilson bulletin*, 116(1), 69–73.
- Klem, D., Jr. (1990a) Collisions between birds and windows: Mortality and prevention. *J. Field Ornithol.* 61, 120–128.
- Klem, D., Jr. (1990b) Bird injuries, cause of death, and recuperation from collisions with windows. *J. Field Ornithol.* 61, 115–119.
- Klem, D., Jr. (2009). Preventing bird–window collisions. *The Wilson journal of ornithology*, 121(2), 314–321.
- Klem, D., Jr. (2014). Landscape, legal, and biodiversity threats that windows pose to birds: A review of an important conservation issue. *Land*, 3(1), 351–361.

- Kummer, J. A., & Bayne, E. M. (2015). Bird feeders and their effects on bird-window collisions at residential houses. *Avian conservation and ecology*, 10(2). <https://doi.org/10.5751/ace-00787-100206>
- Kummer, J. A., E. M. Bayne, and C. S. Machtans (2016). Use of citizen science to identify factors affecting bird–window col-lision risk at houses. *The Condor: Ornithological Applications* 118:624–639.
- Lao, S., Robertson, B. A., Anderson, A. W., Blair, R. B., Eckles, J. W., Turner, R. J., & Loss, S. R. (2019). The influence of artificial light at night and polarized light on bird-building collisions. *Biological Conservation*, 241(108358), 108358.
- Loss, S. R., Loss, S. S., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Linking place-based citizen science with large-scale conservation research: A case study of bird-building collisions and the role of professional scientists. *Biological conservation*, 184, 439–445.
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2012). Direct human-caused mortality of birds: improving quantification of magnitude and assessment of population impact. *Frontiers in ecology and the environment*, 10(7), 357–364.
- Loss, S. R., Will, T., Loss, S. S., & Marra, P. P. (2014). Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *The Condor*, 116(1), 8–23.
- Machtans, C. S., Wedeles, C. H. R., & Bayne, E. M. (2013). A first estimate for Canada of the number of birds killed by colliding with building windows. *Avian conservation and ecology*, 8(2). <https://doi.org/10.5751/ace-00568-080206>
- Maggs, David J., Miller, Paul E., & Ofri, Ron (2018). *Shalter’s fundamentals of veterinary ophthalmology*. St. Louis, Missouri 63043; Elsevier.
- Martin, G., 2007. *Visual fields and their functions in birds*. *Journal of Ornithology*, 148(S2), pp.547-562.
- Martin, G., 2014. The subtlety of simple eyes: the tuning of visual fields to perceptual challenges in birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1636), p.20130040.
- Mitrus, C., & Zbyryt, A. (2017). Reducing avian mortality from noise barrier collisions along an urban roadway. *Urban Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0717-7>
- Ocampo-Peñuela, N., Winton, R. S., Wu, C. J., Zambello, E., Wittig, T. W., & Cagle, N. L. (2016). Patterns of bird-window collisions inform mitigation on a university campus. *PeerJ*, 4(e1652), e1652.
- O'Connell, T.J., 2001. Avian window strike mortality at a suburban office park. *Raven* 72 (2), 141–149.
- Parkins, K. L., Elbin, S. B., & Barnes, E. (2015). Light, glass, and bird—building collisions in an urban park. *Northeastern naturalist*, 22(1), 84–94.
- Pavisse, R., Vangeluwe, D., & Clergeau, P. (2019). Domestic cat predation on garden birds: An analysis from European ringing programmes. *Ardea*, 107(1), 103.
- Rebolo-Ifrán, N., Zamora-Nasca, L., & Lambertucci, S. A. (2021). Cat and dog predation on birds: The importance of indirect predation after bird-window collisions. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 293–299.
- Riding, C. S., O'Connell, T. J., & Loss, S. R. (2019). Building façade-level correlates of bird–window collisions in a small urban area. *The Condor*, 122(1). <https://doi.org/10.1093/condor/duz065>

- Riding, C. S., O'Connell, T. J., & Loss, S. R. (2021). Multi-scale temporal variation in bird-window collisions in the central United States. *Scientific Reports*, 11(1), 11062.
- Robb, G. N., McDonald, R. A., Chamberlain, D. E., & Bearhop, S. (2008). Food for thought: supplementary feeding as a driver of ecological change in avian populations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9), 476–484.
- Santos, L. P. S., de Abreu, V. F., & de Vasconcelos, M. F. (2017). Bird mortality due to collisions in glass panes on an Important Bird Area of southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 25(2), 90–101.
- Schneider, R. M., Barton, C. M., Zirkle, K. W., Greene, C. F., & Newman, K. B. (2018). Year-round monitoring reveals prevalence of fatal bird-window collisions at the Virginia Tech Corporate Research Center. *PeerJ*, 6, e4562.
- Seewagen, C. L., & Slayton, E. J. (2008). Mass changes of migratory landbirds during stopovers in A New York city park. *The Wilson Journal of Ornithology*, 120(2), 296–303.
- Seewagen, C. L., Slayton, E. J., & Guglielmo, C. G. (2010). Passerine migrant stopover duration and spatial behaviour at an urban stopover site. *Acta Oecologica (Montrouge, France)*, 36(5), 484–492.
- Seiof K., Alternkamp R., Baganz K. (2017): Surveys of bird collision on glass at zoo exhibits in Berlin. 16 pages article in German: Vogelschlag an Glasflächen von Tiergehegen. Tiergarten 4/2017: 36-51
- Sheppard, C. 2011. *Bird-Friendly Building Design*. American Bird Conservancy, The Plains, VA, 58p
- Sheppard, C. D. (2019). Evaluating the relative effectiveness of patterns on glass as deterrents of bird collisions with glass. *Global Ecology and Conservation*, 20(e00795), e00795.
- Sillett, T. S., & Holmes, R. T. (2002). Variation in survivorship of a migratory songbird throughout its annual cycle. *The Journal of Animal Ecology*, 71(2), 296–308.
- Stracey CM, Robinson SK (2012) Are urban habitats ecological traps for native songbird? Season-long productivity, apparent survival, and site fidelity in urban and rural habitats. *J Avian Biol* 42:50–60
- Swaddle, J. P., Emerson, L. C., Thady, R. G., & Boycott, T. J. (2020). Ultraviolet-reflective film applied to windows reduces the likelihood of collisions for two species of songbird. *PeerJ*, 8, e9926.
- Uribe-Morfín, P., Gómez-Martínez, M. A., Moreles-Abonce, L., Olvera-Arteaga, A., Shimada-Beltrán, H., & MacGregor-Fors, I. (2021). The invisible enemy: Understanding bird-window strikes through citizen science in a focal city. *Ecological Research*, 36(3), 430–439.
- Williams, David L. (2012). *Ophthalmology of Exotic Pets*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK; Wiley-Blackwell.
- Winger, B. M., Weeks, B. C., Farnsworth, A., Jones, A. W., Hennen, M., & Willard, D. E. (2019). Nocturnal flight-calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds. *Proceedings. Biological Sciences*, 286(1900), 20190364.
- Zyśk-Gorczyńska, E., Skórka, P., & Żmihorski, M. (2019). Graffiti saves birds: A year-round pattern of bird collisions with glass bus shelters. *Landscape and Urban Planning*, 193(103680), 103680.