



Jesús Zuñiga-Palacios (Autor de correspondencia)

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

jzuniga.biol@gmail.com

ORCID: 0009-0002-3549-8243

Leonardo Vera-Samperio

Estudiante de secundaria del

Colegio Montessori Arboledas

veraleo12515@gmail.com

ORCID: 0009-0006-4267-3811

María Galindo-Hernández

Estudiante de secundaria del

Colegio Montessori Arboledas

magalher04@gmail.com

ORCID: 0009-0005-4151-6560

Patricio Pérez-Casamayor

Estudiante de secundaria del

Colegio Montessori Arboledas

patricioperezcasamayor@gmail.com

ORCID: 0009-0006-6872-8016

José Mateo González-Cuatepotzo

Estudiante de secundaria del

Colegio Montessori Arboledas

gonzalezcuatepotzosemateo@gmail.com

ORCID: 0009-0002-5912-0765

Iriana Zuria

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

izuria@uaeh.edu.mx

ORCID: 0000-0002-0004-3540

Los jóvenes también pueden ser ecólogos como Ernst Haeckel: un proyecto sobre especies de aves exóticas invasoras

Middle schoolers can also be ecologists like Ernst Haeckel: a project on invasive exotic bird species

Palabras clave: proyectos académicos, educación ambiental, aprendizaje basado en proyectos, aves, especies invasoras.

Resumen

Este artículo presenta los resultados de un estudio científico sobre el impacto de las aves exóticas invasoras (AEI) en comunidades de aves de una zona urbana. El texto expone los efectos negativos de las AEI sobre las comunidades de aves y propone acciones para mitigar ese problema. El trabajo realizado es un ejemplo de cómo integrar experimentos académicos en el currículo de educación básica, para lo cual se describen las etapas pedagógicas en las que se estructuró el proyecto, a fin de facilitar su replicación en otras instituciones educativas. Se concluye que la implementación de proyectos académicos, especialmente en ciencias, contribuye al desarrollo de los siete saberes para la educación del futuro, planteados por Edgar Morin: las cegueras del conocimiento: el error y la ilusión; los principios del conocimiento pertinente; enseñar la condición humana; enseñar la identidad terrenal; enfrentar las incertidumbres; enseñar la comprensión; y la ética del género humano. [Versión en lengua de señas mexicana](#)

Keywords: academic projects, environmental education, project-based learning, birds, invasive species.

Abstract

This article presents the results of a scientific study on the impact of invasive exotic birds (IEB) on bird communities in an urban area. The text outlines the negative effects of IEB on bird communities and proposes actions to mitigate that problem. The work carried out is an example of how to integrate academic experiments into the basic education curriculum. The pedagogical stages in which the project was structured are described, in order to facilitate its replication in other educational institutions. It is concluded that the implementation of academic projects, especially in the sciences, contributes to the development of the seven domains of knowledge for the future education, proposed by Edgar Morin: the blind spots of knowledge: error and illusion; the principles of pertinent knowledge; teaching the human condition; teaching earthly identity; facing uncertainties; teaching understanding; and the ethics of humankind.

Introducción

La educación secundaria, según la pedagoga María Montessori (1948), representa una etapa fundamental en la formación académica y personal de los jóvenes, ya que en esta fase los estudiantes comienzan a desarrollar un pensamiento más crítico y asumir una mayor responsabilidad en su propio proceso de aprendizaje. Asimismo, menciona que durante este periodo los adolescentes se transforman en “ciudadanos del mundo”, lo que exalta la importancia de ofrecerles una educación que no solo se enfoque en la transmisión de conocimientos, sino también en la formación de individuos conscientes y responsables de su entorno.

En México, este enfoque educativo se alinea con las directrices de la Nueva Escuela Mexicana (NEM), cuyo objetivo es promover desde temprana edad el desarrollo de habilidades científicas, sociales y éticas a través de diversos ejes articuladores, dejando atrás el modelo tradicional de enseñanza basado exclusivamente en la transmisión-adquisición de conocimientos (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2019).

Uno de los aspectos más relevantes de la NEM es el fomento de competencias que permitan a los adolescentes analizar y comprender los fenómenos naturales y sociales que los rodean (SEP, 2019). Para lograr este objetivo, la NEM propone la realización de

proyectos académicos transdisciplinarios, los cuales deben integrar diferentes áreas del conocimiento y promover que los estudiantes aborden problemas complejos desde diversas perspectivas. Estos estudios no solo favorecen el aprendizaje académico, también ayudan a desarrollar habilidades prácticas esenciales para la formación de futuros profesionales.

En este artículo se presentan los resultados de un proyecto académico realizado por estudiantes de secundaria, quienes además son coautores de este texto. El objetivo es destacar el valor de los proyectos escolares como herramientas para fomentar el desarrollo de habilidades científicas desde etapas tempranas, así como ofrecer un ejemplo que pueda ser replicado en otras instituciones educativas.

Una de las áreas de gran relevancia dentro de la ciencia es la ecología, la cual estudia las interacciones entre los seres vivos y su entorno. Este campo ofrece a los aprendientes una comprensión profunda de los sistemas naturales, pero también les proporciona herramientas para desarrollar habilidades de observación, análisis y pensamiento crítico, competencias esenciales para cualquier persona. En este sentido, los estudios académicos relacionados con la ecología son una excelente oportunidad para conectar la teoría con la práctica, permitiendo a los alumnos convertirse en actores activos en la investigación científica y contribuir a la solución de problemas ambientales que requieren atención de manera urgente.

Uno de los grandes retos ambientales contemporáneos es la creciente proliferación de especies exóticas invasoras, las cuales representan una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad mundial (Pyšek et al., 2020; Sánchez et al., 2021). Las especies exóticas son aquellas que no son nativas de una región o país. Cuando estas logran establecerse en hábitats distintos fuera de su distribución original y generan afectaciones en los ecosistemas, se les conoce como especies exóticas invasoras (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2023). Estas pueden agotar rápidamente los recursos disponibles, alterando la dinámica de los ecosistemas y desplazando a las especies nativas, lo que favorece la extinción de varias de ellas. Como resultado, se presentan impactos negativos en los servicios ecosistémicos, con repercusiones sanitarias, económicas y ecológicas severas (Early et al., 2016; Seebens et al., 2017; Pyšek et al., 2020; Hudgins et al., 2023).

Si bien las invasiones biológicas pueden ocurrir de manera natural por procesos de dispersión y colonización, en las últimas décadas se ha acelerado la propagación de estas especies como resultado de las actividades humanas, el calentamiento global y la migración. Debido a la inevitable expansión futura de especies invasoras y sus repercusiones potenciales, es esencial producir información para diseñar planes de contingencia que ayuden a mitigar esta problemática (Li et al., 2023).

El objetivo del proyecto académico fue analizar el efecto de las aves exóticas invasoras en la diversidad de las comunidades de aves nativas. Para ello, se establecieron como metas realizar salidas de campo semanales a dos tipos de hábitats: parques urbanos con presencia de especies invasoras y un remanente de vegetación nativa (matorral xerófilo) sin presencia de estas especies. Además, se emplearon al menos dos métricas de diversidad ecológica para evaluar el impacto de las especies invasoras.

Los resultados de este proyecto se alinean con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente con el ODS 12: Producción y consumo responsables, al difundir conocimientos sobre sustentabilidad a través de cuentos infantiles dirigidos a otros estudiantes del colegio de los alumnos participantes. Asimismo, contribuye al ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, al prevenir la introducción de especies exóticas y mitigar sus efectos mediante la sensibilización de los riesgos implícitos de tener mascotas exóticas, fenómeno considerado como una de las principales vías de introducción de nuevas especies a los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015; Li et al., 2023).

En este contexto, la participación de los jóvenes en proyectos que aborden esta problemática es de suma importancia, ya que les permite comprender de manera práctica y directa cómo las personas influyen en su entorno y cómo, desde una perspectiva científica, pueden contribuir a la solución de esas situaciones. A través de la observación y el análisis de las aves exóticas invasoras, los estudiantes asumen el rol de pequeños ecólogos, siguiendo el ejemplo de científicos como Ernst Haeckel, quien fue pionero en promover el estudio de las relaciones entre los organismos y su entorno desde una perspectiva ecológica (Haeckel, 1966; Egerton, 2013). En sus trabajos, Haeckel defendió la idea de que los seres humanos somos parte integral de la naturaleza y que, por lo tanto, debemos asumir la responsabilidad de preservar el balance ecológico del planeta (Haeckel, 1966; Egerton, 2013).

En este artículo se presentan los resultados de dicho proyecto, evidenciando las herramientas y habilidades que han sido adquiridas por los estudiantes. La intención es que este texto no solo sirva como un ejemplo del tipo de actividades que pueden llevarse a cabo en las instituciones educativas, sino también como un medio de divulgación científica acerca del impacto de las especies exóticas invasoras sobre las comunidades ecológicas. De esta forma, en primer lugar, se presentan las etapas pedagógicas en las que se dividió el proyecto y posteriormente se exponen los resultados del efecto de las especies exóticas invasoras.

Materiales y método

Etapas pedagógicas del proyecto

El estudio se realizó en colaboración con el Colegio Montessori Arboledas, en Pachuca, Hidalgo, México, donde Jesús Zuñiga-Palacios (JZP) e Iriana Zuria (IZ) participan como asesores en educación ambiental. Dentro de su programa académico se incluye la asignatura Proyecto Integrador y de Ciencias, en la que los estudiantes desarrollan un proyecto de impacto social y otro científico. Su objetivo es integrar conocimientos de las materias tradicionales, incluyendo Biología, Química, Física, Historia, Geografía y Matemáticas. El trabajo contó con la participación de cuatro estudiantes de secundaria, cuyas edades oscilaron entre los 14 y 15 años.

La metodología consta de cuatro etapas (Figura 1). La primera implica el planteamiento del problema y la formulación de preguntas, apoyada por la segunda, que corresponde a la construcción del marco teórico. Luego, los estudiantes ejecutan su proyecto y, finalmente, presentan los resultados.

Para guiar a los alumnos, se emplea una rúbrica que establece los lineamientos y permite una evaluación objetiva. En la primera etapa, los aprendientes responden preguntas clave: ¿qué?, ¿para qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, etc., y estructuran un anteproyecto con 1) justificación y problemática, 2) objetivos y metas, 3) metodología y 4) cronograma. También deben vincular su proyecto a uno o varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (2015), lo que refuerza su impacto global.

En la segunda etapa, los estudiantes elaboran un marco teórico de aproximadamente 3000 palabras, el cual incluye conceptos, teorías y antecedentes relevantes. Se les capacita en el uso de motores de búsqueda y selección de fuentes confiables, además de que aprenden a citar y referenciar adecuadamente.

Un aspecto fundamental de estos proyectos es la gestión de recursos económicos. En la tercera etapa, los estudiantes diseñan la metodología y organizan actividades para obtener financiamiento, como ventas escolares con la participación de los padres. En algunos casos, buscan patrocinios de pequeñas empresas locales.

En la última etapa, los alumnos presentan sus proyectos en un examen de grado simulado donde los profesores actúan como sinodales. Además, entregan un documento con formato de artículo científico, que incluye resumen en español e inglés, introducción, metodología, resultados, conclusiones, agradecimientos y referencias.

Figura 1. Diagrama de flujo de las etapas pedagógicas en las que se dividió el proyecto



Nota: Las fotografías evidencian ejemplos de la ejecución del proyecto y su relación con cada etapa. (A) Estudiantes muestran los objetivos del desarrollo sostenible de la ONU que se vinculan con su proyecto sobre especies exóticas invasoras. (B) Realizando la observación de aves en uno de los sitios de estudio que forma parte de la etapa de experimentación del proyecto. (C) Elaboración de la presentación final emulando un examen de grado en el que están presentes tanto los profesores como el resto del alumnado.

Fuente: Elaboración propia.

Estudiando a las especies de aves exóticas invasoras

El estudio se realizó en tres parques urbanos de Pachuca, Hidalgo (Parque Pasteur, Parque Hidalgo y Arboreto del Parque Ecológico Cubitos). En los dos primeros hay presencia documentada de aves exóticas, y en la zona de conservación del último no se han registrado estas especies. Se llevaron a cabo cuatro salidas al campo, dos en parques urbanos y dos en Cubitos, con un intervalo de una semana entre cada salida.

Los parques urbanos están rodeados de establecimientos comerciales, casas y oficinas, y su vegetación está dominada por especies introducidas. En contraste con el Parque Ecológico Cubitos, donde predomina el matorral xerófilo, la vegetación nativa original de la zona de estudio.

Para evaluar el efecto de las especies invasoras en la diversidad de aves, se realizó un inventario de especies utilizando la técnica de puntos de conteo. Se establecieron

entre 5 y 8 puntos de conteo en los parques urbanos, dependiendo de su extensión, y 10 puntos en el Parque Ecológico Cubitos. Los puntos se ubicaron aleatoriamente y con una separación mínima de 50 metros para garantizar la independencia de los datos; las distancias fueron verificadas con un GPS. En cada punto se realizaron observaciones de 5 a 10 minutos, registrando todas las especies avistadas con binoculares (10 x 42) e identificándolas con guías especializadas. Se anotó la cantidad de individuos de cada especie en un diario de campo.

A fin de valorar la completitud del inventario, se construyó una curva de acumulación de especies y se calculó la cobertura de la muestra. Estas herramientas permiten determinar el porcentaje de completitud del muestreo; se considera un esfuerzo adecuado cuando se alcanza al menos el 85 %, lo cual se verificó mediante el *software* iNEXT online (Chao et al., 2014; Chao et al., 2016).

El impacto de las especies invasoras en la diversidad de comunidades se midió mediante distintos métodos. Primero, se compararon los intervalos de confianza al 95 % de la riqueza de especies entre parques urbanos y el Parque Ecológico Cubitos. Si los intervalos de confianza se superponen, entonces, no existen diferencias significativas en la riqueza de especies entre hábitats.

Además, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener mediante la fórmula: $H = -\sum [(p_i) \times \ln(p_i)]$, donde H es el índice de diversidad, p_i representa la abundancia relativa de cada especie y $\ln$ es el logaritmo neperiano. Este índice varía entre 0 y 5, donde valores cercanos a 0 indican baja diversidad y valores cercanos a 5 sugieren alta diversidad. Los cálculos se realizaron en Microsoft Excel®. Para evaluar diferencias significativas en el índice de diversidad de Shannon entre hábitats, se compararon los intervalos de confianza al 95 % obtenidos en iNEXT online al especificar $q=1$, el cual es un parámetro para estimar el número de especies efectivas a partir del índice de Shannon-Wiener (Jost, 2006). Si los intervalos de confianza se superponen, se concluye que no hay diferencias significativas en diversidad entre hábitats.

Por último, se analizó la composición de especies comparando la cantidad de especies exclusivas de cada hábitat y las compartidas entre ellos mediante un diagrama de Venn (Alducin-Chávez et al., 2022). Este análisis permitió identificar diferencias cualitativas en la composición de especies entre parques urbanos y el matorral.

Para que los estudiantes pudieran hacer estos análisis, el acompañamiento y seguimiento fue fundamental. El último análisis, el de la composición de especies, lo realizó JZP para complementar los que llevaron a cabo los alumnos.

Resultados

Aprendizajes derivados del proyecto

El aprendizaje basado en proyectos es una metodología que fomenta el desarrollo de una amplia variedad de habilidades, aptitudes, actitudes y competencias en los estudiantes (Bell, 2010). En el contexto de este proyecto, se observó que los alumnos lograron fortalecer habilidades cognitivas clave, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la investigación y la toma de decisiones. Asimismo, mejoraron sus habilidades prácticas, tales como el trabajo en equipo y la gestión del tiempo. Un aspecto relevante para destacar es que ellos también ejercitaron el trabajo autónomo, lo cual les permitió desarrollar un mayor sentido de responsabilidad e independencia.

Cada uno de estos aspectos fue evaluado mediante rúbricas que hicieron posible medir el nivel de desarrollo de las habilidades en cada estudiante. En términos generales, el promedio obtenido en la evaluación fue de 2.7 ± 0.3 (media $\pm$ desviación estándar) en una escala del 1 al 3, donde 1 indica habilidad no desarrollada, 2 en desarrollo y 3 desarrollo alcanzado. Un ejemplo de los rubros evaluados se presenta en el Anexo A. Además, en la Tabla 1 se incluyen los testimonios de aprendizaje de cada uno de los alumnos, los cuales brindan una visión más detallada de su experiencia y progreso durante el proyecto.

Tabla 1. Experiencias de estudiantes participantes en el proyecto sobre el impacto de especies exóticas invasoras en comunidades de aves en dos tipos de hábitat en Pachuca, Hidalgo

Estudiante	Experiencia
Leonardo Vera	Llevar a cabo este proyecto fue una gran experiencia para mí, muy enriquecedora y divertida; ya que gracias a esto pude aprender muchas cosas sobre las especies y sus roles en los ecosistemas; cómo realmente todas son cruciales para mantener el equilibrio, lo que puede pasar si una de estas no cumple con su rol, y cuáles son las especies invasoras que hay en mi zona. También aprendí sobre índices de diversidad y otros conceptos ecológicos; tuve la oportunidad de calcular la diversidad y abundancia de especies y ecosistemas, hacer gráficas que representan los esfuerzos de muestreo de nuestras sesiones de observación, realizar comparaciones para identificar factores que pueden influir en los índices de diversidad de un ecosistema, etc. Pero sin duda, mi parte favorita fue el trabajo

Estudiante	Experiencia
	de campo, ya que aprendí a observar correctamente y reconocer distintas especies de aves de diferentes tamaños y colores, desde un gorrión doméstico y un zanate, hasta un águila cola roja y un colibrí magnífico.
María Galindo	Para mí el haber realizado este proyecto representó explorar una parte nueva de la naturaleza y especialmente de las especies que habitan en nuestro ecosistema. Todas las etapas del trabajo me dejaron una enseñanza que estoy segura se quedarán conmigo toda la vida, por ejemplo: en las diversas salidas que realizamos aprendimos a realizar diarios de campo y, más importante, a detectar ciertas especies de aves, según sus características corporales o por sus distintivos cantos o silbidos. Al concluir el proyecto me di cuenta de lo mucho que disfruté todas las etapas de investigación, aprendizaje y comprensión; sin duda me demostró que con empeño y dedicación puedes concluir un resultado realmente impactante y satisfactorio que te ayudará a ti y a tu comunidad a crear conciencia sobre algún tema, en este caso las especies invasoras en nuestro entorno.
Patricio Pérez	Aprendí a identificar aves mediante guías de campo, sus cantos y las características de cada individuo. También entendí el papel crucial que cada especie desempeña en el ecosistema, desde la dispersión de semillas hasta el control de insectos. La recolección y análisis de datos me permitieron ver de manera gráfica el impacto negativo de las especies invasoras sobre las nativas. Este proyecto me enseñó la importancia del cuidado adecuado de los ecosistemas. Comprendí que la introducción descontrolada de especies exóticas puede alterar el equilibrio natural y generar consecuencias perjudiciales para toda la fauna de las zonas urbanas. Mi proyecto también fortaleció mi compromiso con el cuidado ambiental y me ayudó a valorar profundamente la biodiversidad y la necesidad de protegerla para el futuro.

Fuente: Elaboración propia.

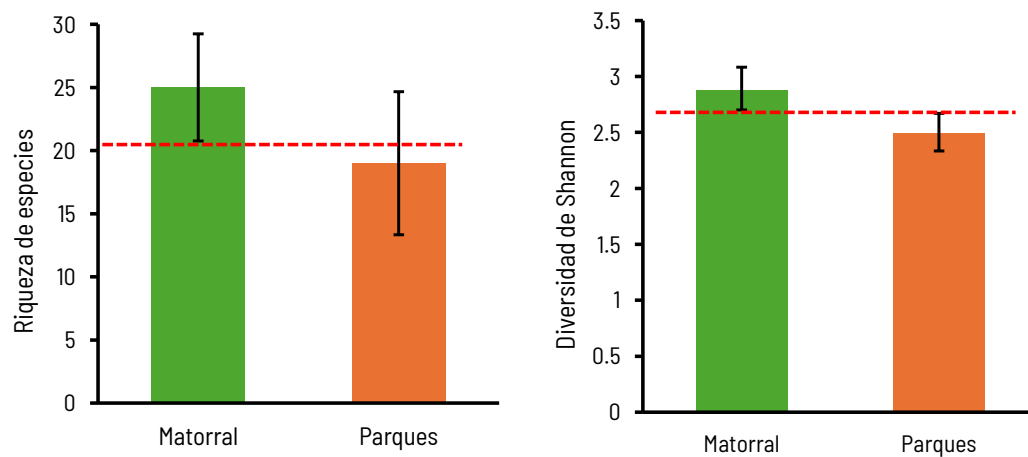
Análisis de las comunidades de aves

El esfuerzo de muestreo mostró que se alcanzó una completitud del inventario superior al 85 % en casi todos los sitios de estudio, excepto en el arboreto, donde se obtuvo un 74 %. En total, se registraron 30 especies de aves, de las cuales 4 son exóticas

invasoras: paloma turca de collar (*Streptopelia decaocto*), paloma doméstica (*Columba livia*), zanate mayor (*Quiscalus mexicanus*) y gorrión doméstico (*Passer domesticus*), todas observadas únicamente en los parques urbanos.

En los parques se registraron 19 especies de aves, mientras que en el matorral se encontraron 25 especies. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la riqueza de especies entre los dos hábitats. Por otro lado, la diversidad de aves fue significativamente más alta en el matorral, aunque esta diferencia fue mínima (Figura 2).

Figura 2. Comparación de la riqueza de especies y la diversidad de comunidades de aves en matorral y parques urbanos de la ciudad de Pachuca, Hidalgo

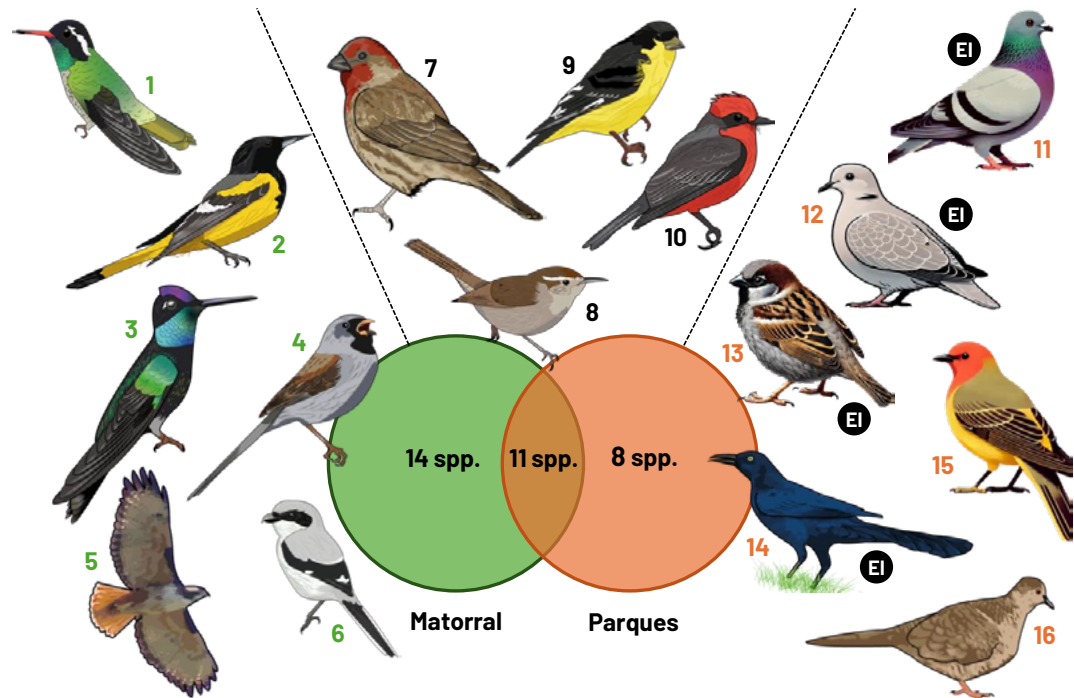


Nota: Las líneas de error representan los intervalos de confianza al 95 %. La línea roja punteada se utiliza como referencia para comparar los intervalos de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Se encontraron distinciones en la composición de especies entre los hábitats. El matorral albergó 14 especies exclusivas, mientras que los parques solo 8; 4 de ellas son especies exóticas invasoras. Además, se detectaron 11 especies compartidas entre ambos hábitats. Esto sugiere un posible efecto de las especies exóticas invasoras sobre la composición de la avifauna en los parques. Específicamente, su presencia podría estar relacionada con la ausencia de varias especies nativas que aún persisten en el matorral, un hábitat libre de especies de aves invasoras (Figura 3). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que la urbanización alrededor de los parques también influya en la ausencia de las especies exclusivas que se registraron el matorral.

Figura 3. Diagrama de Venn para analizar la composición de especies de aves de dos tipos de hábitat en la ciudad de Pachuca, Hidalgo



Nota: Se muestran ilustraciones de algunas de las especies de aves exclusivas del matorral (números verdes), exclusivas de los parques (números naranjas) y las especies presentes en ambos sitios (números negros). 1) Zafiro orejas blancas (*Basilinna leucotis*), 2) calandria tunera (*Icterus parisorum*), 3) colibrí magnífico (*Eugenes fulgens*), 4) gorrión barba negra (*Spizella atrogularis*), 5) aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), 6) verdugo americano (*Lanius ludovicianus*), 7) pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*), 8) saltapared cola larga (*Thryomanes bewickii*), 9) jilguero dominico (*Spinus psaltria*), 10) papamoscas cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*), 11) paloma doméstica (*Columba livia*), 12) paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*), 13) gorrión doméstico (*Passer domesticus*), 14) zanate mayor (*Quiscalus mexicanus*), 15) piranga capucha roja (*Piranga ludoviciana*), 16) tortolita cola larga (*Columbina inca*). Las especies exóticas invasoras se señalan con las iniciales EI.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

La implementación de proyectos académicos, especialmente en ciencias, ofrece una oportunidad valiosa para desarrollar en los estudiantes los siete saberes esenciales para su preparación futura (Morin, 1999). En ese contexto, el proyecto sobre especies exóticas invasoras permitió a los alumnos identificar y corregir sus propios errores en el proceso de construcción del conocimiento, promoviendo una comprensión crítica [Saber I: *Las cegueras del conocimiento: el error y la ilusión* (1999)].

Este estudio generó un conocimiento pertinente, dado que se trató de un tema contextualizado y complejo, lo que alentó a los escolares a analizar fenómenos desde una perspectiva integral [Saber II: *Los principios de un conocimiento pertinente* (1999)]. Además, al abordar una cuestión ecológica, los alumnos comprendieron que forman parte de un sistema interconectado: nuestro planeta. Esto les hizo posible reflexionar respecto a cómo nuestras decisiones impactan el equilibrio ecológico [Saber III: *Enseñar la condición humana* (1999)].

En el marco de la sexta extinción masiva de especies, el proyecto acercó a los aprendientes a la urgencia de la acción ambiental, dotando de mayor significado a sus aprendizajes [Saber IV: *Enseñar la identidad terrenal* (1999)]. Además, desarrollaron habilidades fundamentales para enfrentar la incertidumbre, ya que tuvieron que resolver problemas y adaptarse a situaciones nuevas (Saber V: *Enfrentar las incertidumbres*). Este enfoque también fomentó el pensamiento crítico, mejorando su capacidad de analizar problemas complejos y formular argumentos fundamentados [Saber VI: *Enseñar la comprensión* (1999)].

Finalmente, los estudiantes reflexionaron acerca de la relación entre el ser humano y su entorno, promoviendo valores como la responsabilidad, el respeto y la cooperación, reforzando así la dimensión ética del aprendizaje [Saber VII: *La ética del género humano* (1999)]. Estos proyectos son esenciales para preparar a los alumnos, pero deben ser bien estructurados y considerar los siete saberes de Morin (1999), para evitar la *proyectitis* que solo fomenta la realización de proyectos sin relevancia educativa. Es crucial que los científicos se involucren como asesores en centros de educación básica, y que los docentes se capaciten en la elaboración de proyectos y se acerquen al método científico.

En cuanto a las especies exóticas invasoras, su presencia parece afectar negativamente la diversidad, estructura y composición de las comunidades de aves, principalmente debido a la competencia por recursos, la transmisión de enfermedades y la depredación. Las especies exóticas invasoras han sido introducidas por actividades humanas, como el caso de la paloma doméstica y el gorrión doméstico (Lowther y Cink, 2020; Lowther y Johnston, 2020), que fueron liberados intencionalmente, o la paloma turca de collar, que escapó cuando era una mascota cautiva (Romagosa y Mlodinow, 2022).

Estas especies pueden tener repercusiones no solamente ecológicas, sino también sanitarias y económicas. La paloma doméstica, por ejemplo, es un reservorio de virus, bacterias, hongos y parásitos que pueden afectar tanto a humanos como a animales domésticos, transmitiendo enfermedades como la histoplasmosis, la salmonelosis o la criptococosis (Olalla et al., 2009). Además, el control de especies invasoras es una actividad muy costosa, por ejemplo, en Estados Unidos cuesta cerca de 140 mil millones de dólares al año, lo que representa siete veces el presupuesto de

la NASA (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2020; Hudgins et al., 2023). A escala global, el panorama no es distinto, pues el manejo de especies exóticas invasoras conlleva pérdidas económicas superiores a los 100 millones de dólares en otros continentes (Hudgins et al., 2023).

Una de las soluciones propuestas es la regulación del tráfico de animales y evitar la adquisición de mascotas exóticas (Li et al., 2023). Afortunadamente, en México, la CONABIO ha desarrollado un programa de educación ambiental sobre especies exóticas invasoras, accesible a través de su portal en línea [<https://paismaravillas.mx/index.html>]. También han creado una lista con información sobre estas especies, lo que facilita su identificación y contribuye a tomar mejores decisiones para evitar su dispersión [<https://enciclovida.mx/exoticas-invasoras>]

Este estudio evidenció el impacto de las especies invasoras en las aves nativas y demostró la utilidad de los proyectos académicos en la formación de los estudiantes. Mediante la observación y el análisis de datos, los jóvenes adquirieron conocimientos sobre ecología y biodiversidad, al tiempo que desarrollaron habilidades científicas y de trabajo en equipo.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el estudio a otras regiones y fomentar la colaboración con instituciones de conservación y científicos. También es esencial involucrar a la comunidad en las estrategias de mitigación del impacto de las especies invasoras, promoviendo la educación ambiental y el monitoreo ciudadano.

El aprendizaje basado en proyectos debe ser considerado como una estrategia clave en la educación secundaria, ya que permite a los estudiantes aplicar el conocimiento en situaciones reales, desarrollar habilidades analíticas y fomentar una actitud proactiva hacia los problemas ambientales. La implementación de este tipo de proyectos podría contribuir de manera significativa a la formación de ciudadanos más conscientes y comprometidos con la conservación del medio ambiente. ^{SC}

Referencias

Agradecimientos

Al Colegio Montessori Arboledas, en particular a la directora Jaquelina Santana, por abrirnos las puertas para desarrollar este proyecto en colaboración con sus alumnos y docentes. A la profesora Isabel Carbajal por su apoyo en la logística y la información acerca del proyecto integrador y de ciencias. A Alfredo, personal de apoyo del colegio, por los servicios de transporte a los sitios de estudio. Al SECIHTI por la beca de estancia postdoctoral otorgada a JZP. A los dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios y observaciones.

- Alducin-Chávez, G. D., Moreno, C. E., y Rojas-Soto, O. (2022). Bird diversity along a gradient of tropical forest loss due to agriculture in central Veracruz, Mexico. *Tropical Ecology*, 63, 229-238. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00205-x>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., y Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45-67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- Chao, A., Ma, K. H., y Hsieh, T. C. (2016). *iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) online: software for interpolation and extrapolation of species diversity*. [Software] http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020, 5 de mayo). *¿Qué impactos provocan las especies invasoras?* [Video]. YouTube <https://youtu.be/n5hKKWWkCuw>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2023). *Información sobre Especies Invasoras en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras>
- Early, R., Bradley, B. A., Dukes, J. S., Lawler, J. J., Olden, J. D., Blumenthal, D. M., Gonzalez, P., Grosholz, E. D., Ibáñez, I., Miller, L. P., Sorte, C. J. B., y Tatem, A. J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, 7, 12485. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Egerton, F. N. (2013). History of ecological sciences, part 47: Ernst Haeckel's Ecology. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 94(3), 222-244. <https://doi.org/10.1890/0012-9623-94.3.222>
- Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanische Begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*. (Vol. 1). Georg Reimer.

- Hudgins, E. J., Cuthbert, R. N., Haubrock, P. J., Taylor, N. G., Kourantidou, M., Nguyen, D., Bang, Alok., Turbelin, A. J., Moodley, D., Briski, E., Kotronaki, S. G., y Courchamp, F. (2023). Unevenly distributed biological invasion costs among origin and recipient regions. *Nature Sustainability*, 6, 1113-1124. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01124-6>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Li, Y., Blackburn, T. M., Luo, Z., Song, T., Watters, F., Li, W., Deng, T., Luo, Z., Li, Y., Du, J., Niu, M., Zhang, J., Zhang, J., Yang, J., y Wang, S. (2023). Quantifying global colonization pressures of alien vertebrates from wildlife trade. *Nature Communications*, 14, 7914. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43754-6>
- Lowther, P. E., y Cink, C. L. (2020). House Sparrow (*Passer domesticus*), version 1.0. En S. M. Billerman (Ed.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.houspa.01>
- Lowther, P. E., y Johnston R. F. (2020). Rock Pigeon (*Columba livia*), version 1.0. En S. M. Billerman (Ed.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.rocpig.01>
- Montessori, M. (1948). *De la infancia a la adolescencia*. En Montessori-Pierson Publishing Company (Ed.), Title II (Vol. 12). Montessori-Pierson Publishing Company.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Olalla, A., Ruiz, G., Ruvalcaba, I., y Mendoza, R. (2009). Palomas, especies invasoras. *Biodiversitas*, 82, 7-10
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/es/goals>
- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H. E., Seebens, H., y Kleunen, M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>

- Romagosa, C. M., y Mlodinow, S. G. (2022). Eurasian Collared-Dove (*Streptopelia decaocto*), version 1.1. En Pyle, P., Rodewald, P. G., y Billerman, S. M. (Eds.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.eucdov.01.1>
- Sánchez, M. I., Anadón, J. D., y Anadón, A. (2023). The threat of invasive species to IUCN-listed critically endangered species: A systematic review. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01476. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01476>
- Secretaría de Educación Pública. (2019). *La Nueva Escuela Mexicana: principios y orientaciones pedagógicas*.
- Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Grapow, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., ... Essl, F. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>

Anexo A. Ejemplo de los rubros que se evalúan al concluir el proyecto académico,
(incluye competencias y habilidades)

Cada competencia cuenta con indicadores específicos que permiten una evaluación objetiva. Los rubros se califican en una escala del 1 al 3: 1 indica que la habilidad no ha sido desarrollada, 2 que está en proceso de desarrollo, y 3 que ha sido plenamente desarrollada.

Criterio	Rubro
Competencias	Creatividad e innovación
	Pensamiento crítico
	Resolución de problemas
	Aprender a aprender
	Responsabilidad personal y social
	Ciudadanía local y global
	Apropiación de las tecnologías digitales
	Manejo de la información
	Comunicación
	Destrezas asociadas a la vida
	Trabajo en equipo y colaboración
Hábitos de trabajo y estudio	Toma de notas
	Orden y limpieza
	Atención y concentración
	Cumplimiento

Criterio	Rubro
Pensamiento y habilidades científicas	Observación
	Descripción
	Indagación
	Investigación
	Formulación de hipótesis
	Experimentación
	Demostración
	Comprensión y aplicación de fórmulas
Cualidades del carácter	Iniciativa
	Adaptabilidad
	Persistencia
	Liderazgo
	Curiosidad
Desarrollo de funciones ejecutivas	Activación
	Foco
	Esfuerzo
	Emoción
	Memoria
	Acción
Aprendizaje autónomo	Motivación
	Autoconcepto
	Autoeficacia
	Conocimientos y experiencias previas
	Estrategias
	Tiempo