

**REVISIÓN DE LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE PATRONES DE MOVIMIENTO
DE LAS AVES EN LAS CIUDADES PARA LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE
CONECTIVIDAD E INTERACCIONES ECOLÓGICAS DEL JARDÍN BOTÁNICO DE
BOGOTÁ EN EL COMPONENTE DE ORNITOLOGÍA URBANA**

PAULA ANDREA SIERRA GOMEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

BOGOTÁ D.C.

2021

**REVISIÓN DE LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE PATRONES DE MOVIMIENTO
DE LAS AVES EN LAS CIUDADES PARA LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE
CONECTIVIDAD E INTERACCIONES ECOLÓGICAS DEL JARDÍN BOTÁNICO DE
BOGOTÁ EN EL COMPONENTE DE ORNITOLOGÍA URBANA**

PAULA ANDREA SIERRA GOMEZ

Trabajo de grado en Modalidad de Pasantía para optar al título de Licenciada en Biología

Directora

NELLY JANNETH RUIZ PACHECO

Codirectora

MÓNICA ANDREA NOVOA SALAMANCA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

BOGOTÁ D.C.

2021

La Universidad no será responsable de las ideas expuestas por los graduandos en el trabajo de en el Trabajo de Grado, según el artículo 117 acuerdo 029 consejo superior de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas expedido en Junio de 1988.

Copyright © 2021 por Paula Sierra.

Todos los derechos reservados.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá. D.C., _____ de _____ 2021

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la abuela Clotilde y a mi Madre Sol.

A Delcy, Juan y Angelita, seres increíbles, reflexivos, resilientes y valientes, por permitirme vivir la vida de manera sublime con amor y enseñanzas que trascendieron todos los elementos del intelecto y que me permitió cumplir mis deseos más profundos de contemplar y aprender a profundidad del fenómeno maravilloso que es la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a la educación pública, que sin ella no hubiese sido posible esta oportunidad.

A la Universidad Distrital, por ser mi espacio permanente de aprendizajes académicos y personales en escenarios de formación crítica asumiendo roles ante la realidad del país.

A la profesora Nelly Ruíz por su constancia, dedicación y orientación en todo mi proceso formativo.

A Mónica Novoa por ofrecerme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos y potenciar mis deseos de hacer investigación científica asumiendo un rol transformador ante las necesidades ambientales de la ciudad de Bogotá.

1. TABLA DE FIGURAS.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. PLANTEAMIENTO.....	6
2.1 Justificación	6
2.2 Delimitación del problema.....	6
2.3 Objetivo.....	8
2.3.1 Objetivos específicos	8
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Política de conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital.....	9
3.2 Fauna Urbana	10
3.3 Aves urbanas.....	13
3.4 Patrón de Movimiento.....	15
3.5 Conectividad	16
3.6 Técnicas y metodologías para evaluar el movimiento	18
4. METODOLOGÍA.....	19
4.1 Delimitación del Área de Trabajo.....	19
4.2 Recursos.....	19
4.2.1 Recursos Físicos.....	19
4.2.2 Recursos Humanos.....	20
4.3 Procedimientos.....	20

4.3.1 Capacitación.....	21
4.3.2 Implementación de Método PICO	21
4.3.3 Construcción de ecuaciones de búsqueda	25
4.3.4 Clasificación de la literatura encontrada.....	27
4.3.5 Construcción de matriz comparativa	28
4.3.6 Análisis de la información obtenida	28
5. RESULTADOS.....	29
5.1 Movimiento de Fauna	32
5.2 Movimiento de Aves.....	34
5. DISCUSIÓN	46
6. CONCLUSIONES	52
7. RECOMENDACIONES.....	54
8. BIBLIOGRAFÍA	56
9. ANEXO.....	65

1. TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción de los componentes PICO en las preguntas de investigación propuestas, como lo propone Da Costa <i>et al.</i> (2007).....	24
Figura 2. Descriptores seleccionados para las posibles combinaciones en las ecuaciones de búsqueda. (En inglés para la búsqueda en las bases de datos internacionales).....	26
Figura (3). Ecuaciones de búsqueda construidas a partir del método PICO y las preguntas de investigación, con las combinaciones de las palabras claves y conectores booleanos.....	28
Figura 4. Número de artículos obtenidos en las temáticas específicas relacionadas a patrones de movimientos de las aves en ciudades.....	30
Figura 5. Tipos de estudios revisados en patrones de movimiento en aves.....	31
Figura 6. Áreas geográficas de procedencia de las investigaciones revisadas.....	32
Figura 7. Tipos de ecosistemas donde se realizaron los estudios.....	35.
Figura 8. Número de publicaciones que implementan métodos que evalúan el movimiento de la avifauna y publicaciones con métodos de monitoreo en estudios de conservación.....	42

1. INTRODUCCIÓN

Es la urbanización una de las tendencias más sobresalientes del crecimiento de las ciudades en el mundo y una de la representación más destacada de la globalización, con alteraciones de orden antrópicas generando cambios negativos al ecosistema natural del planeta (Grimm *et al.*, 2000). Como reporta las Naciones Unidas (2014), el sector urbano en Latinoamérica y el Caribe ha crecido tanto así que la población urbana es del 81%, generando alteraciones a los ecosistemas naturales, modificando las coberturas vegetales y el uso del suelo, disminuyendo gran cantidad de elementos vitales para la biodiversidad nativa (Grimm *et al.*, 2008).

En el caso particular de Bogotá, la Secretaría Distrital de Planeación en el 2020 reportó que la superficie de la ciudad de Bogotá es de aproximadamente 158.700 hectáreas, donde el área urbana ocupa cerca de 23.5% y lo demás, es parte del suelo rural en un 74.7%. En el suelo urbano de Bogotá encontramos predominancia en un 45,93% de construcciones, 22,11% de áreas verdes y un 19,78% compuesto por la red vial, ferrovías y terrenos asociados (Pérez, 2011). Múltiples estudios han demostrado que el crecimiento urbano promueve la pérdida de especies nativas y la dominancia de especies oportunistas que se favorecen de la presencia humana (Grimm *et al.*, 2008) lo que indica que en Bogotá existe una latente amenaza a la biodiversidad, por lo cual la importancia radica en que de la mano de la urbanización se apliquen modelos que apunten a la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible.

Los efectos del crecimiento urbano sobre la fauna y flora de la ciudad han sido estudiados principalmente en ‘‘las aves’’, ya que suelen ser indicadoras de desarrollo urbano, pues permiten comprender efectos de la urbanización sobre la riqueza, la abundancia de comunidades y

poblaciones biológicas (McKinney, 2008), además de poder evaluar cambios que se pueden percibir en comportamientos de forrajeo, reproducción, uso y selección de hábitat de diferentes especies de aves en ecosistemas urbanos (Chace & Walsh, 2006).

Por esta razón, existe un gran interés por amortiguar los efectos que los procesos de urbanización pueden generar en la biodiversidad de la ciudad, así como lo plantea la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE): *“reconociendo que la biodiversidad es un elemento que estructura la construcción de cualquier territorio que garantiza bienestar a los habitantes mediante la provisión de bienes y servicios ecosistémicos y que su presencia no se restringe a las áreas protegidas”* (Quimbayo, 2016). Dando lugar a esta investigación que tiene como objetivo apoyar en la búsqueda de información relacionada con el proyecto de ecología urbana de la Línea Investigación de Conectividad e Interacciones Ecológicas de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBBJCM), en el que su propósito es el de contribuir a la sistematización de información comprendida sobre estudios de movimiento que hacen las aves a lo largo del paisaje urbano y estudios de conectividad funcional por técnicas en telemetría en ciudades que contribuyan a la planeación ambiental de áreas verdes de la ciudad.

2. PLANTEAMIENTO

2.1 Justificación

Este trabajo tuvo como finalidad generar un aporte a la Línea de investigación en Conectividad e Interacciones Ecológicas para el componente de ornitología del JBBJCM, y a la investigación científica en Colombia, con el propósito de contribuir a partir de la búsqueda de literatura científica en base de datos, estudios desarrollados en patrones de movimiento de la avifauna a lo largo del paisaje urbano, que permitan la incorporación y aplicación de modelos metodológicos en corredores ecológicos de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad de Bogotá, que contribuyan a la planeación ambiental de las áreas verdes de la ciudad y cumplan la funcionalidad para la que fueron planificados que es la de conducir y sostener la biodiversidad urbana para la prestación de servicios ambientales y mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

2.2 Delimitación del problema

Las aves urbanas suelen ser excelentes indicadores de biodiversidad, como por ejemplo de la calidad en cuanto a composición y estructura de la vegetación y niveles de contaminación (Morales, 2015), así que mediante los estudios de aves urbanas es posible conocer el estado de los ecosistemas transformados, pero las investigaciones al interior de las ciudades en el mundo son escasas, posiblemente a que los investigadores en una preferencia marcada por ecosistemas no alterados (Blair, 1996), lo que dificulta conocer a fondo los impactos de la urbanización sobre

las comunidades de aves y vacíos de información para la planificación de espacios o áreas verdes que favorezcan la conservación de especies urbanas.

La mayoría de estudios que se revisaron en este trabajo respecto a las aves urbanas, se han enfocado principalmente analizar aspectos como riqueza, abundancia, densidad y distribución de especies (Morales, 2015). Los que han revisado los cambios de las especies en ecosistemas que han sido urbanizados, notificaron que la abundancia y riqueza de especies disminuye, pero que las especies introducidas como las palomas (en la mayoría de las ciudades del mundo) se ven favorecidas en estos ambientes urbanos y aumentan sus poblaciones al punto de ser mayores en ambientes urbanos que en espacios silvestres (Chace & Walsh, 2006). Sin embargo, estos estudios de aves urbanas evalúan principalmente las interacciones al interior de las zonas verdes en las ciudades, sin tener en cuenta el movimiento dentro del paisaje.

Colombia es reconocido como el país con mayor diversidad de aves a nivel mundial, pero desafortunadamente la biodiversidad en general y los ecosistemas naturales están siendo alterados por varios factores como lo son la minería legal e ilegal, la ganadería, el uso del suelo para plantación de especies exóticas y el desarrollo urbano, siendo este último el más reconocido como el de mayor amenaza a la biodiversidad (Delgado & Correa, 2013).

En una revisión de estudios ornitológicos urbanos en Colombia, Delgado & Correa (2013), encuentran que el efecto de la urbanización sobre la biodiversidad ha sido de muy poco interés para las investigaciones. La mayoría de estudios hechos en Colombia son de carácter descriptivo, estudios de identificación de especies y estudios en ecología, pero estudios que se

enfocuen en el entendimiento, interacción y conservación de la biodiversidad urbana son muy escasos. Por esta razón, debe hacerse una revisión de lo que se ha investigado, utilizando como metodología la búsqueda, identificación y clasificación de la producción científica existente con aportes a la avifauna urbana. La oportunidad de realizar trabajos como el desarrollado en la presente investigación, contribuye a identificar los vacíos de información que podrían ser abordados a profundidad en la Línea de Conectividad e Interacciones Ecológicas y permita a partir de información científica tomar decisiones que contribuyan a la conservación de la biodiversidad urbana en el distrito capital.

2.3 Objetivo

Realizar una revisión bibliográfica de los estudios de movimiento de la avifauna, con el fin de clasificar, sintetizar y aportar información relevante a la investigación en ecología urbana de la línea de conectividad e interacciones ecológicas del JBBJCM en el componente de ornitología.

2.3.1 Objetivos específicos

- Identificar a partir de la revisión bibliográfica el movimiento de la fauna en ecosistemas transformados.
- Determinar a partir de la revisión bibliográfica los estudios sobre movimiento de las aves en ciudades.
- Identificar las técnicas que han sido implementadas para evaluar el movimiento de las aves en las ciudades.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Política de conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital

La política de conservación de la Biodiversidad de Bogotá fue formulada en el 2010, buscando promover la conservación, el conocimiento y el uso de la biodiversidad urbana y rural en articulación con la región, buscando la protección de los servicios ecosistémicos (SDA, 2010).

Con la siguiente política, la Administración Distrital en relación a la normativa vigente, los objetivos de Desarrollo Sostenible del Plan de Acción Distrital y el Plan de Ordenamiento territorial, plantea el propósito de:

“proteger, preservar, restaurar y gestionar integralmente la estructura ecológica principal, que incluye el sistema de áreas protegidas del Distrito, los parques urbanos, los corredores ecológicos y el área de manejo especial del Río Bogotá, así como los ecosistemas estratégicos de páramos, humedales y bosques y otras áreas de interés ambiental y suelos de protección” (Art 15, Acuerdo 761 de 2020).

Además, menciona que para lograr este propósito se construirá una gobernanza ambiental que respete el agua y la biodiversidad garantizando el desarrollo sostenible de la ciudad con acciones como:

“la consolidación de estrategias de conservación para la preservación, uso y manejo sostenible de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en la estructura ecológica

principal y otras áreas de interés ambiental como el Parque Entre Nubes, la Cuchilla del Gavilán, y Cerro Seco, entre otras'' (Art 15, Acuerdo 761 de 2020).

Con lo anteriormente mencionado, los espacios verdes son un componente importante en la calidad de vida en la ciudad de Bogotá, y como bien reconoce la Administración Distrital, el manejo sostenible mediante la constitución de áreas protegidas al interior de la ciudad y áreas rurales a su alrededor, no solo mejora la calidad de vida de las personas, sino que también incrementa el número de especies nativas. Esta estrategia, menciona Remolina (2010) corresponde a una red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible que figuran en el reciente Acuerdo 761 del 2020, llamados como la Estructura Ecológica Principal de Bogotá.

El Decreto 190 de 2004 define la Estructura Ecológica Principal de Bogotá, y la constituye como una propuesta de cobertura vegetal que se incorpora en la planificación del ordenamiento territorial de la ciudad, y los categoriza como áreas protegidas, parques urbanos y corredores ecológicos como elementos lineales del paisaje que promueven la conectividad, sin embargo se desconoce pese a los pocos estudios realizados en Estructuras Ecológicas Principales de la ciudad, que estos espacios verdes estén desempeñando esta función.

3.2 Fauna Urbana

La urbanización se reconoce como una de las actividades antrópicas de transformación de ecosistemas naturales con la mayor causa de extinción de las especies (McKinney, 2008). El crecimiento de una ciudad generalmente conlleva a que haya un aumento en la degradación y

deterioro del suelo generando que sus áreas naturales cada vez sean más pequeñas y se encuentren cada vez más distantes entre sí, ocasionando pérdida de la biodiversidad y dificultando la sostenibilidad de recursos naturales (Bennett, 2003). Esto perjudica principalmente a la fauna, tanto en aves como en mamíferos, ya que su uso de hábitat está correlacionado con la complejidad y riqueza de la vegetación (McKinney, 2008). Es el caso particular de las aves que responden a la estructura y composición de la vegetación, es decir que los hábitats con más especies vegetales nativas es donde más especies nativas de aves interactúan (Chace & Walsh, 2006).

Chace & Walsh, 2006 realizó una revisión bibliográfica sobre el efecto de la urbanización en mamíferos, anfibios, reptiles, invertebrados y algunas plantas, donde manifiesta que la principal consecuencia de la disminución de riqueza de especies, depende de la intensidad de la urbanización: en zonas moderadamente urbanizadas la riqueza puede disminuir dependiendo del grupo animal. Para el caso de los vertebrados e invertebrados disminuyen su riqueza a medida que aumenta la intensidad de la urbanización, en cambio para las plantas aumenta la riqueza en zonas de urbanización media, pero de igual manera disminuye con la urbanización más intensa.

Uno de los roles más importantes de la biodiversidad en ambientes urbanos, es la de proporcionar servicios eco sistémicos como lo son mantener la calidad del agua, disminuir la erosión y mantener estables los ciclos hidrológicos (Bennett, 1998), además de ser el eje articulador con la comunidad en proyectos de educación ambiental para promover la conservación de especies. Por eso existe la necesidad de reconocer la biodiversidad que habita en ciudades, e identificar la manera en cómo sobreviven en ambientes altamente transformados, que

permita comprender la importancia de la planeación de las áreas ecológicas en la ciudad, como una estrategia que permita disminuir la pérdida de la biodiversidad, generando mayor conectividad estructural y funcional de las áreas verdes de la ciudad por medio de corredores ecológicos (Bennett, 1998).

Los principales impactos a los que se somete la fauna urbana son la pérdida de especies en los parches de bosque, cambios en la composición de poblaciones de animales y por ende afectaciones en los procesos ecológicos y servicios ambientales que presta la fauna. Las respuestas a la fragmentación de hábitats para cada especie varían dependiendo de la dimensión del territorio, el tamaño del cuerpo, los recursos de alimento y patrones de búsqueda del mismo, los requisitos para anidar y resguardarse, así como la tolerancia ante la perturbación del hábitat y la sensibilidad respecto a los microclimas alterados (Bennett, 1998).

Los procesos ecológicos que forman parte del funcionamiento natural de ecosistemas, se ven afectados a causa de la fragmentación (Bennett, 1998), generando cambios de orden ecológico dentro de parches de bosque, pero es por medio de esos cambios cómo se adaptan las especies frente a la fragmentación de su hábitat. Estos cambios en los procesos ecológicos tienen profundas implicaciones potenciales para la conservación de la biodiversidad, menciona Crome *et al.* (1993), como lo son la dispersión de semillas, relaciones depredador-presa, ciclo de nutrientes y el parasitismo de nidos.

Dispersión de semillas, un proceso ecológico que llevan a cabo las “especies claves”. Especies que desempeñan un papel clave en la polinización o dispersión de semillas, que sin su

presencia, tendrían efectos negativos en la situación de numerosas especies de plantas y esta disminución, a su vez, puede tener efectos ecosistémicos diversos a lo largo y ancho de todo el ecosistema urbano (Klein, 1989).

Relaciones depredador - presa, la pérdida de depredadores en ecosistemas transformados pueden tener efectos importantes en la estructura de comunidades de plantas y animales, creciendo la población de omnívoros y depredadores más pequeños ante la ausencia de depredadores grandes dominantes, por ejemplo el caso del Mapache, el Zorro y felinos pequeños que suelen ser comunes en hábitats próximos a zonas urbanas que se alimentan de las aves que viven y anidan en estos hábitats (Matthiae *et al.* 1881).

Ciclo de nutrientes, existe el caso particular de escarabajos de estiércol y los escarabajos de carroña que se alimentan exclusivamente de estiércol y carroña. Entierran estiércol y carroña ricos en nutrientes como alimento para sus crías y al hacerlo incrementa de manera accidental la tasa del ciclo de nutrientes del suelo (Klein, 1989).

Parasitismo de nidos, se han asociado niveles mayores de parasitismo de nidos de poblaciones de aves en bosques fragmentados. (Klein, 1989), estos parásitos de nidos pueden llegar a desaparecer si disminuyen sus especies huéspedes, ejemplo de extinción secundaria o ‘‘cascada trófica’’.

3.3 Aves urbanas

En la mayoría de los estudios acerca de los efectos de la urbanización sobre la biodiversidad, se encuentran a las aves como objeto de estudio principal por su sensibilidad a los cambios de la estructura y composición del hábitat, resaltando aspectos importantes de los

ecosistemas urbanos como la estructura y composición vegetal, y la contaminación (Savard *et al.*, 2000).

El estudio de la avifauna urbana ha permitido también comprender los efectos de la urbanización en las comunidades biológicas en cuanto a su riqueza y abundancia, como lo indican los estudios de Chace & Walsh, (2006) que a mayor intensidad de la urbanización abundan las especies generalistas y otras especies que son más sensibles desaparecen o permanecen muy pocos individuos. También en este estudio se reconoce a las aves como uno de los pocos grupos de vertebrados que se pueden encontrar en la matriz urbana. Esto quiere decir que hay muy pocas especies beneficiadas tras el desarrollo urbano, que para el caso particular de Bogotá hay especies de aves que pueden verse al interior de la ciudad con facilidad y moviéndose a través de corredores ecológicos como: *Eriocnemis vestita* (Pompero reluciente), *Diglossa humeralis* (Carbonero común), *Carduelis spinescens* (Chisga), y otras que son endémicas como el caso de *Synallaxis subpudica* (Rastrojero rabilargo) (Agudelo, 2007).

El estudio realizado en el Corredor de Ronda Canal Molinos en Bogotá, que buscó evaluar la funcionalidad como corredor para las aves, Agudelo (2007) encontró especies con ‘‘adaptabilidad urbana’’ teniendo hábitos de percha y vocalización desde estructuras de cables eléctricos y techos de viviendas, concluyendo que en Bogotá hay aves urbanas que son resilientes, además de ser indicadoras del estado actual del efecto de la urbanización y su posibilidad de dar a conocer conectividad al interior de la matriz urbana.

3.4 Patrón de Movimiento

El patrón de movimiento de un animal se relaciona con sus necesidades y atributos ecológicos, con interacciones intra e interespecíficas, y con la disponibilidad y uso de los recursos del espacio donde se desplaza (Pavez, 2014). Los patrones de movimiento de una especie son respuestas adaptativas determinadas por características propias del animal como la fisiología y comportamiento, y por factores ajenos como la distribución y abundancia de los recursos (Gómez, 2009). Por esta razón es importante conocer la manera en que los animales reaccionan a los elementos del paisaje para investigar procesos y patrones de distribución animal, uso y selección de hábitat, conectividad de hábitat, reclutamiento, migraciones y estrategias de alimentación, teniendo en cuenta que los movimientos de animales que se extienden libremente se estudian típicamente usando telemetría tradicional, homing y la teoría de circuitos, debido a las dificultades de rastrear visualmente animales individuales en la naturaleza (Kernohan., *et al* 2001).

Para Bennett, (1998), el movimiento se considera un uso que hacen los individuos dentro de hábitats que se encuentran separados por terrenos urbanizados, con frecuencia diaria o regular permitiéndole al animal que se albergue o se reproduzca en un hábitat y busca alimento en otras clases de hábitat que se encuentran separados por parches urbanizados. En el caso de las aves durante sus periodos de cría, estudios como el de Burbidge (1985) en Australia, encontraron que las aves se mueven a diario entre el hábitat donde anidan y las áreas donde consiguen su alimento, indicando que su ruta de vuelo suele pasar por encima o a lo largo de la vegetación. El movimiento regular lo efectúan especies en terrenos amplios con franjas de vegetación a lo largo

de orillas de caminos con un tránsito rápido a través de espacios pequeños de zonas urbanas (Burbidge, 1985).

No todos los animales que se mueven regularmente entre ecosistemas transformados necesitan de franjas de vegetación que faciliten su desplazamiento, debido a que hay varias especies que toleran hábitats transformados o que consiguen cruzar estos espacios con facilidad, como el caso de las lechuzas pardas estudiadas por Redpath (1995) en las zonas agrícolas de Gran Bretaña que suelen desplazarse a través de un terreno descubierto de vegetación.

Es esencial el movimiento de las especies en un ecosistema transformado, para que se realicen sus procesos ecológicos, pues esto ayuda a definir el alcance de la conectividad, es decir a mayor movimiento mayor conectividad, y al contrario, menos movimiento implica menos conectividad (Crooks & Sanjayan 2006).

3.5 Conectividad

La conectividad es la capacidad del ecosistema para facilitar el movimiento a lo largo del paisaje cuando este se encuentra con recursos fragmentados (Taylor., *et al* 1993). Un paisaje con una alta conectividad, el individuo de una especie puede desplazarse con facilidad entre los hábitats de su preferencia, encontrando vegetación para alimentarse y lugares para protegerse principalmente. Por el contrario, un paisaje con baja conectividad no permite el desplazamiento de los individuos entre hábitats (Bennett, 1998).

Bennett, (1998) menciona que existen dos componentes que inciden en la conectividad entre la comunidad de individuos y el paisaje: la conectividad estructural y la conectividad funcional.

Conectividad estructural, este componente está determinado por la distribución espacial, como la continuidad entre hábitats, la presencia de senderos, la dimensión de los parches y la distancia entre ellos.

Conectividad funcional, este componente está asociado al comportamiento propio de los individuos a la estructura física del paisaje, en la manera en cómo se desplazan dentro del paisaje y el grado de especialización del hábitat, y también la tolerancia a los ecosistemas transformados.

Es fundamental señalar que al paisaje lo reconocen de manera diferente especies distintas y por tanto el nivel de conectividad varía entre especies y entre comunidades. Los patrones de paisaje que permiten la conectividad para las especies, comunidades y procesos ecológicos son clave para la conservación de la biodiversidad (Agudelo, 2007).

Es la urbanización uno de los efectos que disminuye la conectividad, debido a la disminución de las tasas de movilidad, con la excepción de algunas especies que se pueden beneficiar de la convivencia cercana con la población humana como ocurre con los mapaches, los cuervos, las palomas y otras especies introducidas (Bierwagen, 2007). Esto indica que hay algunas especies que son dominantes en los paisajes urbanos y que pueden adaptarse con facilidad a nuevas presiones de selección. Estas especies pueden omitir elementos que aumentan la conectividad en las ciudades porque han encontrado parches de hábitat funcionales y hacen uso de ellos (Simberloff., *et al* 1992).

La conectividad del paisaje es una de las estrategias y acciones más eficaces para la conservación de la biodiversidad (Bennett, 1998), brindando la posibilidad de enlazar hábitats que permiten maximizar la búsqueda de soluciones para procesos ecológicos relacionados con la ubicación y dimensiones, la composición y calidad de los hábitats (Agudelo, 2007).

3.6 Técnicas y metodologías para evaluar el movimiento

Los estudios sobre movimiento de fauna en general, se llevan a cabo a partir de la captura y marcación de los individuos. La captura de las aves se ha realizado de diferentes maneras, siendo el uso de las redes de niebla una de las técnicas más efectivas. Una vez es capturado el ave, se procede a tomar mediciones y marcaje para luego proporcionarles anillos de colores que permiten identificar a cada uno de los individuos en el área de estudio, logrando registrar de manera directa los movimientos de individuos concretos y observar aspectos del comportamiento individual como la búsqueda y consumo del alimento, además de cuantificar el uso real de las distintas conexiones en la matriz del hábitat a corto y mediano plazo (De la Cruz & Maestre 2013). Otra técnica que se usa con frecuencias es el seguimiento por telemetría que toma mediciones en intervalos de tiempo definido y es posible hacer un seguimiento continuo a escalas espaciales y temporales, con registros detallados de la magnitud, velocidad y direccionalidad del movimiento en el paisaje (Kenward, 2001). Esta técnica puede ser la más útil para trabajar con especies que se encuentran en espacios abiertos y no es fácil rastrearlos a la vista, como lo son las aves en la ciudad.

Para el caso de las ciudades, no se han encontrado muchos estudios que evalúen el movimiento dentro de las ciudades por técnicas de telemetría. En el caso del estudio hecho por Agudelo (2007) en el Corredor de Ronda Río Molinos para las aves de la ciudad de Bogotá, el censo de aves se hizo de una manera directa y sistemática de todas las aves observandolas y escuchando sus cantos por 10 minutos en los rangos de mayor actividad de las aves. En el estudio de caracterización de la avifauna asociada a un corredor ecológico vial en Bogotá, se implementó la misma metodología de detectar a los individuos visual y auditivamente (Sua, 2014).

4. METODOLOGÍA

4.1 Delimitación del Área de Trabajo

No aplica, esta investigación se realizó a partir de información secundaria obtenida de estudios ya realizados en ciudades y que reposan en diversas bases de datos.

4.2 Recursos

4.2.1 Recursos Físicos

Los recursos que se utilizaron para la consulta de información secundaria fueron principalmente el acceso al sistema de revistas científicas y académicas que posee la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en bases de datos como: Scopus, Web of Science, Scielo, Publindex, Latindex, Redalyc y Google Académico. Se requirieron equipos indispensables como un computador con el suficiente procesador para ejecutar programas de office con conexión a internet estable.

4.2.2 Recursos Humanos

El Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, brindó acompañamiento de una profesional académica de la Subdirección Científica, que figura como codirectora de este trabajo de grado que orientó el proceso de pasantía realizado por la estudiante.

4.3 Procedimientos

Se llevó a cabo la revisión de literatura científica y su respectiva clasificación, cumpliendo el objetivo general propuesto y de la mano con los objetivos específicos, desarrollados durante 384 horas entre los meses de octubre del 2020 a febrero del 2021. Los recursos utilizados para la consulta de información secundaria fueron principalmente el acceso al sistema de revistas científicas y académicas que posee la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, bases de datos internacionales como: Scopus, Web of Science, Google Académico. Bases de datos latinoamericanas: Scielo, Pubindex, Latindex, Redalyc, y bases de datos locales de instituciones educativas como el RIUD de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el repositorio institucional de la Pontificia Universidad Javeriana. Este trabajo se dividió en 6 fases: 1) Fase de capacitación: que se basó en el manejo de bases de datos y delimitación de un problema de investigación. 2) Fase de método PICO: se construyó e implementó este método. 3) Fase de ecuaciones de búsqueda: se diseñaron ecuaciones de búsqueda con conectores booleanos. 4) Fase de clasificación bibliográfica de la literatura obtenida: se hizo una base de datos con los documentos seleccionados y se rastrearon documentos no obtenidos con las ecuaciones de búsqueda utilizadas, buscándolos por título y autor en las bases de datos, además de las recomendaciones de documentos a través de Mendeley. 5) Fase de construcción de la matriz: se realizó una matriz comparativa de la información obtenida de los artículos

seleccionados por objetivo específico. 6) Fase de análisis: se respondió las preguntas de investigación formuladas planteadas en la investigación a partir de la matriz comparativa de los artículos científicos obtenidos en la búsqueda de literatura en las diferentes bases de datos consultadas, teniendo como objetivo principal aportar a partir de los análisis de los diferentes artículos científicos, técnicas y metodologías que se pueden implementar en los próximos estudios de conectividad en la línea de investigación en el componente de ornitología urbana. A continuación, se describe lo que se realizó en cada fase para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación planteados.

4.3.1 Capacitación

Se realizó un taller al inicio de la pasantía en el mes de Octubre del año 2020, acerca del manejo de bases de datos y búsqueda de literatura científica dirigido por Mónica Novoa profesional de la línea de investigación de Conectividad e Interacciones Ecológicas de la Subdirección Científica del JBBJCM, con el propósito de orientar a la estudiante en las búsquedas estructuradas de información, construcción de antecedentes y delimitación de un problema de investigación, con la implementación del método PICO y de la elaboración de las ecuaciones de búsqueda teniendo en cuenta palabras claves, sinónimos, conectores booleanos y su respectivo uso en las bases de datos.

4.3.2 Implementación de Método PICO

La búsqueda de literatura científica para esta investigación, requirió una adecuada definición de las preguntas de investigación y la creación de una estructura lógica para la búsqueda bibliográfica en temas centrales como: movimiento de fauna, movimiento de aves,

técnicas y metodologías implementadas para evaluar el movimiento en ecosistemas transformados, lo cual facilita y localiza el alcance de este trabajo de grado.

Las preguntas de investigación diseñadas para la revisión bibliográfica fueron las siguientes:

1. ¿Cómo son los patrones de movimiento de la fauna en ecosistemas transformados?
2. ¿Están las ciudades promoviendo el movimiento de las aves a lo largo del paisaje?
3. ¿Qué técnicas y metodologías han sido utilizadas para evaluar el movimiento de las aves en las ciudades?

Una vez diseñadas las preguntas de investigación en temas relacionados a patrones de movimientos de las aves en ciudades, se implementó el método PICO (sigla en inglés: Population, Intervention, Comparator, Outcome) que según lo propuesto con Da Costa *et al.* (2007) permite identificar todos los componentes relacionados en las preguntas de investigación, de la siguiente manera: (P) población, paciente, problema de interés u “objeto de estudio”, (I) intervención principal a considerar, “efecto sobre el objeto de estudio” (C) intervención de comparación, alternativa con la que se puede comparar la intervención principal, y (O) resultados a valorar (Figura 1), y así permitió la elección de palabras claves para la construcción de ecuaciones de búsqueda, y de esta manera la recuperación de documentos en las bases de datos enfocada a los temas de esta investigación y evitar búsquedas que no van relacionados con los objetivos planteados.

Para la presente investigación se construyó el método PICO teniendo en cuenta los dos primeros descriptores que se enfocan con P “objeto de estudio” e I “intervención o efecto sobre el objeto de estudio” por ser un tema que se va a explorar de manera general y muy poco conocido en ecosistemas transformados como las ciudades:

Temas	Preguntas de investigación	Elementos de las preguntas
Movimiento de Fauna	1. ¿Cómo son los patrones de movimiento de la fauna en ecosistemas transformados?	<p>P: fauna</p> <p>I: patrones de movimiento en ecosistemas transformados</p>
Movimiento de Aves	2. ¿Están las ciudades promoviendo el movimiento de las aves a lo largo del paisaje?	<p>P: aves urbanas</p> <p>I: movimiento de aves a lo largo del paisaje</p>
Técnicas y metodología	3. ¿Qué técnicas y metodologías han sido utilizadas para evaluar el movimiento de las aves en las ciudades?	<p>P: movimiento de las aves en ciudades</p> <p>I: técnicas y metodologías</p>

Figura 1. Descripción de los componentes PICO en las preguntas de investigación propuestas, como lo propone Da Costa *et al.* (2007).

Como sugerencia de Da Costa *et al.* (2007), se realizó la selección de términos de búsqueda o palabras claves (descriptores) relacionados a cada uno de los componentes de la estrategia PICO como fueron los sinónimos o las variaciones de grafía (Figura 2) que permitieron armar posibles combinaciones diferentes en las ecuaciones de búsqueda.

Palabras claves	Sinónimos
Fauna	Animal, Zoology, fauna
Patrones	Model, pattern, guide, standard, behavior
Movimiento	Circulation, transit, move, transfer, movement
Ecosistemas transformados	Artificial ecosystem, urbanization, urbanize, city, downtown, metropolitan
Ciudades	Artificial ecosystem, urbanization, urbanize, city, downtown, metropolitan
Movimiento	Circulation, transit, move, transfer, movement
Aves urbanas	Bird, fowl, birdlife, ornithology, urban birds
Aves	Bird, fowl, birdlife, ornithology, urban birds
Técnicas de estudio	techniques, method, procedure, process, treatment, methodology, telemetry

Figura 2. Descriptores seleccionados para las posibles combinaciones en las ecuaciones de búsqueda. (En inglés para la búsqueda en las bases de datos internacionales).

4.3.3 Construcción de ecuaciones de búsqueda

La construcción de las ecuaciones de búsqueda se realizó por medio de la combinación de los componentes del método PICO, los descriptores o palabras claves y los operadores booleanos para los componentes de la estrategia PICO. Estos se interrelacionaron de la siguiente manera:

(P) AND (I)

Los conectores booleanos se utilizaron para darle un orden lógico a la búsqueda, puesto a que localizan los registros de documentos que contienen términos que coinciden en uno de los campos especificados (Da Costa *et al.*, 2007). Siendo AND una combinación para buscar registros que incluyan *todos* los términos separados por el operador, OR una combinación para buscar registros que incluyan cualquiera de los términos separados por el operador. y NOT para excluir registros que incluyan ciertas palabras de su búsqueda. También se hizo uso de las comillas “ ” y paréntesis () para agrupar palabras.

Las ecuaciones que se construyeron para la búsqueda fueron las siguientes:

Ecuaciones
(animal) AND (model OR pattern OR guide OR behavior) AND (circulation OR transit OR move OR transfer OR movement)AND (urbanization OR

urbanize OR city OR downtown OR metropolitan)

NOT (human)

(animal) AND (pattern) AND (movement) AND

(city) NOT (human)

(animal OR fauna) AND (model OR pattern OR

behavior) AND (circulation OR transit OR move

OR transfer OR movement) AND (urbanization OR

urbanize OR city OR downtown) NOT (human)

(Bird OR fowl OR birdlife OR ornithology OR

urban birds) AND (circulation OR transit OR move

OR transfer OR movement) AND (urbanization OR

urbanize OR city OR downtown)

(bird) AND (movement) AND (urbanization)

(Bird OR fowl OR birdlife OR ornithology OR

urban birds) AND (circulation OR transit OR move

OR movement) AND (urbanization OR urbanize

OR city OR downtown)

(telemetry) AND (Bird, fowl, birdlife, ornithology,

"urban birds") AND (urbanization OR urbanize OR

city OR downtown)

("study techniques" OR "study method" OR "study
 treatment") AND (movement) AND (Bird, fowl,
 birdlife, ornithology, "urban birds") AND
 (urbanization OR urbanize OR city OR downtown
 OR metropolitan)

Figura (3). Ecuaciones de búsqueda construidas a partir del método PICO y las preguntas de investigación, con las combinaciones de las palabras claves y conectores booleanos.

Estas ecuaciones de búsqueda se utilizaron en las cajas de búsqueda de las bases de datos que posee la Universidad Distrital Francisco José de Caldas como: Scopus, Web of Science, Scielo, Publindex, Latindex, Redalyc y Google Académico y el repositorio institucional de la Pontificia Universidad Javeriana. Allí se encontraron documentos particulares para cada temática y se recopilaron en una base de datos personal para su posterior análisis.

4.3.4 Clasificación de la literatura encontrada

La búsqueda por ecuaciones, permitió encontrar información precisa para determinar los patrones de movimiento de las aves en ciudades y se agruparon los estudios por las temáticas anteriormente mencionadas: movimiento de fauna, movimiento de aves, técnicas o metodologías de estudio. Estos artículos seleccionados se descargaron y fueron recopilados y etiquetados en una base de datos por temáticas en una carpeta de Google Drive con acceso a la profesional del JBBJCM. Se realizó la lectura de cada uno de estos documentos para su posterior análisis y se rastreó entre la bibliografía citada en ellos, documentos que no habían sido obtenidos por medio de las ecuaciones de búsqueda de literatura científica. Esta búsqueda también fue realizada en la web usando Google Académico. Por último, la búsqueda y selección de documentos se completó

revisando las sugerencias mediante correo electrónico que hizo el gestor bibliográfico Mendeley que funciona como una red social en línea de investigadores, utilizando la información del perfil del usuario y los documentos que se fueron agregando a la cuenta.

4.3.5 Construcción de matriz comparativa

Se construyó una matriz en Excel con información de cada uno de los artículos encontrados y seleccionados para cada una de las temáticas a analizar. En la matriz de Excel comparativa se registró información importante como el objetivo del estudio, lugar de estudio, área de estudio, técnicas y metodología, resultados principales y recomendaciones, con el objetivo de tener un documento base para el análisis posterior de resultados.

4.3.6 Análisis de la información obtenida

A partir de la matriz comparativa de los artículos científicos encontrados en cada temática, se realizó un análisis de la información obtenida para dar respuesta a cada pregunta de investigación planteada, resaltando las tendencias de las investigaciones realizadas en ornitología urbana en términos de movimiento, tipo de técnicas y metodologías utilizadas para evaluar el movimiento en ciudades, revistas y autores que más han publicado a nivel mundial y local, con el objetivo de aportar resultados que servirán de línea base a las próximas investigaciones que realizará la línea de investigación de Conectividad e Interacciones ecológicas de la Subdirección Científica del Jardín Botánico en la implementación de un modelo metodológico para evaluar el movimiento de las aves en corredores ecológicos en la ciudad de Bogotá como aporte para la planeación ambiental de las áreas verdes de la ciudad que contribuya a la conservación de la biodiversidad urbana en la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.

5. RESULTADOS

A partir de las ecuaciones de búsqueda, del rastreo en bibliografía, las recomendaciones de Mendeley y los documentos suministrados por la Profesional de la línea de investigación se obtuvieron en total **54** documentos enfocados en estudios de avifauna en ciudades, los cuales fueron organizados en la base de datos personal por temáticas específicas. De los 54 documentos obtenidos, **27** corresponden a patrones de movimiento: movimiento de fauna, movimiento de aves en ciudades, técnicas y metodologías de estudio, de acuerdo a los objetivos y preguntas de investigación propuestas para el posterior análisis. Los demás documentos sirvieron como fundamentación teórica de este trabajo, como un aporte a la línea de investigación en Conectividad e Interacciones Ecológicas para el componente de Ornitología urbana del JBBJCM, con el propósito de contribuir a partir de la búsqueda de literatura científica en bases de datos, estudios desarrollados en avifauna urbana y en patrones de movimiento a lo largo del paisaje que permitirán la incorporación y aplicación de modelos metodológicos en corredores ecológicos en la Estructura Ecológica Principal de la ciudad de Bogotá.

La mayoría de documentos revisados sobre avifauna, provienen de la revista Plos One, una revista científica internacional publicada por Public Library of Science, de acceso abierto y comparte publicaciones de ciencia y medicina en investigación básica. También encontramos la mayoría de artículos relacionados con movimiento en la revista Conservation Biology y la revista científica Journal of Applied Ecology, enfocadas en temáticas de gestión ambiental. Para estudios de aves realizados en latinoamérica se encontró la mayor cantidad de publicaciones en la Revista Ornitológica Neotropical. En cuanto a los autores que más aportes han realizado de estudios en movimiento de fauna y avifauna fue Marie Tremblay una reconocida investigadora y asesora Senior de la ACEE en Calgary, Canadá.

Los estudios enfocados en movimiento, la mayoría fueron experimentales, con pocos estudios empíricos y teóricos (Figura 4). Se encontró que la mayoría de estudios de movimiento y conectividad de aves se han realizado en otras regiones del mundo, y para Colombia solo se encontró (8) ocho estudios y (3) tres de ellos fueron hechos en Bogotá (Figura 6).

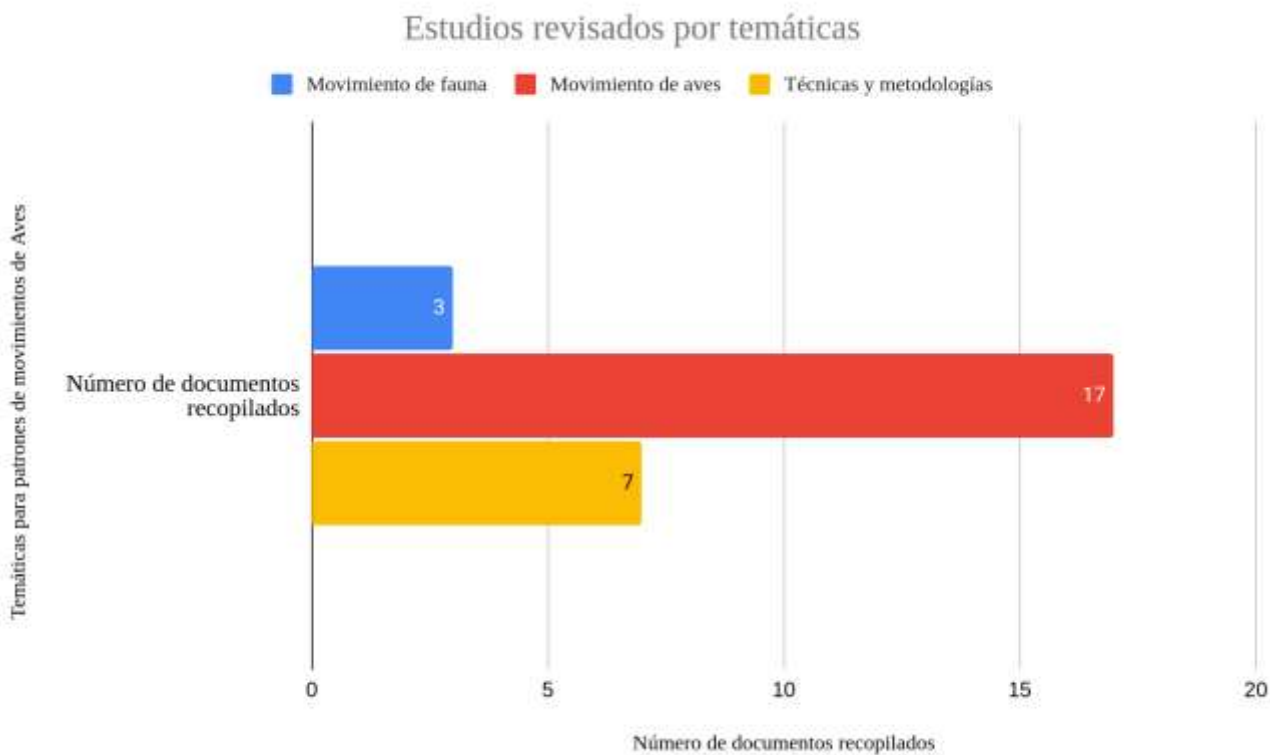


Figura 4. Número de artículos obtenidos en las temáticas específicas relacionadas a patrones de movimientos de las aves en ciudades.

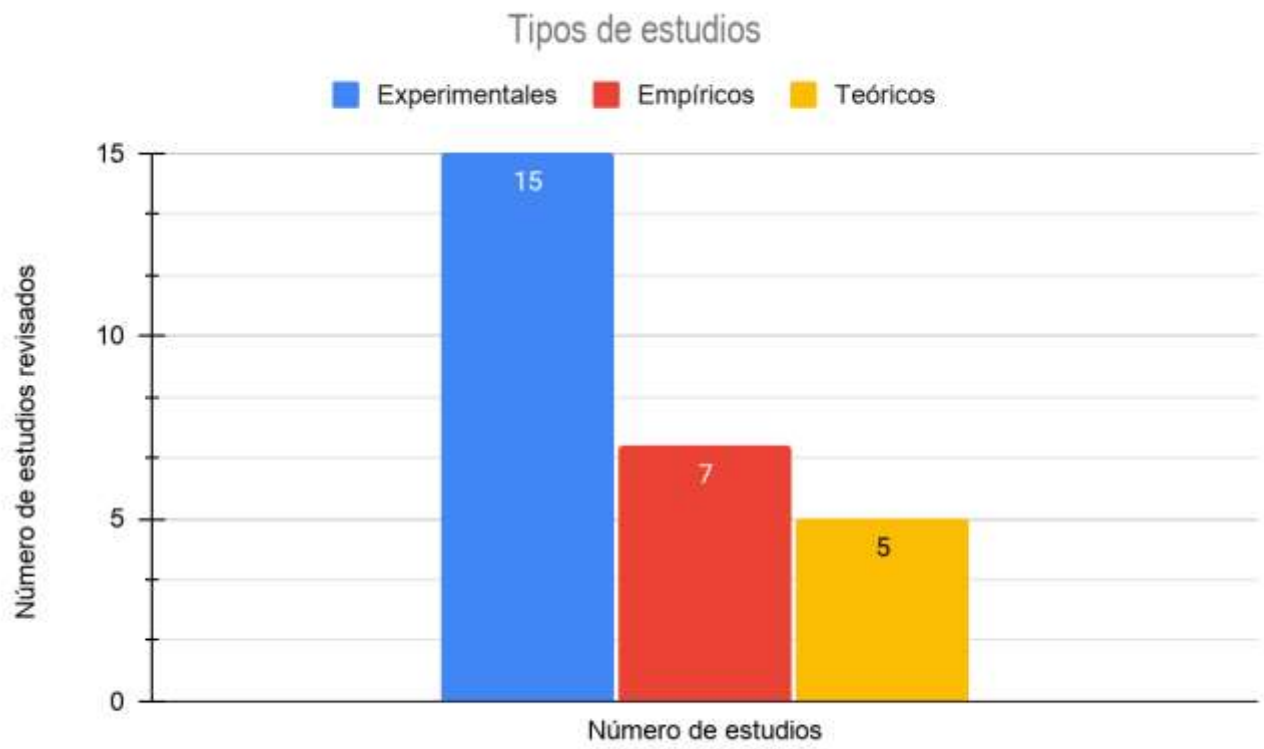


Figura 5. Tipos de estudios revisados en patrones de movimiento en aves.

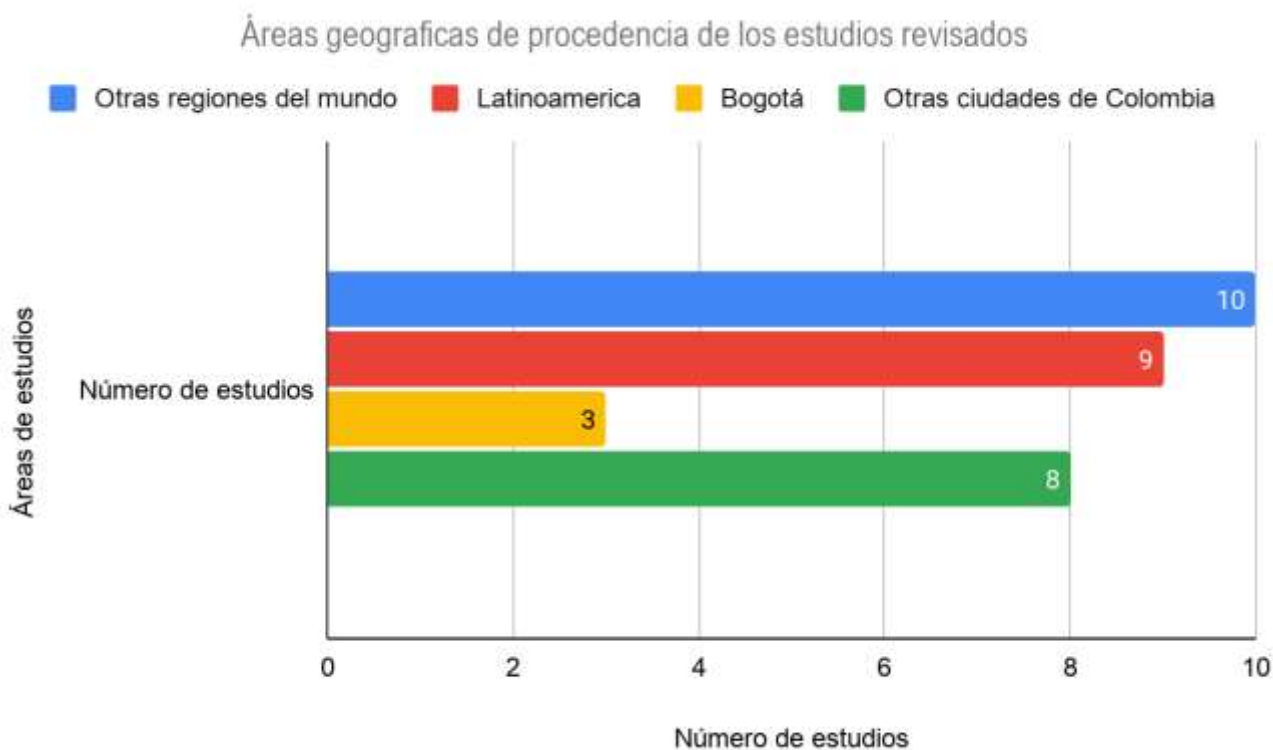


Figura 6. Áreas geográficas de procedencia de las investigaciones revisadas.

5.1 Movimiento de Fauna

En esta temática se tuvieron en cuenta estudios relacionados con el movimiento de la fauna en general, un primer estudio se realizó en *Metrioptera roeseli* (Grillo arbustivo de Roesel) en corredores de borde (Berggren *et al.*, 2002). Así mismos estudios que plantean modelos de interpretación para datos de movimiento de *Mirounga angustirostris* (Elefante marino del norte) a lo largo del paisaje marino (Tremblay *et al.*, 2009) y técnicas utilizadas para analizar el uso del

espacio de los animales (Kernohan *et al.*, 2009). Los dos estudios experimentales fueron de corta duración, menor a dos años y el estudio de descripción de técnicas para analizar el uso del espacio, fue una revisión de estudios desde 1977 hasta el 2009 acerca de técnicas utilizadas para analizar el uso y los movimientos del espacio de los animales utilizando datos de radiotelemetría (Kernohan *et al.*, 2009). Todos estos estudios fueron enfocados en monitorear el movimiento de los animales, ya que es fundamental para investigar los procesos y los patrones de distribución, uso y selección de hábitat, conectividad de hábitat, migraciones y estrategias de alimentación. Kernohan *et al.* (2009) resalta que los estudios sobre las interacciones de los animales que se mueven libremente como las aves, se estudian típicamente por telemetría debido a las dificultades en campo de rastrear visualmente múltiples individuos en la naturaleza.

Para ésta temática en particular se propuso la siguiente pregunta de investigación a responder a partir de los artículos obtenidos en la búsqueda sistemática de información:

¿Cómo son los patrones de movimiento de la fauna en ecosistemas transformados?

Los grupos de animales en los estudios mencionados son muy diferentes entre ellos, presentan diferentes patrones de movimiento y su intervención en el ambiente son muy distintos. Los animales voladores como los insectos y aves (también los murciélagos), tienen mayor movilidad que las especies no voladoras como el caso del elefante marino. Estos animales de cuerpos grandes tienden a desplazarse más lejos sobre un espacio regular que las especies más pequeñas, y para el caso de los carnívoros, menciona Bennett, (1998), buscan alimento por un terreno más amplio que los herbívoros sedentarios, demostrando escalas diferentes de desplazamiento donde cada especie necesita enlaces entre recursos a una escala específica.

En ecosistemas transformados, los procesos ecológicos se pueden llevar a cabo si la conectividad permite la continuidad entre poblaciones (Bennett, 1998). Los animales grandes suelen desplazarse a una escala mayor permitiéndole atravesar ambientes hostiles, como el ejemplo de un mamífero depredador que se desplaza por un paisaje agrícola y lo recorre en pocos minutos, superando barreras locales a diario para la búsqueda de alimento y para anidar (Bennett, 1998).

Algunos movimientos pueden estar acompañados de pausas temporales cortas o largas, como es el caso de las aves y mamíferos migratorios que pueden detenerse por días o semanas, utilizando el hábitat como una parada para buscar alimento y descansar. Para el caso de las especies residentes Bennett, (1998) también menciona que los números de desplazamientos cortos dentro del ecosistema conectado, puede lograr la continuidad de la población con el riesgo de generar cambio demográfico y flujo de genes entre poblaciones segmentadas que interactúan de esta manera, donde las reproducciones dentro de los hábitats conectados permiten que los animales se dispersen y aumente la población.

5.2 Movimiento de Aves

En los 17 artículos revisados para esta temática, se enfocaron en estudiar la dinámica de cómo las poblaciones de aves están directamente relacionadas con la disposición espacial y cuáles son sus patrones de movimiento en ecosistemas transformados. La mayoría de estos artículos resalta la conectividad como medida de la capacidad del paisaje fragmentado para facilitar los flujos de las aves en el mundo (Laurence *et al.*, 2004). Todos los estudios revisados fueron experimentales, sin excepción, y fueron en su mayoría ejecutados en una duración de uno a dos años, evaluando el movimiento de las aves implementando varias técnicas como el Mobbing Aviar que consiste en la llamada de acoso psicológico por medio de la intervención del

espacio con un equipo de reproducción musical digital portátil conectado a un amplificador, transmitiendo llamados de acoso para las aves hasta que se acercaran a los altavoces (Tremblay *et al.*, 2009). El tradicional método indirecto como el anillamiento y seguimiento por radio telemetría es una de las técnicas más empleadas para los estudios en aves. En cuanto al área de estudio, estos fueron realizados en su mayoría en diversos ecosistemas fragmentados y los demás en ecosistemas no fragmentados, categorizados como se muestra en la Figura 7.

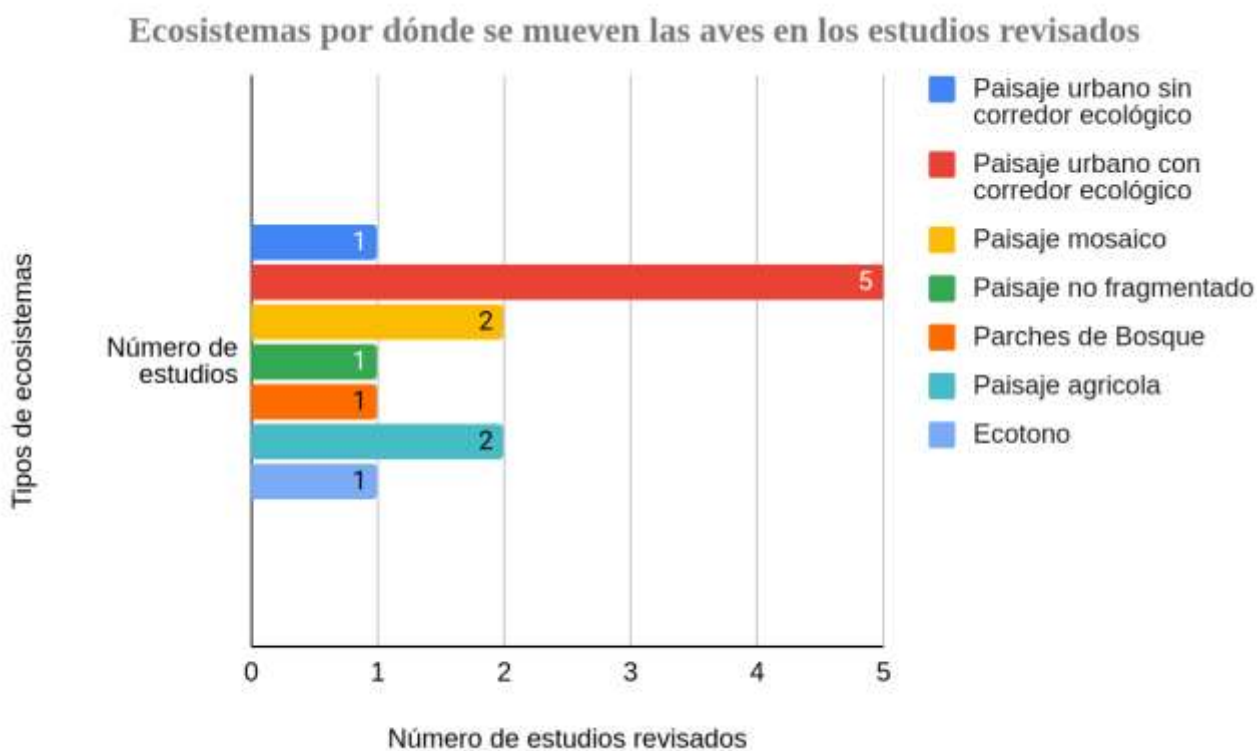


Figura 7. Tipos de ecosistemas donde se realizaron los estudios.

En el paisaje urbano sin corredor ecológico se encuentran los estudios realizados en ciudades completamente urbanizadas. El paisaje urbano con corredor ecológico agrupa los

estudios realizados en parques urbanos y humedales dentro de las ciudades. El paisaje mosaico hace referencia a áreas verdes y áreas urbanas una seguida de la otra en gran extensión. El paisaje no fragmentado corresponde a estudios realizados en sotobosque y zonas protegidas para la conservación ecológica. El paisaje agrícola corresponde a un ecosistema fragmentado por la agricultura, y el Ecotono es la transición de dos ecosistemas diferentes.

Las aves protagonistas en la mayoría de estos estudios son aves cantoras del orden Passeriformes, el orden de aves más diverso en el mundo (Barker *et al.*, 2004) y que son principalmente la más estudiadas por su capacidad de respuesta que presentan ante la transformación del paisaje (García *et al.*, 2018). Dentro de los cinco estudios realizados en paisajes urbanos con corredor ecológico, principalmente ciudades con corredores ribereños, humedales y parques, lograron identificar las estrategias que hicieron las aves, en términos de desplazamiento, para mitigar los efectos de barrera de las características lineales en paisajes urbanos. Algunos resultados demostraron que el desarrollo de las ciudades sin corredores ecológicos tiene efectos perjudiciales sobre la composición y estructura de las comunidades de aves (Tremblay *et al.*, 2011), pero en general, son pocas las especies de aves que se benefician del desarrollo urbano y sus recursos disponibles, generando así una homogeneización de la avifauna urbana (García *et al.*, 2018).

A continuación, se describen brevemente algunas de las estrategias reportadas en los estudios, que hicieron las aves para mitigar los efectos de barrera en ecosistemas transformados:

Los Zorzales en la ciudad de Santiago de Chile presentaron tramos de movimiento cortos con preferencia hacia jardines dentro de los patios de casas, zonas verdes de los colegios y edificios, regresando al Parque Balmaceda señalando que allí tienen un hábitat de preferencia ya que buscaron volver a él por distintos caminos. La tasa de retornos puede ser a causa de conocer el

lugar con anterioridad mediante exploraciones previas, o son capaces de orientarse usando entidades espaciales (Morales, 2015).

En el bosque tropical altamente fragmentado de la ciudad de Liberia en Costa Rica, se realizó un estudio para probar la eficiencia de corredores. Se observaron 10 aves, encontraron que 8 aves utilizaron una ruta forestal indirecta durante la mayor parte de la distancia durante su regreso y 2 aves cruzaron el hábitat de pastos abiertos moviéndose entre parches de bosque. Las aves que regresaron se movían directamente a lo largo de los corredores ribereños, pero recorrían rutas más largas para evitar rutas directas que tuvieran parches fragmentados (Gillies *et al.*, 2008).

La ciudad de Alberta en Canadá está dividida en dos zonas por la afluyente del río Bow, además de estar fragmentada por una red de transporte masivo, Tremblay M *et al.*, (2009) realizó un estudio con Currucas y Carboneros, dos especies de pájaros cantores de tamaño similar, pero con conductas migratorias y sensibilidades contrastantes al desarrollo urbano. Los resultados indicaron que el río y la red de transporte tuvieron poco efecto en los movimientos de la Curruca, pero los movimientos de los Carboneros se vieron limitados por carreteras y puentes. Es probable que la mayor capacidad de las Currucas se debe en parte a su capacidad de vuelo asociada con su comportamiento migratorio de larga distancia.

En el caso de las aves durante sus periodos de cría, estudios como el de Burbidge (1985) en Australia, encontraron que las aves se mueven a diario entre el hábitat donde anidan y las áreas donde consiguen su alimento, indicando que su ruta de vuelo suele pasar por encima o a lo largo de vegetación. El movimiento regular lo efectúan especies en terrenos amplios con franjas de vegetación a lo largo de orillas de caminos con un tránsito rápido a través de espacios pequeños de zonas urbanas (Burbidge, 1985).

Para el caso de ecosistemas poco transformados, se estudió el patrón de movimiento que hicieron las aves en una carretera estrecha, sin pavimentar y de poco tráfico en el Sotobosque amazónico en Brasil, registrando en sus resultados una reducción significativa del desplazamiento de muchas especies de aves. Esta reducción en los movimientos aparentemente tiene dos causas distintas pero interrelacionadas: evitar bordes y evitar espacios. Las especies sensibles evitaron los bordes, incluso los bordes de bosque cerca de carreteras (Laurance *et al.*, 2008).

No todos los animales que se mueven regularmente entre ecosistemas transformados necesitan de franjas de vegetación que faciliten su desplazamiento, debido a que hay varias especies que toleran hábitats transformados o que consiguen cruzar estos espacios con facilidad, como el caso de las lechuzas pardas estudiadas por Redpath (1995) en las zonas agrícolas de Gran Bretaña que suelen desplazarse a través de un terreno descubierto de vegetación.

¿Están las ciudades promoviendo el movimiento de las aves a lo largo del paisaje? La planificación de una ciudad que enlace hábitats que promueven la conservación de las aves urbanas, está bien avanzada en países de la Unión Europea y en Australia (Bennett, 1998). En América, se encontró un estudio donde han evaluado la permeabilidad del paisaje urbano de las aves cantoras con una conectividad frecuente a lo largo de los corredores ribereños de la ciudad de Calgary, indicando que la ciudad promueve en su organización el movimiento de las aves (Tremblay *et al.*, 2011). Para el caso de Latinoamérica, el estudio hecho en Chile (Morales, 2015) y en Brasil (Laurance *et al.*, 2008) dejan claro que la conectividad entre los paisajes transformados es muy limitada puesto a que pocas especies se registraron usando los corredores ecológicos. Para el estudio hecho en Bogotá, Sua (2014) registró que la Torcaza no es tan

susceptible a la urbanización mostrando tolerancia a la intervención humana encontrando registros en jardines, potreros, humedales, matorrales y en zonas con alta urbanización alejada de corredores ecológicos, considerándola una especie generalista. Por otro lado, Agudelo (2007) menciona que en el Canal Molinos de Bogotá funcionó solamente para 5 especies generalistas como hábitat alternativo para actividades de alimentación y reproducción, mientras que las aves especialistas no encontraron afinidad con las coberturas vegetales, reconociendo además que el Canal Molinos no es una franja lineal continua como lo sugiere la definición de corredor ecológico en la normativa ambiental Distrital.

En el proceso de desarrollar e implementar una planeación urbana, ya se encuentran algunas estrategias normativas para ambientes metropolitanos en varias partes del mundo, dentro de los ejemplos más destacados y que se encuentran en las primeras fases de implementación abordando objetivos ecológicos de la mano con objetivos sociales, recreativos y agrícolas, mencionados en el Programa de Conservación de Bosques de la UICN por Bennet (2003) son los siguientes:

- Planificación del paisaje en los Países Bajos: Plan de Política Nacional de Conservación de la Naturaleza, en el que se elaboró una estrategia de conservación que incluye una Red Ecológica Nacional con propósito de disminuir el impacto de las causas principales de pérdida de la biodiversidad, uno de los cuales se reconoce como fragmentación del hábitat (Opdam *et al.*, 1995). Hay tres componentes principales de la red:
 - Áreas núcleo naturales, grandes áreas que tienen paisajes silvestre importantes.

- Áreas naturales desarrolladas, áreas de tierras agrícolas en las que deben restaurarse ambientes naturales.
- Zonas corredor, enlaces entre las áreas núcleo y las áreas desarrolladas.

→ Red de sendas verdes para Maryland, EE UU: es una iniciativa comunitaria contemplada en una variedad de hábitats lineales y de enlaces naturales con cursos de agua, litorales, humedales de mareas, isla barrera, espacios urbanos y residenciales abiertos formando todos juntos una red estatal. El propósito de la red es proporcionar hábitat y senderos para la vida silvestre, oportunidades recreativas y espacios abiertos para el público, amortiguar cursos de agua y proteger los humedales (Bennett, 1998). Esta red de sendas está articulada con la ley estatal de protección de recursos donde:

- Debe protegerse una zona de amortiguamiento de por lo menos 30 metros a partir de la altura media de la marea a lo largo de litorales, orillas de cursos de agua y humedales para minimizar los efectos de las actividades y así mantener una zona de transición entre comunidades acuáticas y en tierras altas.
- Deben incorporar sistemas de “corredores de vida silvestre” a sitios que se desarrollan.
- Protección frente a nuevos desarrollos en litorales para mantener puntos de organización y áreas de concentración de aves acuáticas.
- Deben protegerse y conservarse bosques ribereños contiguos a cursos de agua, humedales o al litoral de la bahía, que tienen por lo menos 91 metros de anchura o por lo menos 40 hectáreas de tamaño.

→ Proyecto Corredores Nacionales de Verdor, Australia: involucra a grupos comunitarios, terratenientes, gobiernos locales y otras organizaciones en actividades para manejar y restaurar ‘corredores de vegetación’ (Greening Australia 1994). La revegetación de áreas escogidas es una parte clave del proyecto ya que permite:

- Enlazar zonas existentes de vegetación remanente
- Ubicarse para disminuir el deterioro de suelos y agua.
- Mantener la conservación de la biodiversidad y los desplazamientos de vida silvestre.
- Formar parte de cinturones de refugio a través de límites de fincas.
- Desarrollarse para actividades recreativas y turísticas.
- Ser un punto focal simbólico para el apoyo comunitario y gubernamental.

En la revisión bibliográfica que aporta Bierwaguen (2007) referente a ecosistemas urbanos, es evidente una falta de información que permita comprender la relación entre los patrones del paisaje propios de las ciudades y las implicaciones en la conectividad ecológica, sugiriendo que deben existir programas de investigación y monitoreo que valoren estas estrategias de conservación de manera regular.

5.3 Técnicas y metodologías

En los estudios encontrados para esta temática en específico que tiene que ver con las técnicas y metodologías aplicadas en la evaluación del movimiento de las aves, se encontraron

dos tendencias con enfoques complementarios los cuales permitieron clasificarlas en dos grupos dependiendo de su alcance y objetivo (figura 8)

- Evaluar el movimiento, técnicas de monitoreo en animales individuales dentro del sistema enlazado para obtener datos acerca de la extensión, frecuencia, dirección y desplazamientos en el hábitat.
- Promover la conservación, técnicas de monitoreo utilizadas en poblaciones y comunidades conectadas en hábitats transformados para valorar los cambios en respuesta a una mejor conectividad.

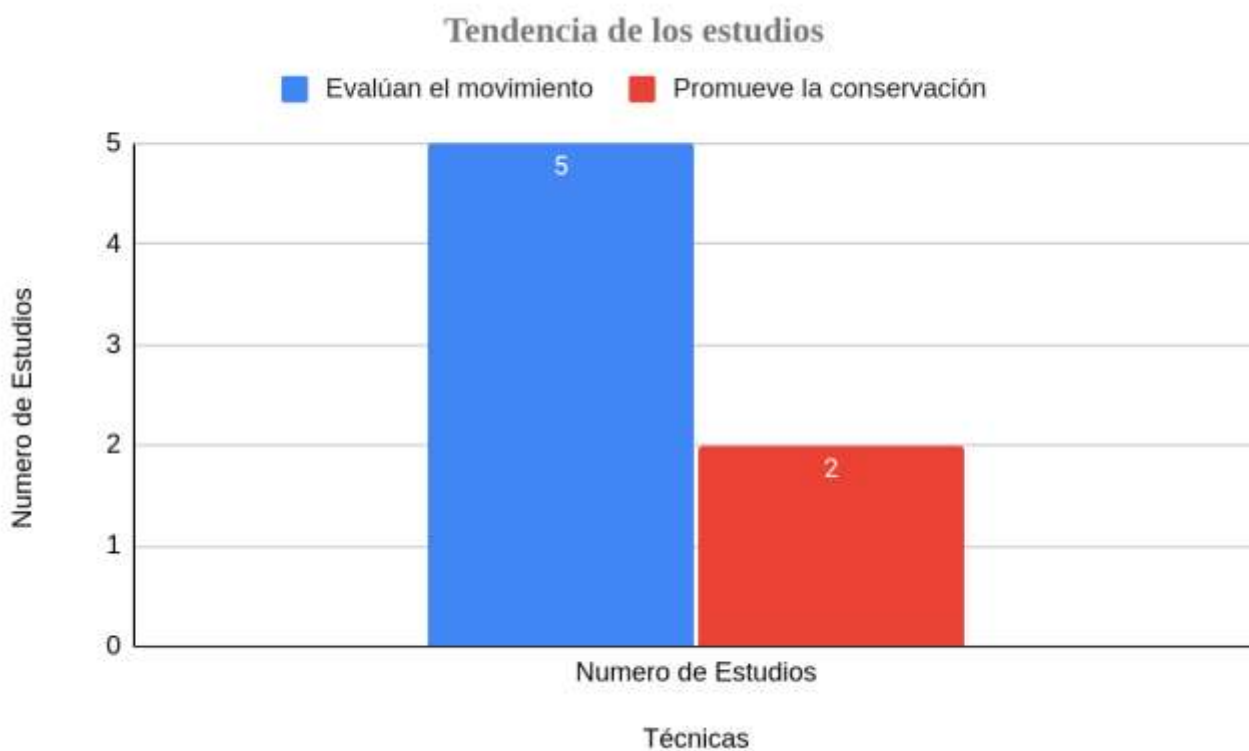


Figura 8. Número de publicaciones que implementan métodos que evalúan el movimiento de la avifauna y publicaciones con métodos de monitoreo en estudios de conservación.

Para ésta temática en particular se propuso la siguiente pregunta de investigación a responder a partir de los artículos obtenidos en la búsqueda sistemática de información:

¿Qué técnicas y metodologías han sido utilizadas para evaluar el movimiento de las aves en las ciudades? Se buscó estudios que aportaran información respecto a las técnicas y metodologías que se implementan para estudiar a las aves encontrando que la radiotelemetría es la técnica más usada para rastrear fauna que se desplaza libremente en su hábitat. Otros estudios también arrojan información acerca de otras técnicas de rastreo como el Homing y la teoría de circuitos.

Hofman *et al.* (2019) planteó en su estudio que para evaluar los patrones de movimiento de aves cantoras que usan comederos en áreas urbanas, el proceso de recopilación de datos con telemetría satelital, es en primer medida la adquisición de datos fijos, teniendo en cuenta que casi todas las unidades recientes disponibles comercialmente para la investigación de la vida silvestre, utilizan la red de satélites GPS con el fin de obtener puntos de referencia, aunque existen otros métodos por ejemplo, Argos con efecto Doppler, Global Navigation Satellite System o GLONASS. En segundo lugar, es la transferencia de las ubicaciones obtenidas de la unidad del usuario. Hay varias opciones disponibles para transferir datos que incluyen: la unidad de almacenamiento a bordo que se recupera del campo mediante la recaptura de animales o después de que la unidad se abandona, y el usuario extrae los datos mediante una conexión física entre la unidad y una computadora. Un transmisor de VHF o UHF en la unidad permite al usuario descargar los datos de forma remota, normalmente utilizando un receptor de mano desde una distancia relativamente corta. Este método se puede utilizar si se puede acercarse a los animales lo suficiente y hay recursos disponibles para visitar el área con frecuencia. Esta técnica de telemetría permite responder a una variedad de preguntas ecológicas y de conservación por el alcance que se pueden obtener de los datos dentro y fuera del Home Range de la población

estudiada, como la conectividad entre hábitats que pueden realizar algunos individuos en ecosistemas transformados.

El análisis que hace Hofman *et al.* (2019) revela que el rendimiento de la telemetría satelital en la investigación de la vida silvestre terrestre ha mejorado en los últimos 15 años, pero aún presenta considerables oportunidades de mejora, especialmente en la adquisición de arreglos y las tasas de falla. El rendimiento está más fuertemente influenciado por las características de la unidad y la especie que las condiciones ambientales en un área de estudio, pero que las condiciones ambientales aumentan la variabilidad, influyendo en la efectividad de la técnica.

Un enfoque alternativo para el estudio de fauna, es la metodología de Homing como lo propone Belisle *et al.* (2001) consiste en trasladar los individuos en secciones enteras del paisaje para someterlos a las condiciones de movimiento estandarizados, midiendo la probabilidad con la que regresaron a sus territorios, así como el tiempo que necesita para regresar. Durante el traslado, se pueden realizar observaciones pasivas de las aves y poder determinar experimentalmente la motivación y el destino de ellas, la distancia entre el sitio de liberación y el punto final, la composición y configuración del paisaje entre el sitio de desplazamiento y el punto final de destino. Los datos de este estudio apoyan la hipótesis de que los movimientos están restringidos cuando las aves viajan en paisajes deforestados y fragmentados, y es posible que este sea impedimento para los procesos de selección de hábitat, reduciendo la colonización de parches de bosque aislados y, en última instancia, alterar la estructura y la dinámica de la población.

La teoría de circuitos es implementada para modelar el flujo de las aves urbanas, propuesta por Grafius *et al.* (2017) para estudiar la conectividad del paisaje urbano. La conectividad es fundamental para comprender cómo la forma del paisaje influye en la función

ecológica, sin embargo, existe una dificultad en la recopilación de datos empíricos para validar modelos de conectividad, especialmente en áreas urbanas, donde las relaciones son multidimensionales. El uso de la teoría de circuitos depende de un mapa de resistencia subyacente, donde cada celda del paisaje se codifica de acuerdo a su relativa inadecuación para el uso de las especies objetivo, se asigna valores de resistencia más bajo al hábitat más adecuado y viceversa. La teoría de grafos y la teoría de circuitos eléctricos se acoplan utilizando el mapa de resistencia, para producir el mapa de “corriente acumulada” en el paisaje, como si fuera un circuito eléctrico. La teoría de grafos maneja el tratamiento de píxeles entre parches de hábitat como nodos de una red, mientras que la corriente en este caso representa los flujos de vida silvestre (Braaker *et al.* 2014). Se puede decir que el mapa de resistencia es efectivamente la inversa de un mapa de idoneidad del hábitat, pero con un enfoque en la voluntad de los individuos para moverse a través de una celda (McRae *et al.* 2008).

En este punto, los usos de estas técnicas pueden ofrecer una solución adecuada para el estudio del movimiento de aves al interior de las ciudades. Hasta ahora el uso de telemetría se ha restringido casi exclusivamente a espacios naturales (Gillies *et al.*, 2008). Sin embargo, Morales (2014) y Rose *et al.*, (2006) detallan las posibilidades del uso telemetría en aves urbanas, por lo que hoy en día es pertinente plantearse la comprensión de las rutas seguidas por aves en las ciudades y los patrones de movimiento asociados, con el propósito de formular estrategias de planificación urbana que fomenten la conservación de especies, como también formular estrategias de manejo basadas en información concreta.

5. DISCUSIÓN

La sistematización de información comprendida en este trabajo de grado sobre estudios de movimiento que hacen las aves a lo largo del paisaje urbano y estudios de conectividad funcional por técnicas en telemetría en ciudades, contribuye a lograr el objetivo planteado en la búsqueda de información relacionada con el proyecto de ecología urbana para evaluar los aspectos de conectividad ecológica en áreas estratégicas del Distrito Capital de la Línea Investigación de Conectividad e Interacciones Ecológicas de la Subdirección Científica del JBBJCM. Este estudio contribuyó en la identificación de los vacíos de información que serán abordados a profundidad por la línea de investigación, mencionando a continuación cuáles son las tendencias mundiales reportadas en los documentos revisados, que pueden aportar en el desarrollo de un diseño metodológico para la conservación de la biodiversidad urbana y que se pueden incorporar en la planificación del ordenamiento territorial de Bogotá que promueva la conectividad.

En la ciudad de Bogotá, se ha reportado que uno de los impactos y efectos de la urbanización es la pérdida de biodiversidad en el área local y en el área metropolitana (Sabana de Bogotá), en consecuencia de lo propuesto en el decreto 190 de 2004 que ha promovido la idea de la ciudad de Bogotá como ‘‘abierta y compacta’’. La presión urbanística ha puesto en amenaza a especies de aves como el Cucarachero (*Cistothorus apolinari*) y la Tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*), las dos especies endémicas de la Sabana de Bogotá (Calvachi, 2003).

Otras de las afectaciones que se han identificado en la ciudad capital es la que menciona Quimbayo (2016), en la que la construcción de la ciudad para el ‘‘desarrollo’’ hacia una gran

metrópolis, ha sido necesario el desarrollo de actividades de explotación de recursos naturales por medio de la minería, que han causado graves impactos en varias áreas de la ciudad, como ha ocurrido en el sector del valle medio del río Tunjuelo, en el sur de Bogotá, ocasionando pérdida de conectividad ecológica y afectación al sistema hidrogeológico (Fierro, 2013). Conllevando de esta manera también ha ocasionado conflictos urbanos en el uso del suelo y subsuelo que representa también pérdida en la biodiversidad y de espacio público verde.

Otra consecuencia de la pérdida de la biodiversidad en Bogotá menciona Quimbayo (2016), son las dinámicas de ocupación del suelo a causa de la segregación social, ocupación fraudulenta del suelo para vivienda, licencias legales e ilegales para desarrollo de obras urbanas de alto impacto, incluso de minería. Estos casos particulares se encuentran como problemáticas actualmente en los Cerros Orientales del borde sur de la ciudad y en humedales.

Reconociendo estos conflictos que vienen dándose en tendencia por el desarrollo de la urbanización en la ciudad de Bogotá, la actual Administración Distrital ha manifestado en el Acuerdo 761 de 2020 del Plan Distrital de Desarrollo, el interés en resolver estas problemáticas en Bogotá, con propósito de:

‘proteger, preservar, restaurar y gestionar integralmente la estructura ecológica principal, que incluye el sistema de áreas protegidas del Distrito, los parques urbanos, los corredores ecológicos y el área de manejo especial del Río Bogotá, así como los ecosistemas estratégicos de páramos, humedales y bosques y otras áreas de interés ambiental y suelos de protección. Para lograr este propósito se construirán lazos de gobernanza ambiental del territorio entre diferentes actores, bajo un enfoque regional

que respete el agua y la biodiversidad para garantizar el desarrollo sostenible de la ciudad'' (Acuerdo 761 de 2020 del Plan Distrital).

Resaltando y reconociendo que la biodiversidad en Bogotá no solo es representada por fauna y flora, sino en ecosistemas, paisajes, estrategias y funciones ecológicas, que deben ser tomadas en cuenta para las acciones que se ejecuten dentro del ordenamiento territorial. Debido a esto es relevante mencionar que estas acciones deben partir desde una base cualitativa de principios teóricos a una comprensión cuantitativa, como lo propone Bennett, (1998) para conectar un ecosistema transformado, reconociendo el valor de las diferentes formas de conectividad y cómo se podría mejorar su función en la totalidad de la ciudad.

Es importante mencionar que la posibilidad de diseñar con éxito hábitats conectados entre sí para la biodiversidad en ciudades, no garantiza que sí se logre superar las barreras que no permiten el movimiento a través del paisaje. De esta manera, al diseñar propuestas de conectividad en Bogotá, la línea de investigación en Conectividad e Interacciones Ecológicas del Jardín Botánico de Bogotá será participe en evaluar permanentemente con estudios de orden ecológico, la riqueza y abundancia de especies y recursos, así como investigaciones asociadas al uso y selección de hábitat para valorar si estos diseños otorgan beneficios de conservación en el Distrito Capital.

Durante la revisión de estudios en movimiento de aves, como punto de partida en la evaluación de estrategias que contribuya en maximizar la conectividad en la ciudad, se encontró una tendencia particular en estudios que se llevaron a cabo en paisajes urbanos con corredores ecológicos, principalmente ciudades con corredores ribereños, humedales y parques. En ellos lograron identificar las estrategias que hicieron las aves, en términos de desplazamiento, para mitigar los efectos de barrera de las características lineales en paisajes urbanos, destacando

que la presencia de un corredor ecológico es probable que tenga un mayor valor de conservación que los fragmentos aislados (Tremblay & Clair, 2011).

Estos estudios ayudan a orientar y enfocar las próximas investigaciones de la línea de investigación de CIE-JBBJCM en corredores ecológicos como elementos de conectividad, en el que (Bennett, 1998) los ha considerado elementos clave en la incorporación de planes de manejo y estrategias de conservación, siendo esta la estrategia mejor soportada para amortiguar los efectos que los procesos de urbanización pueden generar en la biodiversidad en las ciudades

Para Bogotá, ya existe una propuesta de tipología de corredores para la Estructura Principal de Bogotá (EEP) elaborada por Fernando Remolina (2006), señalando que es la conectividad estructural es la clave para asegurar el flujo de servicios ambientales a través del ecosistema. En las cuales menciona que dicha tipología de corredores debe orientar conceptualmente el diseño, la implementación, el mantenimiento y el monitoreo constante de estos. Pero considero que más que monitoreos es necesario realizar estudios de investigación científica en los diferentes tipos de corredores de la EEP de la ciudad de Bogotá como elementos de conectividad. Los cuales son clasificados en: corredor ecológico de ronda, cuando el corredor ecológico sigue un río o quebrada, corredor ecológico vial, cuando tiene como eje central una vía con áreas verdes externas usadas con el fin de disminuir el impacto de la fragmentación, y corredor ecológico de borde que se encuentra delimitando la ciudad y su función es el sistema de áreas protegidas distritales contra presiones de expansión urbana (Remolina, 2006).

Este aporte hecho por Remolina permite afirmar que desarrollar estrategias de conservación en la Estructura Ecológica Principal de Bogotá puede promover la conservación de la biodiversidad, teniendo en cuenta las recomendaciones que hace Opdam, (1990):

desarrollando permanentes estudios de orden ecológico, que evalúen la riqueza y abundancia de especies y recursos, así como investigaciones asociadas identificar el uso y selección de hábitat, además de evaluar el movimiento en los corredores ecológicos, para valorar si estos diseños otorgan beneficios de conservación para la biodiversidad residente y migratoria.

También es importante mencionar que se deben promover proyectos en educación ambiental que promuevan la conservación de especies por parte de la ciudadanía, en la formulación de acciones de enfoque territorial, valoración integral y de gestión social, para conciliar la toma de decisiones con la Administración Distrital. Esto con el fin de acoger principios mínimos de acción que menciona Quimbayo (2016) bajo el enfoque del Plan Nacional Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), es decir que el interés de conservar la biodiversidad acoge todos los ámbitos de la ciudad como ecosistema urbano (incluyendo las dinámicas de segregación social que también ocasionan pérdida de la biodiversidad) y no solamente las áreas con “destacado valor ecológico”.

Como se mencionó anteriormente es fundamental continuar realizando investigaciones en los patrones de movimiento de las especies, uso y selección de hábitat, conectividad de hábitat, migraciones y estrategias de alimentación para analizar el uso y los movimientos del espacio de los animales, para conocer permeabilidad a gran escala del paisaje urbano. Tremblay & Clare (2011) menciona que, en primera medida, hay que describir las condiciones del hábitat tal cuál como podría ser percibidas por las aves y sugiere que se debe realizar a través de un mapeo con un sistema de referencia geográfica, un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre.

Finalmente, es importante conocer qué técnica utilizar en los estudios de conectividad en las ciudades, en donde como vimos, Kernohan *et al.* (2009) destaca que para analizar el uso del

espacio y las interacciones de los animales que se mueven libremente como las aves, subraya que la técnica más reconocida e implementada es la técnica en telemetría debido a las dificultades en campo de rastrear visualmente múltiples individuos en la naturaleza. Siendo la telemetría la técnica de estudio en tendencia para las investigaciones revisadas en movimiento de ciudades. Permitiendo la toma de mediciones en intervalos de tiempo definido, hacer un seguimiento continuo a escalas espaciales y temporales con registros detallados de la magnitud, velocidad y direccionalidad del movimiento en el paisaje (Kenward, 2001). Esta técnica puede ser la más útil para trabajar con especies que se encuentran en espacios abiertos y no es fácil rastrearlos a la vista, como lo son las aves en la ciudad. Hasta ahora el uso de telemetría se ha restringido casi exclusivamente a espacios naturales (Gillies *et al.*, 2008).

En contraste con la investigación de Martínez *et al.*, (2011) que destaca en la metodología para comparar la conectividad funcional provista por parches de bosque conectados y aislados, el uso de las redes de niebla, como una de las técnicas más efectivas para la captura de aves: una vez es capturado el ave, se procede a tomar mediciones y marcaje para luego proporcionarles anillos de colores que permiten identificar a cada uno de los individuos en el área de estudio, logrando registrar de manera directa los movimientos de individuos concretos y observar aspectos del comportamiento individual como la búsqueda y consumo del alimento, además de cuantificar el uso real de las distintas conexiones en la matriz del hábitat a corto y mediano plazo (De la Cruz., *et al* 2013). Este método directo proporciona datos excelentes sobre movimientos de corta distancia, pero se vuelven más difíciles a medida que aumenta la distancia debido al área que los investigadores deben buscar (Harris *et al.*, 2002).

Agudelo (2007) y Sua (2014) en la Estructura Ecológica Principal de Bogotá implementaron técnicas de estudio como lo plantea Martínez et al., 2011 de manera directa puesto que permitió identificar a cada uno de los individuos en el área de estudio, logrando registrar de manera directa los movimientos de individuos concretos y observar aspectos del comportamiento individual.

Teniendo en cuenta los pro y los contra de ambas técnicas, los próximos estudios que se desarrollen en evaluar la conectividad en ciudades usando como elemento de estudio las aves propondría que fuera bajo las dos técnicas, utilizando las redes de niebla para la captura de las aves, sumado del anillamiento para el seguimiento e identificación individual de las especies por el método Homming, complementandolo con la técnica de telemetría teniendo en cuenta el tipo de corredor a evaluar, la biología y ecológica de la especie de ave y escoger la adecuada tecnología dependiendo el objetivo de investigación alcanzar. Además de la evaluación de la teoría de circuitos, que es implementada para modelar el flujo de las aves urbanas, propuesta por Grafius *et al.* (2017) para estudiar la conectividad del paisaje urbano.

6. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica de los estudios en patrones de movimiento de la fauna realizados en este trabajo, permitió conocer las tendencias relevantes a nivel mundial en investigaciones en ecología que analizaron el movimiento a lo largo del paisaje. Se encontró muy pocos estudios en patrones de movimiento de la avifauna a lo largo del paisaje urbano o que evaluaran la conectividad de las áreas verdes de las ciudades, pero proporcionaron fundamentos que permitieron un aporte para el diseño metodológico en conservación de la biodiversidad urbana, que desarrollará la línea de investigación en Conectividad e Interacciones Ecológicas y

será incorporada en la planificación del ordenamiento territorial de Bogotá que promueve la conectividad.

La implementación del método PICO fue efectiva en la medida que permitió responder las preguntas de investigación mediante la recuperación de documentos en las bases de datos enfocada a los temas de esta investigación y evitaron búsquedas que no fueron relacionados con los objetivos planteados. El alcance de las ecuaciones de búsqueda para las temáticas relacionadas con patrones de movimiento, se vio reducida pese a los escasos estudios realizados en ciudades del mundo.

Los patrones de movimiento de la fauna en ecosistemas transformados, según la bibliografía revisada, permiten dar cuenta que los patrones de movimiento en los grupos de animales son muy diferentes entre ellos y su intervención en el ambiente son muy distintos, así que la configuración del paisaje debe permitir la conectividad y los procesos ecológicos asociados a la continuidad entre hábitats (conectividad estructural) y permitir el desplazamiento dentro del paisaje comprendiendo el grado de especialización y la tolerancia a los ecosistemas transformados (Conectividad funcional).

Los estudios en movimiento de aves, fueron en su mayoría realizados con Passeriformes por ser el orden de aves más diverso en el mundo y fueron principalmente las más estudiadas por su capacidad de respuesta que presentan ante la transformación del paisaje, evidenciando que pocas aves se benefician del desarrollo urbano y sus recursos disponibles, generando así una homogeneización de la avifauna urbana.

La telemetría fue la técnica de estudio más aplicada para las investigaciones revisadas en movimiento de ciudades. Permitiendo la toma de mediciones en intervalos de tiempo definido,

hacer un seguimiento continuo a escalas espaciales y temporales con registros detallados de la magnitud, velocidad y direccionalidad del movimiento en el paisaje, pero este método indirecto proporciona una gran cantidad de datos por unidad de área y no pueden revelar la ruta de movimiento.

Los estudios realizados en la ciudad de Bogotá resaltan la importancia de las aves como indicadores del estado actual de los elementos que permiten brindar conectividad al interior de la matriz urbana y la necesidad de promover el interés de conservar la biodiversidad que acoge todos los ámbitos de la ciudad como ecosistema urbano (incluyendo las dinámicas de segregación social que también ocasionan pérdida de la biodiversidad) y no solamente las áreas con “destacado valor ecológico”.

Aunque son muy pocos los estudios desarrollados en la ciudad de Bogotá, los hallazgos y aportes locales permiten afirmar que desarrollar estrategias de conservación en la Estructura Ecológica Principal de Bogotá puede promover la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos.

7. RECOMENDACIONES

La mayoría de los estudios que se realizaron en ciudades, marcaron la tendencia de realizarse dentro de corredores ecológicos para evaluar los patrones de movimiento, por esta razón se sugiere que se enfoque una nueva búsqueda de literatura científica en “corredores

ecológicos” ampliando el método PICO utilizando descriptores (palabras claves) enfocados en el objeto de estudio (P) “aves urbanas” y “intervención o efecto sobre el objeto de estudio” (I), en este caso “corredores ecológicos” para complementar la información obtenida en éste trabajo.

Generar conocimiento a partir de la evaluación de aspectos de conectividad ecológica en Bogotá-Región como insumo que contribuya a la toma de decisiones sobre la planificación y gestión sostenible del territorio, para así garantizar la conservación de su biodiversidad y los servicios ecosistémicos y en general cuidado del ambiente natural. Ese conocimiento debería constituirse como la base para mejoras permanentes en la ubicación, diseño y manejo de enlaces, de modo que puedan mantener y restaurar con eficacia la conectividad natural del paisaje en ambientes modificados.

Es importante al evaluar el movimiento de las aves a lo largo del paisaje, la selección de una especie en la que se conozca la biología, ecología, rango de distribución, comportamiento, etcétera, como por ejemplo su temporada de reproducción, en donde sus patrones de movimiento serían más típicos y no se limitarían a encontrar pareja, la construcción de nido o la alimentación de las crías.

8. BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, L. (2007). Evaluación del Canal Molinos como un corredor para las aves en la ciudad de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Barker F.K., cibois A.C., Feinstein P.S., Cracraft j. Phylogeny and diversification of the largest avian radiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.2004. Vol 10 N 30. Pp: 11040–11045

Bélisle, M., Desrochers, A. & Fortin, M.-J. 2001: Influence of forest cover on the movements of forest birds: a homing experiment. — *Ecology* 82: 1893–1904.

Bennet, A.F. (1998). *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, RU, x + 254 pp.

Berggren, Asa, Birath, B., & Kindvall, O. (2002). Effect of Corridors and Habitat Edges on Dispersal Behavior, Movement Rates, and Movement Angles in Roesel's Bush- Cricket (*Metrioptera roeseli*). *Conservation Biology*, 16(6), 1562–1569.

Bierwagen, B.G. 2007. Connectivity in urbanizing landscapes: the importance of habitat configuration, urban size, and dispersal. *Urban Ecosystems* 10:29-42.

Blair, R.B. (1996). Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications* 6(2): 506-51. Bogotá.

Braaker S, Moretti M, Boesch R, Ghazoul J, Obrist MK, Bontadina F (2014) Assessing habitat connectivity for ground-dwelling animals in an urban environment. *Ecol Appl* 24:1583–1595

McRae BH, Dickson BG, Keitt TH, Shah VB (2008) Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology* 89:2712–2724.

Burbidge, A.H. 1985. The Regent Parrot. A report on the breeding distribution and habitat requirements along the Murray River in south-eastern Australia. Australian National Parks and Wildlife Service, Report Series No. 4.

Calvachi, B. 2003. Una aproximación al conocimiento actual de los humedales, lagunas y embalses de Bogotá y la Sabana. En: *Acueducto de Bogotá y Conservación Internacional Colombia* (Eds.). Los humedales de Bogotá y la Sabana, Volumen 1. Bogotá, Colombia.

Chace, J. F., & Walsh, J. J. (2006). Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 74(1), 46–69. doi:10.1016/j.landurbplan.2004.08.007

Crone, FHG and Bentrupperbaumer, J (1993) Special people, a special animal and special vision: the first steps to restoring a fragmented tropical landscape. In *Nature Conversation* 3.

Crooks, K., & Sanjayan, M. (2006). *Conectivity Conservation*. Cambridge University Press. New York.

Da Costa C, De Mattos C, Cuce M (2007) ESTRATEGIA PICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y LA BÚSQUEDA DE EVIDENCIAS, *Rev Latino-am Enfermagem*, 2007 maio-junho; 15 (3)

De la Cruz, M., & Maestre, F. (Eds.). (2013). *Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados*. España: ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre.

Decreto 190 de 2004

Delgado C & Correa J (2013) Estudios ornitológicos urbanos en Colombia: revisión de literatura. *Comunidades de aves de la Ciudad de La Habana. Ingeniería y Ciencia* 9:215-236

Fierro, J. 2013. Una aproximación sintética sobre los impactos ambientales de la minería no legal. Pp 193-228. En: Garay, L. J. (Dir.). *Minería en Colombia: Institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos*. Vol. 2. Contraloría General de la República. Bogotá D.C., Colombia.

García-Lau, Ianela & Acosta, Martin & Mugica, Lourdes & Rodríguez Ochoa, Alejandro & González, Alieny. (2019). Revisión de los estudios científicos sobre ornitología urbana de La Habana, Cuba.

Gillies, C. S., Cassady, C., & Clair, S. (2008). Riparian corridors enhance movement of a forest specialist bird in fragmented tropical forest, 2008.

Gómez L. e I. Zuria. 2010. Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical* 21:17-30

Grafius, D. R., Corstanje, R., Siriwardena, G. M., Plummer, K. E., & Harris, J. A. (2017). *A bird's eye view: using circuit theory to study urban landscape connectivity for birds. Landscape Ecology*, 32(9), 1771–1787. doi:10.1007/s10980-017-0548-1

Greening Australian (1994) Workplaces: Workers and the Environment. *Alternative Law Journal*, 34(3), 189–192. <https://doi.org/10.1177/1037969X0903400309>

Grimm (2000) Nancy B. Grimm, J. Grove Grove, Steward T. A. Pickett, Charles L. Redman, Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems: Urban ecological systems present multiple challenges to ecologists—pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and

theory, *BioScience*, Volume 50, Issue 7, July 2000, Pages 571–584,

[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0571:IATLTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0571:IATLTO]2.0.CO;2)

Grimm (2008) Grimm, N. B., Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., ... Briggs, J. M. (2008). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319.

<https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Hofman MPG, Hayward MW, Heim M, Marchand P, Rolandsen CM, Mattisson J, et al. (2019)

Right on track? Performance of satellite telemetry in terrestrial wildlife research. *PLoS ONE*

14(5): e0216223. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216223>

Kenward, R. (2001). *A Manual for Wildlife Radio Tagging*. Gulf Professional Publishing.

Kernohan, Brian & Gitzen, Robert & Millspaugh, Joshua. (2001). Chapter 5. Analysis of Animal Space Use and Movements. 10.1016/B978-012497781-5/50006-2.

Klein, B.C. 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology* 70 (6): 1715-1725.

Laurance, S. G., Stouffer, P. C., & Laurance, W. F. (2004). Effects of road clearings on movement patterns of understory rainforest birds in central Amazonia. *Conservation biology*, 18(4), 1099-1109.

Martínez , B. Finegan, F. DeClerck, J. Sáenz, F. Casanoves, S. Velázquez, (2011) Movimientos de *Thryothorus rufalbus* (aves: Troglodytidae) y conectividad funcional en el paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería En Las Américas* N ° 4 8 2 0 1 1

Matthiae, P. E., and F. Stearns. 1981. Mammals in forest islands in southeastern Wisconsin. Pages 55–66 in R. L. Burgess and D. M. Sharpe, editors. *Forest island dynamics in man-dominated landscapes*. Springer-Verlag, New York.

Mckinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness : A review of plants and animals A review of plants and animals, (Urban Ecosystems). <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>

Morales F., (2014). Análisis de factibilidad de uso de telemetría urbana en Zorzales (*Thurdus falcklandii*). Informe de práctica profesional de Geografía (50 p.). Laboratorio de Territorio y Medio Ambiente, Departamento de Geografía, Universidad de Chile.

ONU (2019) La situación demográfica en el mundo, 2014. Informe conciso. Dep Asuntos Económicos y Soc 1–38.

Opdam, P., 1990. Dispersal in fragmented populations: the key to survival. In: R.G.H. Bunce and D.C. Howard (Editors), *Species Dispersal in Agricultural Habitats*. Belhaven Press, London/New York, pp. 3-17.

P. Opdam, G. Rijdsdijk, F. Hustings, Bird communities in small woods in an agricultural landscape: Effects of area and isolation, *Biological Conservation*, Volume 34, Issue 4, 1985, [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(85\)90039-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(85)90039-4).

Pavez E (2014) Parón de movimiento de dos cóndores andinos *Vultur gryphus* (AVES: CATHARTIDAE) en los Andes centrales de Chile y Argentina. *Boletín Chileno de Ornitología* 20: 1-12.

Pérez, E. (2000). Paisaje Urbano en nuestras ciudades. *Revista Bitácora Urbano Territorial*.

Principal de Bogotá. Jardín Botánico de Bogotá, Subdirección Científica. Alcaldía Mayor de

Quimbayo, G. (2016). Gestión integral de la biodiversidad en el Distrito Capital: aportes para una gobernanza urbana. *Biodiversidad en la Práctica*. Documentos de trabajo del Instituto Humboldt. Colombia.

Redpath, S. M. (1995). Habitat fragmentation and the individual: tawny owls *Strix aluco* in woodland patches. *Journal of Animal Ecology*, 64, 652–661.

Remolina F. (2010). Propuesta de tipología de corredores para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. Jardín Botánico de Bogotá, Subdirección Científica. Alcaldía Mayor de Bogotá. Acuerdo 761 del 2020,

Remolina, F. (2006). Propuesta de tipología de corredores para la Estructura Ecológica

Rose, E., Nagel, P., & Haag-Wackernagel, D. (2006). Spatio-temporal use of the urban habitat by feral pigeons (*Columba livia*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 60(2), 242–254.
doi:10.1007/s00265-006-0162-8

Savard, J.-P. L., Clergeau, P., & Mennechez, G. (2000). Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 48(3), 131–142.

Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación internacional (2010) Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital. Panamericana, Bogotá, Colombia.

Secretaría General de la Alcaldía mayor de Bogotá D.C Acuerdo No. 761 DE 2020

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=10998>

Secretaría General de la Alcaldía mayor de Bogotá D.C. Decreto 190 de 2004.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=13935>

Simberloff, D. (1992). Conservation of pristine habitats and unintended effects of biological control. In Selection criteria and ecological consequences of importing natural enemies, ed. W. C. Kauffman & J. E. Nechols. Entomological Society of America, Lanham, Maryland, pp. 103-117.

Sua, A. (2014). Caracterización de la avifauna asociada a un corredor ecológico vial en la ciudad de Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Taylor, P.D., L.Fahrig, K. Henein, G. Merriam. 1993. Connectivity is a vital Element of Landscape Structure. *Oikos* 68(3): 571-573.

Tremblay, M. A., & St. Clair, C. C. (2009). Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *Journal of Applied Ecology*, 46(6), 1314–1322. <https://doi.org/10.1109/FCCM.2010.12>

Tremblay, M. A., & St. Clair, C. C. (2011). Permeability of a heterogeneous urban landscape to the movements of forest songbirds. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 679–688.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01978.x>

9. ANEXO

La documentación recopilada durante este trabajo se puede consultar en el siguiente link de acceso, al igual que la matriz comparativa de la información revisada.

https://drive.google.com/drive/folders/1BoLl3sSRFFjkVuKQKSVuRHWneRq_4xLf?usp=sharing

g