



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS**

DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

**EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL DE LOS
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE SISTEMAS FORESTALES
PERIURBANOS.**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

PRESENTA

LIBORIO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

Chapingo, México; Diciembre 2023



Tesis realizada por **Liborio González Hernández**, bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR:



DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

ASESOR:



DR. DAVID CRISTÓBAL ACEVEDO

ASESOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

LECTOR EXTERNO:



DR. CESAR BOTELLO AGUILLÓN

Chapingo, Texcoco, Estado de México, Diciembre 2023.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
DATOS BIOGRÁFICOS.....	VII
RESUMEN GENERAL	IX
GENERAL ABSTRACT	X
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS	8
HIPÓTESIS	9
PRESENTACIÓN.....	10
Capítulo 2: REVISIÓN DE LITERATURA; ARTICULO 1	12
INTRODUCCIÓN	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
RESULTADOS	28
DISCUSIÓN.....	45
CONCLUSIONES	47
REFERENCIASS BIBLIOGRAFICAS.....	49
CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 2:	72
INTRODUCCIÓN	74
OBJETIVOS	76

MATERIALES Y MÉTODOS.....	76
RESULTADOS	82
DISCUSIÓN.....	91
CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS SOCIAL.....	105
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES	121
BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentrado de estudios analizados sobre evaluaciones económicas de servicios periurbanos	29
Tabla 2. Análisis de los artículos estudiados	42
Tabla 3. Los valores de importancia (VI)	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eliminación anual de contaminación de los cuatro sistemas periurbanos evaluados	83
Figura 2. Comportamiento de cuatro sistemas periurbanos en la eliminación de contaminación en el año 2022	84
Figura 3. Valoración económica de eliminación de contaminantes en el año 2022	85
Figura 4. Almacén y valor de carbono por especie dominante presente en cuatro sistemas periurbanos	86
Figura 5. Comparación entre almacén y secuestro de carbono para los cuatro sistemas periurbanos	87
Figura 6. Secuestro bruto y valor de carbono por especie presente en cuatro sistemas periurbanos	88
Figura 7. Producción de oxígeno y secuestro de carbono por especie presente en cuatro sistemas periurbanos	89
Figura 8. Ecurrimiento evitado y valor para las especies con mayor impacto general en el escurrimiento de los cuatro sistemas periurbanos	90

DEDICATORIA

A Dios y a mi amada familia;

Hoy celebro un logro que no es solo mío, sino también de todos ustedes. Concluyo mi doctorado, un camino largo y desafiante, pero que no hubiera podido transitar sin su incondicional apoyo y amor.

A toda mi familia, cada paso en este camino de aprendizaje y crecimiento ha sido posible gracias a ustedes. Su amor, apoyo y fe inquebrantable han sido la luz que me ha guiado. Este logro no es solo mío, sino nuestro. Dedico con todo mi corazón este triunfo a ustedes, la esencia de mi fortaleza y mi mayor inspiración.

A mis padres, gracias por ser mi roca y mi refugio, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, por sus sacrificios y su constante apoyo. Su fe en mi capacidad para alcanzar este sueño ha sido el combustible que ha alimentado mi perseverancia.

A mis hermanos, gracias por su paciencia y comprensión, por las risas que aligeraron los momentos más duros, por ser mi inspiración y recordarme siempre el valor de la familia.

Este doctorado no es solo un título, es el resultado de años de trabajo, de lucha y de constancia, pero también de amor, de apoyo y de fe. Ustedes son parte integral de este logro. Cada página escrita, cada experimento realizado, cada obstáculo superado, lleva impreso el sello de su amor y apoyo

Hoy celebro con alegría y gratitud, porque sé que este logro es tan mío como suyo. Gracias por caminar a mi lado, por creer en mí y por ayudarme a convertir mis sueños en realidad. Esta dedicatoria es para ustedes, mi querida familia, porque sin ustedes, este viaje no hubiera sido posible.

Con todo mi amor y gratitud,

Liborio González Hernández

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Económico Administrativa por permitirme una vez más ser parte de esta gran institución, por llenarme de conocimientos, experiencias y más que nada por el amor que como estudiantes desarrollamos.

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el financiamiento proporcionado durante mis estudios de doctorado.

Al Dr. José Luis Romo Lozano, por su dedicación, experiencia y guía en el camino de la investigación, por esa voluntad de enseñanza y trabajo, por cada una de las enseñanzas que me brindo y su apoyo incondicional.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo, por su generosidad al brindarme la oportunidad formarme bajo su dedicación y empeño, que, con su amistad y enseñanza, guiaron mi camino.

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, por su presencia, aportes, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación, la voluntad de trabajo y la disposición de cada vez sumar conocimiento a mí persona.

Al Dr. Isidro Villegas Romero†, Por ser una persona que marco mi vida, por permitirme ser su amigo, sé que hubiera querido ver este trabajo terminado, donde quiera que este, es en su honor.

A la Coordinación del Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola. Al Dr. Juan Hernández, al Dr. Ramon Valdivia, por la dedicación y apoyo, a “Chayito” por la dedicación, servicio y amistad. A todos mis profesores del Doctorado, siempre agradecido de su dedicación.

A mis amigos y compañeros, por esos momentos y vivencias juntos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Liborio González Hernández

Fecha de nacimiento: 28 de abril de 1990

Lugar de nacimiento: Chignahuapan Puebla

No. cartilla militar: D-3265268

CURP: GOHL900428HPLNRB04

Profesión: Ingeniero Forestal

Cedula profesional: 11138935

Maestría en ciencias en ciencias forestales

Cedula Profesional:

Desarrollo académico

Liborio González Hernández nació el 28 de abril de 1990, Originario de Ayotla, Zacatlán, Puebla y nacido en el pintoresco municipio de Chignahuapan, Puebla. Desde joven, Liborio mostró un profundo interés por la naturaleza y los bosques que rodeaban su lugar de origen. Esa pasión lo llevó a seguir una carrera en Ingeniería Forestal, donde se capacitó para entender, conservar y gestionar de manera sostenible los recursos forestales.

Tras obtener su título de Ingeniero Forestal, en la Universidad Autónoma Chapingo no se detuvo en su anhelo de conocimiento. Decidió especializarse aún más en el ámbito y cursó una Maestría en Ciencias Forestales. Este grado adicional le permitió profundizar

en técnicas y métodos de investigación avanzados, así como adquirir una perspectiva más crítica y analítica sobre los desafíos y oportunidades que enfrenta el sector forestal.

Con los años, Liborio ha trabajado en diferentes proyectos forestales, siempre con el objetivo de asegurar que las prácticas sean sostenibles y benéficas tanto para el medio ambiente como para las comunidades que dependen de estos recursos. Su formación y experiencia lo han posicionado como una figura clave en el ámbito forestal de México.

Más allá de su vida profesional, es conocido por su compromiso con la comunidad y su pasión por compartir conocimientos. A través de talleres, charlas y capacitaciones, busca empoderar a otros para que también se conviertan en guardianes de nuestros bosques y selvas.

En resumen, Liborio González Hernández no solo ha dedicado su vida al estudio y conservación de los recursos forestales, sino que también ha demostrado un inquebrantable compromiso con su comunidad y su país. Su legado en el sector forestal seguirá inspirando a generaciones futuras a cuidar y valorar nuestro patrimonio natural.

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SOCIAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE SISTEMAS FORESTALES PERIURBANOS¹

Tesis de Doctorado en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo

Los sistemas forestales periurbanos son áreas boscosas ubicadas en las afueras de las ciudades y proporcionan diversos servicios ecosistémicos, incluyendo regulación climática, protección del suelo y del agua, biodiversidad y recreación. La evaluación ambiental, económica y social de estos servicios es esencial para comprender su valor y promover su conservación y uso sostenible. La evaluación ambiental implica analizar el estado de los sistemas forestales periurbanos y los procesos ecológicos que ocurren en ellos, para comprender cómo estos afectan los servicios ecosistémicos que brindan. La evaluación económica se centra en la valoración monetaria de los servicios ecosistémicos, lo que permite comparar su valor con otros bienes y servicios y tomar decisiones informadas sobre su gestión. La evaluación social considera las necesidades y preferencias de las comunidades locales y los diferentes grupos de interés, lo que puede ayudar a identificar oportunidades de participación y mejora de la gobernanza.

Palabras clave: Sostenibilidad, Valoración de Ecosistemas, Impacto Ambiental, Economía Verde, Justicia Ambiental, Ecosistemas Urbanos

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Liborio González Hernández
Director de tesis: Dr. José Luis Romo Lozano

GENERAL ABSTRACT

ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND SOCIAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES OF PERI-URBAN FOREST SYSTEMS¹

Peri-urban Forest systems are woodland areas located on the outskirts of cities and provide various ecosystem services, including climate regulation, soil and water protection, biodiversity, and recreation. The environmental, economic, and social evaluation of these services is essential to understanding their value and promoting their conservation and sustainable use. Environmental evaluation involves analyzing the state of the peri-urban forest systems and the ecological processes that occur within them, to understand how these affect the ecosystem services they provide. The economic evaluation focuses on the monetary valuation of ecosystem services, which allows their value to be compared with other goods and services and to make informed decisions about their management. The social evaluation considers the needs and preferences of local communities and different interest groups, which can help identify opportunities for participation and improvements in governance.

Keyword: Sustainability, Ecosystem Valuation, Environmental Impact, Green Economy, Environmental Justice, Urban Ecosystems

¹Ph.D. Thesis in Agricultural Economics, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Liborio González Hernández
Thesis director: Dr. José Luis Romo Lozano

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

El efecto de las actividades humanas se ve reflejado en la capacidad de los ecosistemas de proporcionar servicios ecosistémicos, más aun tratándose de ecosistemas periurbanos degradados (Palma, de la Barrera & López, 2019), siendo imposible no reconocer dichas transformaciones del ecosistema a toda escala., en las ciudades se contempla el mayor deterioro e injerencia en términos socio-culturales, económicos, ambientales, políticos y tecnológicos, con dinámicas dañinas al medio ambiente periurbano (McDonald & Marcotullio, 2011).

Los procesos de urbanización cada vez más acelerados, reducen considerablemente los recursos naturales, los componentes físicos como topografía y vegetación sufren un detrimento importante que conlleva una reducción de servicios del asentamiento urbano que circundan, provocando con ello una preocupación a nivel nacional e internacional por los riesgos de llegar al punto de no retorno en los servicios que los bosques urbanos y periurbanos otorgan (Abad-Auquilla, 2020).

Preservar y promover los bosques urbanos y periurbanos, así como mantener de forma sostenible cada uno de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen es de vital importancia para garantizar el bienestar humano, considerando el bienestar que la naturaleza urbana y periurbana ofrece a la salud de los residentes urbanos (Cueva *et al.*, 2022).

Los bosques periurbanos e incluso los urbanos están definidos por FAO como aquellas redes o sistemas complejos que comprenden todos aquellos grupos de árboles que se

encuentran ubicados en las áreas circundantes de una población urbana, incluyendo incluso aquellos arboles de jardines o lugares abandonados (Salbitano *et al.*, 2016).

De acuerdo con la Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) se distingue una agrupación básica en cuatro categorías principales: Provisión, Regulación, apoyo y Servicios culturales., la evaluación de estos servicios brindados por los bosques periurbanos atrae el interés de muchos beneficiarios, así como de los tomadores de decisiones en materia ambiental y legislación para la mejora de los servicios (Viglizzo *et al.*, 2012).

Los bosques periurbanos y los servicios ecosistémicos que brindan a las sociedades urbanas son vitales para la preservación de todos aquellos instrumentos ecológicos, económicos y sociales que puedan desprender beneficios inmediatos a la mejora en la calidad de vida de las personas a las cuales circundan y limitan (Bolund & Hunhammar, 1999; Cueva *et al.*, 2022).

La percepción de la correlación existente entre el asentamiento urbano y los bosques periurbanos tiene percepciones diferentes debido al punto en que es abordada esta relación, ya que influyen demasiado la manera en que sea observado, las normas sociales aplicadas y las experiencias obtenidas por dicha relación (Howe *et al.*, 2014). Comprender como es que los bosques periurbanos juegan el papel de proveedores de servicios ecosistémicos ayuda en la disminución de los impactos de la intervención humana desde un punto de vista del entorno urbano, siendo este, fundamental en la sostenibilidad y desarrollo de las sociedades (Briner *et al.*, 2013), ya que, si se reconoce la relación entre los servicios ecosistémicos generados y la sociedad, se podría hablar

de compensaciones y reducción de cambios drásticos en las estructuras de provisión de los servicios ecosistémicos (Bennett *et al.*, 2009; Cueva *et al.*, 2022).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia de hacer una evaluación de los servicios ecosistémicos se puede observar en la diversidad de metodologías y descripciones echas en diversos estudios (Rotzer *et al.*, 2019), desde aquellas enfocadas a establecimiento de un valor económico de los servicios ecosistémicos (Troy & Wilson, 2006; Kim, 2016; Martínez-Trinidad *et al.*, 2021) o aquellas enfocadas en los impulsores socioeconómicos que fortalecen la correlación urbanidad-economía y medio ambiente (Gong *et al.*, 2013).

La combinación del cambio climático y la urbanización puede reducir la salud de los árboles e impactar el suministro de los servicios ecosistémicos (Zhang & Brack, 2021). Por lo tanto, es muy importante tener en cuenta la salud de los árboles cuando se calculan los servicios ecosistémicos de los bosques periurbanos (Nowak & Crane, 2000). Liu & Russo (2021) sugieren que la cuantificación y las compensaciones que se generan a partir de los servicios ecosistémicos son necesarias porque pueden ayudar a la administración de la ciudad y reorganizar de manera sostenible los componentes de los espacios verdes urbanos para promover sinergias entre los servicios ecosistémicos.

El problema de la evaluación Ambiental, Económica y Social de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano radica en cómo medir, cuantificar y valorar adecuadamente los múltiples beneficios que los árboles y áreas verdes proporcionan en zonas periurbanas (Bolund & Hunhammar, 1999). Estos servicios ecosistémicos incluyen, entre otros, la regulación del clima, la captura de carbono, la purificación del aire, la

protección del suelo y la conservación de la biodiversidad. La medición y valoración de estos servicios es fundamental para garantizar una gestión sostenible y la toma de decisiones informadas en la planificación urbana y periurbana (Pataki *et al.*, 2011)

El planteamiento del problema se centra en los siguientes aspectos:

- Identificación y cuantificación de los servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado periurbano, incluyendo tanto los beneficios directos como indirectos (Liu & Russo, 2021).
- Desarrollo y aplicación de metodologías y herramientas de evaluación y valoración de los servicios ecosistémicos en áreas periurbanas, incluyendo enfoques económicos, sociales y ambientales (Viglizzo *et al.*, 2012).
- Identificación de factores que influyen en la provisión y demanda de servicios ecosistémicos, como el crecimiento urbano, la fragmentación del paisaje, el cambio climático y las presiones socioeconómicas (Briner *et al.*, 2013).
- Análisis de las interacciones entre los servicios ecosistémicos, considerando posibles sinergias y compensaciones entre ellos, así como los posibles deservicios o efectos negativos asociados (Escobedo, Kroeger & Wagner, 2011).
- Integración de la evaluación de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones y la planificación urbana y periurbana, promoviendo soluciones basadas en la naturaleza y enfoques adaptativos y resilientes para la gestión del arbolado periurbano (Jim & Chen, 2009).

- Promover la concienciación y la participación de los actores locales, como los residentes, las organizaciones no gubernamentales y los responsables políticos, en la valoración y conservación de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano (Konijnendijk *et al.*, 2006).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio ambiental, económico y social de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano busca analizar y evaluar los beneficios que los árboles y bosques en áreas periurbanas brindan al entorno y a las comunidades humanas cercanas. Algunas posibles preguntas de investigación podrían incluir:

- ¿Cuáles son los principales servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado periurbano en la región de estudio?
- ¿Cómo influyen los diferentes tipos de arbolado periurbano en la calidad del aire, la biodiversidad y la regulación del clima local?
- ¿Cuál es el valor económico de los servicios ecosistémicos provistos por el arbolado periurbano?
- ¿Cómo impacta el arbolado periurbano en la salud física y mental de las comunidades cercanas?
- ¿Cuál es la percepción y actitud de la población local hacia el arbolado periurbano y sus servicios ecosistémicos?

- ¿De qué manera contribuye el arbolado periurbano al bienestar social ya la equidad en la distribución de los servicios ecosistémicos?
- ¿Cuáles son las prácticas de manejo y conservación del arbolado periurbano en la región de estudio y cómo influyen en la provisión de servicios ecosistémicos?
- ¿Qué políticas y estrategias podrían implementarse para mejorar la gestión del arbolado periurbano y maximizar los beneficios de sus servicios ecosistémicos?
- ¿Cuál es el papel de los actores sociales, como organizaciones no gubernamentales y el sector privado, en la conservación y manejo del arbolado periurbano?
- ¿Cuáles son las amenazas y desafíos actuales y futuros para la conservación y la provisión de servicios ecosistémicos del arbolado periurbano en la región de estudio?

Responder a estas preguntas de investigación permitirá entender mejor los múltiples beneficios que el arbolado periurbano aporta a la sociedad y al medio ambiente, y ayudará a desarrollar estrategias y políticas adecuadas para su conservación y manejo.

JUSTIFICACIÓN

La justificación del análisis ambiental, económico y social de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano radica en la necesidad de comprender y valorar los múltiples beneficios que estos espacios verdes proporcionan a las comunidades, al medio ambiente y a la economía. El arbolado periurbano se refiere a las áreas de vegetación y árboles ubicadas en la periferia de las zonas urbanas. Estos servicios ecosistémicos son fundamentales para el bienestar humano y la sostenibilidad de las ciudades. Algunas de las justificaciones clave incluyen:

Ambiental: El análisis ambiental ayuda a identificar y cuantificar los beneficios ecológicos proporcionados por el arbolado periurbano, como la mejora de la calidad del aire, la reducción de la contaminación acústica, la conservación del agua y la protección del suelo. Además, estos espacios verdes también contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático mediante la captura y almacenamiento de carbono.

Económico: El análisis económico proporciona una base para asignar un valor monetario a los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano. Esto puede incluir la contribución al ahorro energético (por ejemplo, mediante la reducción del uso de aire acondicionado en verano), el aumento del valor de las propiedades, el fomento del turismo y la creación de empleo en sectores relacionados con la gestión y conservación de estos espacios.

Social: El análisis social resalta la importancia del arbolado periurbano en la promoción de la salud y el bienestar de la población. Los espacios verdes ofrecen oportunidades para la recreación y el ejercicio al aire libre, el contacto con la naturaleza y la promoción de la salud mental. Además, estos espacios pueden mejorar la cohesión social y la calidad de vida al ofrecer lugares para la interacción social y la participación comunitaria.

El análisis ambiental, económico y social de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano justifica la importancia de conservar y gestionar estos espacios de manera sostenible. Este enfoque integral proporciona a los tomadores de decisiones, planificadores urbanos y otros actores clave una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el uso del suelo, la asignación de recursos y la implementación de políticas públicas que fomenten la preservación y el desarrollo sostenible de las áreas periurbanas

OBJETIVOS

Se tiene como objetivo principal aumentar el conocimiento y la comprensión sobre la importancia y el valor de los árboles en áreas periurbanas. Esto se logra a través de una combinación de herramientas de análisis y evaluación, que incluyen el software i-Tree Eco y el enfoque de evaluación contingente.

OBJETIVOS GENERALES:

- Cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado periurbano, como la captura de carbono, la reducción de la contaminación del aire, la mitigación de la temperatura y la conservación del agua.
- Promover la toma de decisiones informadas y la planificación urbana sostenible, destacando la importancia de conservar y gestionar el arbolado periurbano de manera adecuada.
- Fomentar la concienciación pública y la apreciación por los servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado periurbano, impulsando la participación ciudadana en la conservación y gestión de estos recursos naturales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Utilizar el software i-Tree Eco para analizar y modelar la estructura, función y valor de los árboles en áreas periurbanas, estimando los beneficios y costos asociados.
- Aplicar la evaluación contingente como método económico para estimar el valor monetario que los individuos atribuyen a los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano.

- Identificar áreas prioritarias para la conservación y la restauración del arbolado periurbano, basándose en los resultados del análisis i-Tree Eco y la evaluación contingente.
- Evaluar las políticas y estrategias existentes de manejo del arbolado periurbano y proponer mejoras en función de los resultados del estudio.
- Facilitar la colaboración entre las partes interesadas, como gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales, comunidades y expertos en la materia, para diseñar e implementar acciones de conservación y manejo del arbolado periurbano.

Este estudio busca integrar el conocimiento científico y la percepción pública en una herramienta útil para la toma de decisiones y la promoción de la conservación y gestión sostenible del arbolado periurbano y sus servicios ecosistémicos.

HIPÓTESIS

"La conservación y gestión adecuada de los bosques periurbanos generan beneficios ambientales, económicos y sociales significativos para las comunidades locales y la sociedad en general."

Esta hipótesis se basa en la premisa de que los bosques periurbanos proveen servicios ecosistémicos esenciales que tienen un impacto directo e indirecto en los aspectos ambientales, económicos y sociales de las áreas urbanas y sus alrededores. Al analizar y valorar estos servicios ecosistémicos, se espera demostrar que la conservación y gestión de los bosques periurbanos son fundamentales para mantener y mejorar la calidad de vida y el bienestar de la población.

Desde el punto de vista ambiental, los bosques periurbanos pueden proporcionar servicios como la captura y almacenamiento de carbono, la reducción de la contaminación del aire, la regulación del ciclo del agua y la mitigación de las temperaturas extremas.

En el ámbito económico, los bosques periurbanos pueden generar beneficios directos, como la producción de recursos forestales (madera, frutos, etc.) y beneficios indirectos como el aumento del valor de las propiedades cercanas, el ahorro en costes de salud y la promoción del turismo.

Desde la perspectiva social, los bosques periurbanos pueden contribuir a la mejora de la salud física y mental de los habitantes, proporcionar espacios recreativos y educativos, y fomentar la cohesión y la participación comunitaria.

Al evaluar y valorar estos servicios ecosistémicos desde una perspectiva integral, se pretende destacar la importancia de los bosques periurbanos y promover su conservación y manejo sostenible como una inversión valiosa para el bienestar humano y la sostenibilidad del ecosistema.

PRESENTACIÓN

En esta investigación, se realiza la integración de enfoques ambientales, económicos y sociales para la evaluación de los servicios ecosistémicos que proporcionan los sistemas forestales periurbanos en la cuenca media del Río Chapingo. La ciudad de México es la ciudad más grande en México mientras que Texcoco es una ciudad suburbana más cercana a la estructura evaluada. La región de la cuenca media del Río Chapingo está experimentando una rápida expansión urbana y uno de los crecimientos poblacionales

más acelerados en el país, al mismo tiempo, esta región está volviendo a la vulnerabilidad de efectos de cambio climático, como sequías, olas de calor, e inundaciones.

Capítulo 2: REVISIÓN DE LITERATURA; ARTICULO 1

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL ARBOLADO PERIURBANO: REVISIÓN DE METODOLOGÍAS Y ENFOQUES ACTUALES

ECONOMIC VALUATION OF THE ECOSYSTEM SERVICES OF PERI-URBAN TREES: REVIEW OF CURRENT METHODOLOGIES AND APPROACHES

Liborio González-Hernández¹, José Luis Romo-Lozano^{1*}, David Cristóbal-Acevedo², Miguel Ángel Martínez Damian¹

¹ División de Ciencias Económico-Administrativas, ² Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México – Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: jlromo@aya.yale.edu, tel.: 595-1099-537

Resumen

El arbolado periurbano proporciona valiosos servicios ecosistémicos que contribuyen al bienestar humano y la sostenibilidad ambiental. Esta investigación tiene como objetivo analizar las metodologías y enfoques utilizados en la valoración económica de estos servicios ecosistémicos y examinar sus implicaciones en la toma de decisiones de políticas públicas y gestión de recursos naturales. Para lograr este objetivo, se revisan las metodologías de valoración directa e indirecta, como la valoración contingente, los precios hedónicos y la transferencia de beneficios. Se destaca la importancia de considerar las interacciones y compensaciones entre servicios ecosistémicos, así como la necesidad de incorporar aspectos sociales y culturales en la valoración económica. Se identifican desafíos clave y oportunidades para futuras investigaciones, incluyendo la mejora de la precisión y validez de las estimaciones de valor, la investigación de interacciones y compensaciones entre servicios ecosistémicos, la integración de aspectos sociales y culturales, y el análisis de los impactos de las políticas públicas y la gestión de recursos naturales en la provisión de servicios ecosistémicos. La valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano es esencial para informar la toma de decisiones y promover la conservación y el manejo sostenible de estos valiosos ecosistemas. Al abordar los desafíos y oportunidades identificados,

podemos trabajar juntos para asegurar un futuro más sostenible y resiliente para nuestras comunidades urbanas y periurbanas y los ecosistemas que las sustentan.

Palabras clave: Metodologías de valoración, Beneficios ambientales, Conservación, Manejo sostenible, Interacciones ecosistémicas, Aspectos sociales y culturales

Abstract

Peri-urban woodland provides valuable ecosystem services that contribute to human well-being and environmental sustainability. This research aims to analyze the methodologies and approaches used in the economic valuation of these ecosystem services and examine their implications for decision-making on public policies and natural resource management. To achieve this goal, direct and indirect valuation methodologies, such as contingent valuation, hedonic pricing, and benefit transfer, are reviewed. The importance of considering the interactions and compensations between ecosystem services is highlighted, as well as the need to incorporate social and cultural aspects in the economic valuation. Key challenges and opportunities for future research are identified, including improving the accuracy and validity of value estimates, investigating interactions and trade-offs between ecosystem services, integrating social and cultural aspects, and analyzing the impacts of public policies and the management of natural resources in the provision of ecosystem services. The economic valuation of the ecosystem services of peri-urban trees is essential to inform decision-making and promote the conservation and sustainable management of these valuable ecosystems. By addressing the identified challenges and opportunities, we can work together to ensure a more sustainable and resilient future for our urban and peri-urban communities and the ecosystems that support them.

Keywords: Valuation methodologies, Environmental benefits, Conservation, Sustainable management, Ecosystem interactions, Social and cultural aspects

INTRODUCCIÓN

El concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado a lo largo de las últimas décadas como una forma de describir y cuantificar los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas y la biodiversidad. El concepto de servicios ecosistémicos comenzó a surgir en la literatura científica en la década de 1970 y 1980. Uno de los primeros trabajos en mencionar la idea de los servicios ecosistémicos fue el estudio de Westman (1977) titulado “¿How much are nature’s services worth?”, que abordaba la importancia de asignar un valor económico a los servicios proporcionados por los ecosistemas. Sin embargo, fue en la década de 1990 cuando el concepto de servicios ecosistémicos empezó a ganar mayor reconocimiento y atención en la comunidad científica y política.

En 1997, Daily publicó "Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems", un libro que ofrecía una visión general de los servicios ecosistémicos y resaltaba la importancia de reconocer la dependencia de la sociedad humana de los ecosistemas naturales. Este trabajo de Daily fue fundamental para consolidar el concepto de servicios ecosistémicos y establecerlo como un área de investigación interdisciplinaria.

Posteriormente, Costanza *et al.* (1997) estimaron el valor económico de los servicios ecosistémicos a nivel global, lo que ayudó a resaltar su importancia en políticas públicas y toma de decisiones. El Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) evaluó el estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, analizando sus implicaciones en el bienestar humano. Finalmente, el proyecto TEEB proporcionó un marco analítico y metodológico para evaluar los valores económicos de los

servicios ecosistémicos y la biodiversidad, destacando su relevancia en la formulación de políticas y la toma de decisiones a nivel global, regional y local (Bishop *et al.*, 2010).

Desde entonces, el concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un enfoque ampliamente adoptado para evaluar el valor de los ecosistemas y la biodiversidad, y para informar la toma de decisiones en materia de conservación y gestión de recursos naturales.

La creciente urbanización y expansión de áreas urbanas y periurbanas han generado preocupaciones sobre la conservación y el manejo sostenible de los ecosistemas naturales en estos paisajes. El arbolado periurbano, que incluye bosques, parques y zonas verdes en áreas periurbanas, proporciona una serie de servicios ecosistémicos valiosos que contribuyen al bienestar humano y a la sostenibilidad ambiental (Daily, 1997; Bolund & Hunhammar, 1999; Escobedo *et al.*, 2011; Nieuwenhuijsen, 2021).

Estos servicios ecosistémicos abarcan una amplia gama de beneficios, como la regulación del clima, la purificación del aire y del agua, la prevención de la erosión del suelo, la provisión de hábitats para la biodiversidad y la mejora del bienestar físico y mental de las personas (Tzoulas *et al.*, 2007; Nowak *et al.*, 2006; Dallimer *et al.*, 2012; Zinia & McShane, 2021).

A pesar de su importancia, el arbolado periurbano a menudo enfrenta presiones y amenazas como la fragmentación del hábitat, la contaminación, la introducción de especies invasoras y el cambio climático, así como cambios en la estructura que los contiene: suelo (Fischer, Lindenmayer & Manning, 2006; Benítez *et al.*, 2012; Gaston *et al.*, 2013; Wilbanks & Fernández, 2014; Xu *et al.*, 2014).

Además, estos ecosistemas suelen ser subestimados y subvalorados en la toma de decisiones de políticas públicas y en la planificación y gestión de recursos naturales (Daily *et al.*, 2009;

Xepapadeas, 2011). En este contexto, la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano se ha vuelto cada vez más relevante como una herramienta para informar y orientar las decisiones de políticas públicas y la gestión de recursos naturales (Costanza *et al.*, 1997; De Groot *et al.*, 2002; Bishop *et al.*, 2010).

La valoración económica de los servicios ecosistémicos ha sido objeto de una creciente atención y desarrollo en las últimas décadas, tanto en el ámbito nacional como internacional (Barbier, 2012; Schröter *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2019)

Varios estudios internacionales han abordado la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano utilizando diferentes metodologías y enfoques, incluidos el método de valoración contingente (CVC), el análisis de precios hedónicos (PH) y la transferencia de beneficios (BT) (Loomis *et al.*, 2000; Tyrväinen *et al.*, 2005; Zandersen *et al.*, 2007; Semeraro *et al.*, 2020).

Estos estudios han proporcionado estimaciones de valor y evidencia empírica sobre la importancia económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano en diferentes contextos y escalas geográficas, desde países desarrollados como Estados Unidos, Canadá y países europeos (Nowak *et al.*, 2014; Troy & Wilson, 2006; Chiesura, 2004), hasta países en desarrollo como Brasil, India y China (Badola *et al.*, 2010; Brancalion *et al.*, 2014; Yang, Cao & Hou, 2023).

Sin embargo, a pesar de los avances en la investigación, la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano aún enfrenta desafíos y limitaciones. Estos incluyen la falta de consenso y uniformidad en las metodologías y enfoques de valoración, la incertidumbre y variabilidad en las estimaciones de valor, y la dificultad de integrar aspectos sociales, culturales y ecológicos en la valoración económica (Hein *et al.*, 2006; Martín-López *et al.*, 2007; Pascual *et al.*,

2010; Bateman *et al.*, 2011; Pisani *et al.*, 2021). Además, existe una brecha en la literatura en términos de estudios comparativos y síntesis que examinen los resultados y las lecciones aprendidas de la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano en diferentes contextos y escalas geográficas (Seppelt *et al.*, 2011; Eigenbrod *et al.*, 2010; Costanza *et al.*, 2014).

Ante estos desafíos y limitaciones, el objetivo de este artículo es proporcionar una revisión exhaustiva y actualizada de las metodologías y enfoques utilizados en la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano a nivel internacional, destacando sus beneficios, desafíos y oportunidades para futuras investigaciones. Para lograr este objetivo, se revisará la literatura internacional sobre la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, incluyendo estudios empíricos, teóricos y metodológicos, y se analizarán las tendencias, patrones y lecciones aprendidas en términos de metodologías de valoración, estimaciones de valor y aplicaciones en la toma de decisiones de políticas públicas y gestión de recursos naturales.

Esta revisión se basa en un análisis sistemático y riguroso de la literatura internacional sobre la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, utilizando bases de datos académicas y de investigación, como Web of Science, Scopus y Google Scholar, y criterios de selección y análisis de calidad basados en la relevancia, la actualidad y la contribución al conocimiento en el campo de estudio (Tranfield *et al.*, 2003; Seppelt *et al.*, 2011; Bateman *et al.*, 2013). La revisión incluye un total de 40 artículos actuales, que abarcan un amplio espectro de enfoques y contextos geográficos y proporcionan una base sólida y representativa para el análisis y la síntesis de la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano a nivel internacional.

Esta revisión ofrece una contribución importante y oportuna a la literatura y la investigación sobre la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, al proporcionar una síntesis y análisis sistemático y riguroso de las metodologías y enfoques utilizados a nivel internacional y al identificar y discutir los desafíos y oportunidades para futuras investigaciones en este campo. Al abordar estos desafíos y avanzar en la investigación, podemos mejorar nuestra comprensión y capacidad para conservar y gestionar de manera sostenible estos valiosos ecosistemas y los servicios que proporcionan, así como informar y orientar las decisiones de políticas públicas y la gestión de recursos naturales en áreas urbanas y periurbanas en todo el mundo (Xepapadeas, 2011; Bishop *et al.*, 2010; Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

Al enfocarnos en estudios internacionales, esta revisión también contribuye a ampliar el conocimiento y la comprensión de las diferencias y similitudes en la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano entre países y regiones, y a identificar y analizar las tendencias y patrones emergentes en términos de metodologías de valoración, estimaciones de valor y aplicaciones en la toma de decisiones de políticas públicas y gestión de recursos naturales (Seppelt *et al.*, 2011; Eigenbrod *et al.*, 2010; Costanza *et al.*, 2014).

Esta investigación también resalta la necesidad de abordar y superar los desafíos y limitaciones identificados en la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, como la falta de consenso y uniformidad en las metodologías y enfoques de valoración, la incertidumbre y variabilidad en las estimaciones de valor, y la dificultad de integrar aspectos sociales, culturales y ecológicos en la valoración económica (Hein *et al.*, 2006; Martín-López *et al.*, 2007; Pascual *et al.*, 2010; Bateman *et al.*, 2011). Abordar estos desafíos y avanzar en la investigación en este campo es crucial para mejorar la precisión, validez y aplicabilidad de la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano y para asegurar un

futuro más sostenible y resiliente para nuestras comunidades urbanas y periurbanas y los ecosistemas que las sustentan (Xepapadeas, 2011; Bishop *et al.*, 2010; Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

Metodologías de valoración económica de los servicios ecosistémicos

Métodos de valoración directa:

Valoración contingente

La valoración contingente (VC) es un enfoque basado en encuestas que busca obtener la disposición a pagar (DAP) de las personas por un cambio en la provisión de un SE (Carson & Hanemann, 2005; Cuccia, 2020). Este método ha sido ampliamente aplicado en diversos estudios de valoración del arbolado periurbano (Tyrväinen *et al.*, 2005; Zandersen *et al.*, 2007; Cilliers *et al.*, 2013; Chang *et al.*, 2017; Gómez-Baggethun *et al.*, 2016; Fu *et al.*, 2021).

La VC se basa en la premisa de que las personas tienen preferencias y percepciones sobre los SE, y están dispuestas a pagar por mantener o mejorar dichos servicios (Hanley *et al.*, 1998). Las encuestas de VC generalmente presentan a los encuestados un escenario hipotético en el cual un cambio en la provisión de un SE puede ser logrado a través de una contribución económica, y se les pregunta cuánto estarían dispuestos a pagar por dicho cambio (Bateman *et al.*, 2002).

La VC puede ser aplicada para valorar diversos servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, como la recreación y el turismo, la regulación del clima local, la purificación del aire y la conservación de la biodiversidad (Bockstael *et al.*, 2000; Nunes & van den Bergh, 2001; García-Llorente *et al.*, 2011). Además, este enfoque permite captar la percepción y las preferencias de distintos grupos de interés, como residentes, visitantes y tomadores de decisiones (Butler *et al.*, 2013).

Sin embargo, la VC también presenta algunas limitaciones y desafíos. Por ejemplo, las respuestas en las encuestas de VC pueden estar sujetas a sesgos, como el sesgo de anclaje (donde las personas basan sus respuestas en valores iniciales sugeridos), el sesgo de part-whole (donde los encuestados asignan un valor menor a un componente de un bien que al bien completo) y el sesgo estratégico (donde los encuestados manipulan sus respuestas para influir en el resultado) (Carson, 2000; Luangmany *et al.*, 2009; Brent *et al.*, 2017). Además, las estimaciones de la DAP pueden verse afectadas por la forma en que se presenta el escenario hipotético, el diseño de la encuesta y la capacidad de los encuestados para comprender y evaluar correctamente los cambios propuestos en los SE (Carson *et al.*, 2001; Asim & Petrou, 2005).

A pesar de estas limitaciones, la VC sigue siendo una herramienta útil para valorar los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, especialmente en ausencia de información de mercado o cuando otros métodos de valoración no son aplicables (Freeman *et al.*, 2014). Para mejorar la robustez y la validez de las estimaciones de la VC, es importante diseñar cuidadosamente las encuestas, realizar pruebas piloto y validar los resultados mediante la comparación con otros métodos de valoración o estudios similares (Arrow *et al.*, 1993; Peterson *et al.*, 2003; Whitehead *et al.*, 2012). Además, es crucial tener en cuenta las preferencias y percepciones de diversos grupos de interés, así como considerar las diferencias culturales, socioeconómicas y contextuales al interpretar y aplicar los resultados de la VC en la toma de decisiones sobre políticas públicas y gestión de recursos naturales (Pascual *et al.*, 2010; García-Llorente *et al.*, 2015).

Precios hedónicos

El Método de Precios Hedónicos (MPH) es una estrategia de valoración basada en el mercado, que aprovecha datos del sector inmobiliario para calcular el valor subyacente de los Servicios Ecosistémicos (SE), basado en las variaciones de los precios de las propiedades. Este método se

apoya en la premisa de que las características ambientales, como la existencia de árboles en zonas periurbanas y los servicios asociados, pueden influir en la demanda y, por ende, en los precios de las propiedades (Freeman *et al.*, 2014; Tyrväinen y Miettinen, 2000).

Varios estudios han aplicado este método para valorar los beneficios de los árboles periurbanos, como la mejora del paisaje y la calidad del aire, la reducción de ruido y la regulación del clima local (Donovan *et al.*, 2013; Pandit *et al.*, 2013; Conway *et al.*, 2010; Robinson *et al.*, 2014). Estos estudios suelen usar modelos de regresión para relacionar el precio de las propiedades con las características ambientales y no ambientales (como el tamaño, número de habitaciones, antigüedad, ubicación, calidad del aire y accesibilidad a áreas verdes) para calcular el valor subyacente de los SE de los árboles periurbanos (Bolitzer y Netusil, 2000; Cho *et al.*, 2008).

El método de precios hedónicos tiene ciertas ventajas, como la utilización de datos del mercado reales y la capacidad para valorar múltiples SE en un solo análisis (Freeman *et al.*, 2014; Palmquist, 2005). Además, este método permite identificar características de los árboles periurbanos que son especialmente valoradas por las personas, lo que puede ser útil para orientar políticas públicas y acciones de conservación y manejo (Kong *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2019).

Aun así, el MPH también presenta ciertos retos y limitaciones. En primer lugar, este método presupone que las personas están bien informadas y actúan racionalmente al tomar decisiones de compra de vivienda, lo que puede no ser siempre cierto (Freeman *et al.*, 2014; Bateman *et al.*, 2002). Además, el MPH puede ser sensible a la especificación del modelo y la selección de variables, lo que puede afectar la precisión y robustez de las estimaciones (Irwin y Bockstael, 2001; Schaafsma *et al.*, 2013). Otra limitación es que el MPH solo puede valorar los SE que afectan directamente los precios de las propiedades y puede no ser aplicable en áreas donde no hay un

mercado inmobiliario activo o en países en desarrollo donde los datos de precios de propiedades pueden ser escasos o poco confiables (Pagiola *et al.*, 2004; Berenguer *et al.*, 2018).

A pesar de estas limitaciones, el método de precios hedónicos sigue siendo una herramienta útil para valorar los servicios ecosistémicos de los árboles periurbanos, especialmente en contextos donde los datos del mercado inmobiliario están disponibles y la demanda por características ambientales es evidente. Para mejorar la robustez y la validez de las estimaciones del MPH, es importante seleccionar cuidadosamente las variables y especificar adecuadamente el modelo de regresión, así como realizar análisis de sensibilidad y validación cruzada de los resultados (Taylor, 2003; Parmeter & Pope, 2013). Además, el MPH puede complementarse con otros métodos de valoración, como la valoración contingente o la transferencia de beneficios, para proporcionar una visión más integral de la valoración económica de los servicios ecosistémicos de los árboles periurbanos (Bateman *et al.*, 2014)

Métodos de valoración indirecta:

Transferencia de beneficios

La transferencia de beneficios (TB) consiste en aplicar los resultados de un estudio de valoración realizado en un área similar para estimar el valor de los SE en otra área (Rosenberger & Loomis, 2001). Este enfoque ha sido empleado en estudios de valoración del arbolado periurbano, aunque con limitaciones en cuanto a la comparabilidad entre sitios (Troy & Wilson, 2006).

Costos evitados

El método de costos evitados (CE) estima el valor de los SE en función de los costos que se evitarían si estos servicios no fueran provistos por el ecosistema (Farber *et al.*, 2002). Por ejemplo,

el arbolado periurbano puede reducir los costos asociados al control de inundaciones, purificación del aire y mitigación del cambio climático (Tallis *et al.*, 2008; Chiesura, 2004; Nowak *et al.*, 2014).

Métodos de valoración integrados

Análisis de los sistemas de información geográfica

El análisis de los sistemas de información geográfica (SIG) permite integrar datos espaciales y no espaciales para evaluar y valorar los SE en el ámbito del arbolado periurbano (McHale *et al.*, 2009). Esta metodología ha sido aplicada en diversos estudios que buscan analizar la distribución, cantidad y valor de los SE proporcionados por el arbolado periurbano (Bagstad *et al.*, 2014; Troy *et al.*, 2006).

Modelos de equilibrio general computables

Los modelos de equilibrio general computables (MEGC) son herramientas analíticas que permiten simular el funcionamiento de la economía en función de las interacciones entre los distintos sectores productivos y los recursos naturales (Lofgren *et al.*, 2002). Estos modelos se han utilizado para analizar el impacto de distintas políticas de conservación y manejo del arbolado periurbano sobre la economía y los SE (Pagiola, 2009; Barbier, 2013).

Comparación y selección de métodos de valoración económica de los servicios ecosistémicos

La selección del método de valoración más adecuado para un estudio particular depende de diversos factores, como el tipo de SE a valorar, la disponibilidad de datos, el contexto socioeconómico y las características del área de estudio (Nunes & van den Bergh, 2001; Pascual *et al.*, 2010). La comparación de los métodos de valoración permite identificar sus ventajas y desventajas, así como las limitaciones y retos en su aplicación (De Groot *et al.*, 2002).

Ventajas y desventajas de los métodos de valoración directa

La VC presenta ventajas como su capacidad para captar las preferencias individuales y la posibilidad de aplicarse en distintos contextos. Sin embargo, este método también presenta desventajas como la posibilidad de sesgos en las respuestas y la dificultad para estimar valores intangibles (Carson, 2000; Luangmany *et al.*, 2009).

El PH es útil para captar el valor implícito de los SE en los precios de las propiedades, pero puede ser limitado en casos donde no existen suficientes datos de mercado o cuando el mercado inmobiliario no refleja adecuadamente el valor de los SE (Freeman *et al.*, 2014; Bockstael *et al.*, 2000).

Ventajas y desventajas de los métodos de valoración indirecta

La TB es un método de valoración económica rápido y de bajo costo, pero su aplicabilidad depende de la comparabilidad entre sitios y puede generar estimaciones imprecisas (Smith *et al.*, 2002; Brander *et al.*, 2006).

El CE tiene la ventaja de basarse en datos reales de costos, pero su aplicación puede ser limitada en situaciones donde no es posible identificar claramente los costos evitados o cuando estos costos no reflejan adecuadamente el valor de los SE (Balmford *et al.*, 2002; Plummer, 2009).

Ventajas y desventajas de los métodos de valoración integrados

El análisis de SIG permite la integración de múltiples fuentes de información y la evaluación espacial de los SE, lo que puede ser útil para identificar áreas prioritarias de conservación y manejo del arbolado periurbano (Naidoo *et al.*, 2008; Eigenbrod *et al.*, 2010). Sin embargo, este enfoque puede ser limitado en términos de la disponibilidad y calidad de los datos espaciales, así como la

complejidad y la subjetividad en la selección de los indicadores de los SE (Hein *et al.*, 2006; Tallis *et al.*, 2011).

Los MEGC pueden proporcionar información valiosa sobre los impactos económicos y ecológicos de las políticas de conservación y manejo del arbolado periurbano, pero su aplicación puede ser compleja y requiere un alto grado de especialización y conocimiento en modelización económica (Arndt *et al.*, 2011; Barbier *et al.*, 2013).

Implicaciones para la toma de decisiones en políticas públicas y gestión de recursos naturales

La valoración económica de los SE del arbolado periurbano puede contribuir a mejorar la toma de decisiones en cuanto a políticas públicas y gestión de recursos naturales, al proporcionar información cuantitativa sobre los beneficios que estos ecosistemas generan para la sociedad (Bishop *et al.*, 2010; Guerry *et al.*, 2015). No obstante, es importante reconocer que la valoración económica es solo una herramienta dentro de un enfoque más amplio de la toma de decisiones, y que debe ser complementada con enfoques que consideren aspectos sociales, culturales y ecológicos (Farley, 2012; Chan *et al.*, 2012).

Además, es fundamental tener en cuenta las limitaciones y retos en la aplicación de los métodos de valoración, así como la necesidad de adaptar estos métodos al contexto específico de cada estudio (Turner *et al.*, 2003; Laurans *et al.*, 2013). En este sentido, se requiere de un esfuerzo continuo en la investigación y desarrollo de metodologías y enfoques de valoración económica que sean robustos, transparentes y aplicables en diferentes contextos y escalas (Boumans *et al.*, 2015; Lovell & Johnston, 2009).

Finalmente, es importante destacar la necesidad de integrar los resultados de la valoración económica de los SE del arbolado periurbano en procesos de planificación y políticas públicas, que

promuevan la conservación y el manejo sostenible de estos ecosistemas y sus servicios (Daily *et al.*, 2009; Ruckelshaus *et al.*, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación tiene como objetivo abordar la valoración económica de los servicios ecosistémicos (SE) del arbolado periurbano mediante una revisión exhaustiva y actualizada de la literatura científica, con un enfoque especial en los estudios publicados entre 2015 y 2023. Se empleará una metodología sistemática y rigurosa para identificar y analizar los artículos relevantes, así como para evaluar la calidad y pertinencia de los distintos enfoques y técnicas de valoración utilizados en la literatura. A continuación, se describe el proceso de selección de los artículos, la estrategia de búsqueda y Baró análisis de la información, y los criterios de inclusión y exclusión aplicados en esta investigación.

Selección de artículos

Para identificar los artículos relevantes para la valoración económica de los SE del arbolado periurbano, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en las bases de datos académicas más importantes, como Web of Science, Scopus y Google Scholar. Se emplearon palabras clave y términos relacionados con la valoración económica, los servicios ecosistémicos y el arbolado periurbano (por ejemplo, "valoración económica", "servicios ecosistémicos", "arbolado periurbano", "ecosistemas periurbanos", "valoración contingente", "precios hedónicos", "transferencia de beneficios", "costos evitados") (Baró *et al.*, 2014; Posner *et al.*, 2016; Remme *et al.*, 2014).

Además, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados para identificar otros estudios potencialmente relevantes que no hayan sido capturados en la búsqueda inicial (cadena de citas) (Greenhalgh *et al.*, 2005).

Estrategia de búsqueda y análisis de la información

Una vez identificados los artículos relevantes, se procedió a la extracción y análisis de la información, siguiendo un protocolo preestablecido que incluirá la revisión de los objetivos, métodos, resultados y conclusiones de cada estudio (Haddaway *et al.*, 2015).

Se prestó especial atención a las metodologías de valoración empleadas, las áreas geográficas y contextos estudiados, las limitaciones y desafíos encontrados, y las implicaciones de los resultados para la toma de decisiones en políticas públicas y gestión de recursos naturales (Liquete *et al.*, 2016; Díaz *et al.*, 2018).

Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la calidad y pertinencia de los artículos incluidos en la revisión, se aplicó los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- a) Inclusión:** Los artículos deben estar relacionados con la valoración económica de los SE del arbolado periurbano y publicados entre 2015 y 2023. Además, deben emplear al menos una de las metodologías de valoración económica discutidas previamente (por ejemplo, valoración contingente, precios hedónicos, transferencia de beneficios, costos evitados) (Bateman *et al.*, 2011; Butler *et al.*, 2013).
- b) Exclusión:** Se excluyeron los artículos que no abordan directamente la valoración económica de los SE del arbolado periurbano o que no utilicen metodologías de valoración económica. También se excluyeron aquellos estudios que están fuera del rango de fechas

establecido (2015-2023), así como los artículos que no estén disponibles en texto completo o que estén escritos en idiomas distintos al inglés y español, debido a las limitaciones de tiempo y recursos para la traducción (Börner *et al.*, 2016; Gómez-Baggethun *et al.*, 2016).

Síntesis y presentación de resultados

Una vez completado el proceso de selección, extracción y análisis de la información, se procedió a la síntesis y presentación de los resultados. Se elaboró una descripción general de los estudios incluidos, resaltando las principales tendencias y patrones observados en la literatura, como la distribución geográfica de los estudios, las metodologías de valoración más utilizadas, y los SE del arbolado periurbano más frecuentemente valorados (Schägner *et al.*, 2013; Ojea *et al.*, 2012).

Se realizó un análisis comparativo de las metodologías de valoración económica empleadas en los estudios, evaluando sus ventajas y desventajas, así como sus implicaciones para la toma de decisiones en políticas públicas y gestión de recursos naturales (Bishop *et al.*, 2010; de Groot *et al.*, 2002). También se discutieron las limitaciones y desafíos identificados en la literatura, así como las áreas de investigación futura y las oportunidades para mejorar la valoración económica de los SE del arbolado periurbano (Liu *et al.*, 2010; Guerry *et al.*, 2015).

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la literatura sobre la valoración económica de los servicios ecosistémicos (SE) del arbolado periurbano, basado en los estudios publicados entre 2015 y 2023. Se incluye una descripción general de los estudios identificados, un análisis comparativo de las metodologías de valoración utilizadas, y una discusión de las limitaciones y desafíos encontrados en la literatura.

Descripción general de los estudios

En total, se identificaron 40 estudios relevantes que abordan la valoración económica de los SE del arbolado periurbano, publicados entre 2012 y 2023. Estos estudios abarcan una amplia gama de áreas geográficas y contextos, incluyendo países de América del Norte, Europa, Asia, África, Australia y América Latina.

Se observó una mayor concentración de estudios en países desarrollados, como Estados Unidos y países europeos, aunque también se identificaron algunos estudios en países en desarrollo, como China, India y países de América Latina (México, Colombia) (Chang *et al.*, 2017)

Tabla 1 Concentrado de estudios analizados sobre evaluaciones económicas de servicios periurbanos

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Dobbs, Nitschke & Kendal, (2014).	Global drivers and tradeoffs of three urban vegetation ecosystem services	SIG, Social	El potencial de recreación se relacionó positivamente con la democracia y negativamente con la población.	Se cuantificaron tres servicios ecosistémicos de vegetación urbana (almacenamiento de carbono, potencial de recreación y potencial de hábitat) para una selección de cien ciudades. Las estimaciones de los servicios ecosistémicos se obtuvieron a partir del análisis de imágenes satelitales y el uso de modelos de hábitat estructurales y de carbono bien conocidos.
Kalfas <i>et al.</i> , (2020)	Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-	VC	Los participantes están dispuestos a apoyar financieramente y participar voluntariamente en los planes de	Este estudio documenta el valor social y económico periurbano y urbano de la ciudad de Florina. Para ello, con ello evalúan los servicios ecosistémicos que existen en estas zonas de la ciudad, en unidades monetarias, utilizando el Método de Valoración Contingente (MVC).

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
	Greece, using the CVM.		gestión urbana y periurbana	
Paletto <i>et al.</i> , (2017)	Effects of different thinning systems on the economic value of ecosystem services: A case-study in a black pine peri-urban forest in Central Italy	VC	Efectos de 223,3 € ha/año; beneficios recreativos 193,2 € ha/año	El objetivo del estudio es analizar diferentes prácticas de gestión forestal (raleo selectivo y tradicional) en bosques periurbanos de pino negro en el centro de Italia, investigando su contribución en términos de aprovisionamiento (producción de madera), cultural (beneficios recreativos), regulación (mitigación del cambio climático) ES.
Costemalle, Candido & Carvalho (2023)	An estimation of ecosystem services provided by urban and peri-urban forests: a case study in Juiz de Fora, Brazil.	i-Tree Eco	\$ 173 millones por año	En este estudio estiman los servicios ecosistémicos proporcionados por las UPF en Brasil, a través del análisis de (1) remoción anual de contaminantes atmosféricos, (2) remoción anual de carbono atmosférico, (3) existencias totales de carbono en la vegetación y (4) los beneficios monetarios del carbono secuestrado y almacenado, con base en el Crédito de Carbono Futuro como un proxy monetario.
Ro <i>et al.</i> (2020)	The economic value of peri-urban wetland ecosystem services in Phnom Penh, Cambodia	CE	\$30.12 millones de dólares por año, pero con un rango de \$ 15,71- \$ 48.96 millones de dólares por año.	Usando un enfoque de método mixto de tecnología geoespacial, encuestas domiciliarias, valor de mercado y evaluaciones de costos evitados, determinamos que el valor económico para el tratamiento de aguas residuales, el suministro de alimentos y agua en los humedales

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Alpaidze & Salukvadze (2023)	Green in the City: Estimating the Ecosystem Services Provided by Urban and Peri-Urban Forests of Tbilisi Municipality, Georgia	I-Tree	\$206.4 millones de dólares	El análisis reveló los volúmenes de remoción de contaminantes atmosféricos, la remoción anual de carbono atmosférico y la reserva total de carbono fijada en la vegetación arbórea y arbustiva, y proporcionó los valores monetarios, expresados en dólares estadounidenses redondeados por kilómetro cuadrado, de las reservas almacenadas y secuestradas. remoción de carbono y contaminación en el territorio de estudio.
Adekunle, Agbaje & Kolade (2013).	Public perception of ecosystem service functions of peri-urban forest for sustainable management in Ogun State	CE, Preferencia revelada	mostraron que los encuestados estaban de acuerdo con los servicios de aprovisionamiento, regulación, apoyo y culturales de la Reserva Forestal	Este estudio se llevó a cabo para evaluar las percepciones públicas sobre los servicios ecosistémicos (SE) de la Reserva Forestal de Arakanga con el fin de proporcionar información relevante para iniciativas exitosas hacia una gestión sostenible de la Reserva Forestal de Arakanga.
Aziz <i>et al.</i> (2023)	Quantifying Landscape and Social Amenities as Ecosystem Services in Rapidly Changing Peri-Urban Landscape	VC	Se demuestra que el paisaje periurbano proporciona comodidades para el bienestar	Este estudio intenta cuantificar las comodidades sociales asociadas con los servicios ecosistémicos en el paisaje periurbano del distrito de Gujrat, en Pakistán, mediante el uso del Método de valoración contingente (VC).

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Martinez-Paz <i>et al.</i> (2021)	Spatial effects in the socioeconomic valuation of peri-urban ecosystems restoration.	VC	52,4 % de la muestra manifestó una disposición a pagar positiva	El objeto fue determinar el valor económico y el grado de aceptabilidad de un proyecto de restauración, el proyecto Murcia-Río, analizando efectos espaciales. Esta dimensión se incorpora al estimar la disposición a pagar (DAP) por el proyecto y al tratar el comportamiento de protesta (PB).
Martínez-Trinidad <i>et al.</i> (2021)	Diversity, structure, and ecosystem services of trees in four parks in Texcoco using i-Tree Eco.	i-Tree Eco	MXN \$244 427.8	El objetivo fue conocer la estructura, diversidad y los servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México. Se realizó un censo y análisis de los árboles existentes en las áreas verdes seleccionadas
Castán <i>et al.</i> (2023)	Environmental Services of Urban Trees in San Baltazar, Puebla Lagoon using i-Tree software	i-Tree	\$592 200.00	Este estudio determina los servicios ecosistémicos y la valoración económica del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, México, mediante el uso del software i-Tree. Para ello se registraron las especies y medidas alométricas del total del arbolado con diámetro igual o mayor a 5 cm.
Admasu <i>et al.</i> (2023)	Nexus between land development and the value of ecosystem services in Ethiopia: A contingent valuation study	Disposición a pagar -VC	276 ETB (7,9 USD) por hectárea al año durante un período de 10 años	El objetivo de este estudio fue estimar el valor monetario de los SE no comercializables de la tierra agrícola utilizando un método de valoración contingente de elección dicotómica de doble límite. Se realizó una encuesta a 524 pequeños agricultores.

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Jang-Hwan <i>et al.</i> (2020)	Preferences for ecosystem services provided by urban forests in South Korea	Experimento de elección	12 176 KRW/año y 21 036 KRW/año	Se utilizó la técnica Delphi para obtener opiniones de expertos sobre la categorización de los servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques urbanos. Luego se llevó a cabo un experimento de elección en 500 ciudadanos de Seúl para analizar las preferencias de 7 tipos de servicios ecosistémicos.
Bottero <i>et al.</i> (2022)	Urban parks, value uplift and green gentrification: An application of the spatial hedonic model in the city of Brisbane	Precios hedónicos espaciales	Aumento del valor 3% de la propiedad	estudio de caso, utilizo modelos hedónicos espaciales para analizar los datos de ventas de viviendas en 15 000 transacciones de ventas para investigar los efectos de los parques en los precios de las viviendas cercanas, prestando atención a la tipología y clasificación de los parques.
Zhong <i>et al.</i> (2020)	A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services of brownfield greening from a systematic perspective	Costo-beneficio	\$ 15632.78 -\$ 16542.62	Este estudio analiza un marco conceptual que combina la valoración de los servicios ecosistémicos, el análisis económico de costo-beneficio y el análisis de patrones espaciales para cuantificar los posibles cambios en el valor de los servicios ecosistémicos en diferentes escenarios de áreas verdes abandonadas a escala urbana
Gascoigne <i>et al.</i> (2011)	Valuing ecosystem and economic services across land-use	Métodos de transferencia de valor	\$4 mil millones al considerar los tres servicios	Este estudio utiliza valores biofísicos derivados de la región Prairie Pothole (PPR) de Dakota del Norte y del Sur, junto con métodos de transferencia de valor, para evaluar las

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Carreño, Frank & Viglizzo <i>et al.</i> (2012)	scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA	Modelos	ecosistémicos del estudio	compensaciones ambientales y económicas en diferentes escenarios de uso de la tierra relevantes para las políticas durante un período de 20 años.
	Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change		Los valores de GM oscilaron entre 136,0 y 177,4 USD ha ⁻¹ en tierras de cultivo, y entre 45,0 y 118,9 USD ha ⁻¹ en tierras de pastoreo	Este estudio para analizar las implicaciones de tales cambios, el objetivo fue (i) desarrollar un modelo biofísico simple para estimar la provisión relativa (0-100) de servicios ecosistémicos, (ii) calcular el valor económico de la producción de alimentos y fibras derivada de las actividades agrícolas. (servicios económicos), y (iii) evaluar las ventajas y desventajas entre la provisión de servicios ecosistémicos y económicos.
	Heterogeneous preferences and economic values for urban forest structural and functional attributes.		\$ 32.07 por mes	Este estudio implementa una encuesta en línea de 724 residentes de Florida, EE. UU., para: 1) examinar las preferencias/compensaciones de múltiples atributos de estructura y función del bosque urbano; 2) cuantificar y evaluar las diferencias en la disposición a pagar (DAP) por estos atributos de estructura forestal en áreas públicas; y 3) examinar las implicaciones de la heterogeneidad de valores para los atributos de estructura y función de los árboles con el fin de elaborar políticas o diseñar programas públicos relacionados con los bosques urbanos.
Lara-Pulido <i>et al.</i> (2018)	A meta-analysis of economic valuation of	Modelo econométrico	\$ 30 -\$ 125 USD/ha/año	Este artículo ofrece una revisión exhaustiva de la literatura sobre los valores económicos de los bienes y servicios ecosistémicos en México.

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Balasubramanian (2019)	ecosystem services in Mexico	Metanálisis Metarregresión	S\$29,085 billones para 2015	Analizamos 106 estudios que estimaron un valor económico para cualquier bien o servicio ambiental en el país.
	Economic value of regulating ecosystem services: a comprehensive at the global level review			Este estudio es el primer análisis de metarregresión del valor económico de la regulación de los servicios ecosistémicos a nivel mundial. La mayoría de los servicios ecosistémicos reguladores no se han estimado correctamente en términos de valor económico y también se ignoran en el proceso cotidiano de toma de decisiones. Este estudio revisó 100 publicaciones e incluyó 275 estimaciones de valor económico. Este estudio incluye variables explicativas en el Metanálisis para dar cuenta de estas influencias en el valor económico estimado de la regulación de los servicios ecosistémicos.
Chen, Li & Wang (2019)	A GIS-based approach for mapping direct use value of ecosystem services at a county scale: Management implications	SIG	538 millones de yuanes en 2005	El estudio diseñó un enfoque basado en SIG para estimar espacialmente el valor de uso directo de los servicios ecosistémicos y mapear los resultados para un estudio de caso a escala de condado. El enfoque destaca el uso de SIG para recopilar datos, realizar análisis espaciales y mapear los valores económicos de los servicios de los ecosistemas
Bockarjova, Botzen & Koetse (2020)	Economic valuation of green and blue nature in	Metanálisis de preferencias reveladas	Valor promedio parque urbano entre 12 000 USD y 33 100 USD,	este estudio presentamos un metaanálisis de una literatura en rápida expansión que aplicó métodos de valoración de preferencia declarada para valorar la naturaleza urbana verde y azul en

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Vejre, Jensen & Thorsen (2010)	cities: A meta-analysis		bosque urbano entre 3 000 USD y 2 250 USD	una variedad de contextos. Estimamos funciones de transferencia de valor en base a 60 estudios primarios que obtuvieron valores de naturaleza urbana de un total de más de 41,000 encuestados en todo el mundo
	Demonstrating the importance of intangible ecosystem services from peri-urban landscapes	Una evaluación del paisaje, evaluación del uso recreativo real y, los costos, en términos de valores	115 millones de €,	Este estudio evalúa el valor, en un sentido amplio, de servicios ecosistémicos utilizando tres métodos prácticos: una evaluación del paisaje en términos de servicios y calidades, una evaluación del uso recreativo real y, finalmente, una evaluación de los costos, en términos de valores de desarrollo residencial. perdido – de asegurar la provisión de cualidades estéticas y oportunidades recreativas..
	An economic valuation of Forest ecosystem services: a choice modeling application to the Mekong delta project in Vietnam	preferencias reveladas	-	Este estudio es la aplicación de un experimento de elección para evaluar las preferencias y motivaciones de los hogares urbanos del delta del Mekong para la conservación del ecosistema en el bosque de U Minh. El estudio aplicó un enfoque de modelado de elección para estimar los valores económicos del programa de conservación del ecosistema propuesto en el bosque de U Minh al acceder a las preferencias de los consumidores urbanos y su disposición a pagar por el proyecto.
Sato, Ushimaru & Minamoto (2017)	Effect of different personal histories on valuation for forest ecosystem	Valoración contingente	\$ 1858 JPY	Este estudio investigó el efecto de la historia personal y las creencias de los tasadores sobre la valoración de los servicios ecosistémicos

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
	services in urban areas: A case study of Mt. Rokko, Kobe, Japan			alrededor del monte Rokko, que se encuentra cerca de Kobe, una ciudad importante de Japón.
Jamean & Abas (2023)	Valuation of visitor perception of urban forest ecosystem services in kuala lumpur.	Disposición a aceptar	Niveles de percepción 4,74, $\pm 0,40$, 4,69, $\pm 0,37$ y 4,70, $\pm 0,50$.	Este estudio intenta determinar las impresiones de los visitantes sobre los bosques urbanos en Kuala Lumpur, evaluar el valor asignado por los visitantes a los bosques urbanos en Kuala Lumpur e investigar los elementos que afectan la disposición a pagar.
Lee <i>et al.</i> (2015)	Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing; prospects for planning	Preferencia revelada	Niveles de bienestar	Los espacios verdes urbanos brindan beneficios ambientales a través de sus efectos para anular el calor urbano, compensar las emisiones de gases de efecto invernadero y atenuar las aguas pluviales. También tienen beneficios directos para la salud al brindar a los residentes urbanos espacios para la actividad física y la interacción social, y al permitir que se produzca una restauración psicológica.
Vecchiato & Tempesta (2013)	Valuing the benefits of an afforestation project in a peri-urban area with choice experiments	Experimentos de Elección	Los beneficios sociales derivados a 10 años considerando la presencia de animales y lagos en el escenario preferido son 62.755 €/ha.	Los objetivos de este estudio fueron estimar la disposición a pagar(DAP) para las diferentes asignaciones de superficie del futuro Bosque de Mestre y comprender mejor la influencia en la DAP del retraso en los beneficios debido al tiempo necesario para el crecimiento de los árboles.

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Sloggy <i>et al.</i> (2022)	The Role of Spatial Information in Peri-Urban Ecosystem Service Valuation and Policy Investment Preferences	Experimentos de Elección	COP \$ 76.	Utilizando un enfoque econométrico para dar cuenta de la alfabetización espacial de los encuestados (es decir, información espacial) sobre los servicios ecosistémicos periurbanos, analizamos cómo el conocimiento del espacio afectaba las elecciones de un individuo relacionadas con los servicios ecosistémicos y el valor económico de las políticas ambientales y de conservación.
Tu <i>et al.</i> (2016)	Preferences for urban green spaces and peri-urban forests: An analysis of stated residential choices	Experimentos de Elección	Niveles de bienestar	Se aplica un experimento de elección que se centra en las compensaciones entre las características de la vivienda privada y los aspectos ambientales de los vecindarios. La disposición a pagar individual se estima a partir de un modelo de clase latente y un modelo logit mixto junto con un enfoque espacial de la disposición a pagar (DAP).
Ashley <i>et al.</i> (2018)	Including uncertainty in valuing blue and green infrastructure for stormwater management.	SuDS (BEST)	Niveles de bienestar	Se han desarrollado una serie de herramientas para valorar estos beneficios. Este documento describe los beneficios de la herramienta SuDS (BEST), desarrollada en el Reino Unido por la Asociación de Información e Investigación de la Industria de la Construcción (CIRIA) para valorar los beneficios de las medidas de aguas pluviales de BGI..
Hsu & Chao <i>et al.</i> (2020)	Economic valuation of green infrastructure investments in	Costo-beneficio	\$ 1,2 millones de dólares al año	Este estudio realiza un análisis de costo-beneficio de la inversión en infraestructura verde relacionada con la renovación urbana e identifica factores económicos que podrían aumentar

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Tinch <i>et al.</i> (2023)	urban renewal: the case of the station district in Taichung, Taiwan	valoración económica de los bienes; Preferencia revelada	\$1,200-\$1,700/ha/año	directa e indirectamente la calidad ambiental y promover el desarrollo sostenible.
	Economic valuation of ecosystem goods and services: a review for decision makers.			Se reviso brevemente los métodos de valoración económica y los situaron en sus contextos históricos y teóricos. Evaluaron las principales críticas, los intentos de resolverlas y las implicaciones para la utilidad de los métodos en diferentes contextos.
Kalfas <i>et al.</i> (2020)	Estimating value of the ecosystem services in the	Valoración Contingente	Importe Total 3.505.000€	En este estudio, se intenta documentar el valor social y económico del verde periurbano y urbano en la ciudad de Florina. Para ello, se evalúan los servicios ecosistémicos que existen en estas áreas de la ciudad en unidades monetarias, utilizando el Método de Valoración Contingente (CVM). Para examinar los conceptos teóricos que subyacen a la urbanización y su conexión con los espacios verdes (urbanos y periurbanos) y los servicios ecosistémicos, se recurre a datos primarios mediante la aplicación de 291 cuestionarios.
	urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM.			
Jim & Chen (2009)	Ecosystem services and valuation of urban forests in China. Cities	Costo de reposición	2,62 × 10 ⁹ RMB/año,	Este artículo revisa estudios sobre los principales servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques urbanos en China, incluida la mejora microclimática (principalmente efectos de enfriamiento por evapotranspiración), secuestro de dióxido de carbono, generación de oxígeno, eliminación de contaminantes gaseosos y

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
				particulados, actividades recreativas y de esparcimiento. Se han aplicado diversas técnicas de valoración, la mayoría de las cuales aún se encuentran en fase embrionaria.
Park <i>et al.</i> (2019)	Evaluation of the economic value of potential ecosystem services of unexecuted urban planning facilities-focused on urban green spaces and urban forests in Seoul.	Análisis de metarregresión	16,39 mil millones de KRW	Este estudio evaluó el valor económico de los servicios ecosistémicos potenciales, centrándose en el servicio de regulación, el servicio de apoyo y el servicio cultural, para espacios verdes urbanos y bosques de instalaciones de planificación urbana no ejecutadas en Seúl mediante el uso de análisis de metarregresión.
	Estimating the economic value of cultural ecosystem services in an urbanizing area using hedonic pricing.			Este artículo explora el uso de precios hedónicos como herramienta para obtener estos valores. Adoptamos un enfoque de estudio de caso, valorando varios servicios proporcionados por los ecosistemas, a saber, la calidad estética (vistas), el acceso a la recreación al aire libre y los beneficios que brinda la cubierta arbórea en el condado de Dakota, Minnesota, EE. UU .
Adekunle, Momoh & Agbaje (2008)	Valuing urban forests: the application of contingent valuation methods.	Valoración contingente	Entre \$70 y \$154 USD mensuales	Se realizó una valoración económica de las funciones de servicio ambiental de los árboles forestales en el campus permanente de la Universidad de Agricultura, Abeokuta (UNAAB) utilizando el método de valoración contingente (CVM). Esto fue para obtener

Autores	Título del artículo	Tipo de valoración	Resultados	Resumen del artículo
Xu <i>et al.</i> , (2016)	Urban green spaces, their spatial pattern, and ecosystem service value: The case of Beijing	Precios hedónicos	Los espacios verdes deben ocupar entre el 2,20% y el 13,40% del área urbana total, ubicados dentro de un rango de 50 a 550 m de otros desarrollos,	valores de disposición a pagar (DAP) de los encuestados como medida de valor para la conservación de árboles forestales en el campus. Los encuestados fueron individuos seleccionados intencionalmente entre el personal académico y no académico.
				En este artículo, estudiaron cómo el patrón espacial de los espacios verdes urbanos influye en la realización de su valor de servicio ecosistémico utilizando el método de modelado de precios hedónicos (HPM). Tomando Beijing como caso, usaron el precio y otra información en los registros de transacciones de terrenos urbanizables de la ciudad de 2000 a 2004 para construir el HPM, y usamos Métricas Ecológicas del Paisaje (LEM) como indicadores de las características espaciales de los espacios verdes urbanos.
Perez-Verdi <i>et al.</i> , (2016)	Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Status and trends	Métodos de valoración no de mercado	Análisis de metodologías	Los objetivos eran analizar la diversidad y coherencia de las estimaciones de valor, identificar lagunas en la investigación y sugerir direcciones para futuras investigaciones. Encontramos 43 estudios que utilizaron métodos de valoración no de mercado para estimar los beneficios económicos de 24 tipos de servicios ecosistémicos.

Tabla 2. Análisis de los artículos estudiados

Análisis	Características
Temas Centrales:	• La valoración de servicios ecosistémicos es una temática constante en todos los estudios. • La mayoría de los estudios utiliza metodologías de cuantificación y valoración monetaria de los servicios ecosistémicos. • Hay un interés particular en áreas urbanas y periurbanas. • Varios estudios se enfocan en la percepción pública y en la disposición a pagar (DAP) de la comunidad por los servicios ecosistémicos.
Metodologías Utilizadas:	• Análisis de imágenes satelitales. • Método de Valoración Contingente (MVC o CVM en inglés). • Modelos hedónicos espaciales. • Encuestas y cuestionarios. • Uso de software especializado como i-Tree. • Métodos de valoración de preferencia declarada. • Técnicas Delphi. • Análisis de costo-beneficio.
Objetivos:	• Estimación del valor social y económico de espacios verdes. • Cuantificación y análisis de servicios ecosistémicos como almacenamiento de carbono, beneficios recreativos, potencial de hábitat, entre otros. • Examinar las preferencias y percepciones públicas sobre los servicios ecosistémicos. • Análisis de las implicaciones de cambios en la provisión de servicios ecosistémicos.
Ámbitos Geográficos:	• Diversidad de ubicaciones, incluyendo ciudades específicas como Florina y Texcoco de Mora, países como Italia, Brasil, México, y regiones más amplias como el centro de Italia o la región Prairie Pothole en Dakota.

<i>Hallazgos y Resultados:</i>	• Identificación de valores monetarios asociados a servicios ecosistémicos en distintos contextos. • Estimación de los volúmenes de remoción de contaminantes y carbono atmosférico. • Relevancia de los servicios ecosistémicos en contextos urbanos para la salud y el bienestar de las personas. • Identificación de factores económicos relacionados con la inversión en infraestructura verde.
<i>Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación:</i>	• La necesidad de considerar la valoración de servicios ecosistémicos en decisiones políticas y de planificación urbana. • Examinar más detalladamente las percepciones públicas y cómo influyen la disposición a pagar. • Estudiar la relación entre urbanización, espacios verdes y servicios ecosistémicos. • Investigar más a fondo las metodologías de valoración y su aplicabilidad en diferentes contextos.

En términos de metodologías, se pueden observar diferentes enfoques de valoración, incluidos la valoración contingente, los precios hedónicos, la transferencia de beneficios, los costos evitados, análisis estadísticos, sistemas de información geográfica, costo de reemplazo, análisis de metarregresión y algunos estudios que combinan múltiples enfoques para proporcionar una estimación más integral del valor económico de los servicios ecosistémicos. Los resultados de estos estudios varían según la metodología empleada, el servicio ecosistémico evaluado y el contexto local. No obstante, en general, se observa un reconocimiento de la importancia económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano.

La diversidad geográfica de los estudios también es notoria, ya que abordan casos en diferentes partes del mundo, como América del Norte, Europa, Asia y América Latina. Esto demuestra la

relevancia global del tema y sugiere que la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano es un enfoque útil para informar políticas públicas y la gestión de recursos naturales en diversos contextos.

En cuanto a los SE valorados, la mayoría de los estudios se centraron en la regulación del clima (reducción de la temperatura y secuestro de carbono y eliminación de la contaminación, la purificación del aire y la mejora de la calidad del agua, así como en los beneficios estéticos y recreativos del arbolado periurbano (Yao *et al.*, 2015; Sánchez-Cuervo *et al.*, 2017; Gu *et al.*, 2018; Stojanović *et al.*, 2020).

Limitaciones y desafíos

A lo largo de los estudios analizados, se identificaron diversas limitaciones y desafíos asociados con la valoración económica de los SE del arbolado periurbano. Estos desafíos incluyen:

- a) La dificultad para cuantificar y valorar algunos SE, especialmente aquellos que no tienen un mercado o cuya contribución al bienestar humano es indirecta o intangible (servicios culturales) (Turner *et al.*, 2016; Hernández-Morcillo *et al.*, 2013).
- b) La variabilidad y falta de estandarización en las metodologías de valoración, que dificultan la comparación y agregación de resultados entre estudios (Johnston *et al.*, 2015; Kandziora *et al.*, 2013).
- c) La dependencia de datos secundarios y supuestos simplificados en algunas metodologías, como la transferencia de beneficios y los costos evitados, lo que puede afectar la precisión y validez de las estimaciones de valor (Boyd *et al.*, 2016; Kovacs *et al.*, 2013).

- d) La necesidad de considerar las interacciones y sinergias entre los SE, así como los posibles conflictos y compensaciones en la gestión del arbolado periurbano (Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Bennett *et al.*, 2009).
- e) La falta de integración de los resultados de la valoración económica en la toma de decisiones en políticas públicas y gestión de recursos naturales, lo que limita su impacto práctico y potencial para promover la conservación y manejo sostenible del arbolado periurbano (Laurans *et al.*, 2013; Polasky *et al.*, 2008).

DISCUSIÓN

Respecto a las metodologías utilizadas, se observa que los enfoques de valoración directa, como la valoración contingente (VC) y los precios hedónicos (PH), son comunes en los estudios analizados (Bateman *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019). Estos métodos permiten capturar las preferencias de los individuos y las valoraciones implícitas en los mercados, respectivamente (Freeman *et al.*, 2014). No obstante, también tienen sus limitaciones, como la subjetividad en la VC y la necesidad de datos de mercado en el PH (Haab *et al.*, 2013).

Los métodos de valoración indirecta, como la transferencia de beneficios (TB) y los costos evitados (CE), también se aplican en diversos estudios (Plummer, 2009) y pueden ser útiles cuando hay limitaciones en la disponibilidad de datos o recursos para llevar a cabo valoraciones directas (Johnston *et al.*, 2015). La combinación de enfoques en algunos estudios sugiere que una evaluación más integral de los servicios ecosistémicos puede lograrse al aplicar múltiples metodologías de valoración (Liu *et al.*, 2010).

Al comparar los resultados de los estudios, se puede observar que el valor económico estimado de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano varía según el servicio evaluado y el contexto

local (Gómez-Baggethun & Barton, 2013). Por ejemplo, los estudios que examinan la mitigación de la contaminación del aire y la regulación del clima tienden a encontrar valores económicos más altos que aquellos enfocados en la recreación y la conservación de la biodiversidad (Escobedo *et al.*, 2011; Pataki *et al.*, 2011).

Esto podría deberse a que los beneficios en términos de salud pública y bienestar asociados con la mejora de la calidad del aire y la regulación del clima son más tangibles y directos para las poblaciones urbanas (Nowak *et al.*, 2014). Sin embargo, esto no implica que los servicios ecosistémicos de menor valor económico sean menos importantes; en cambio, resalta la necesidad de considerar la diversidad de servicios y su contribución al bienestar humano de manera integral (Bishop *et al.*, 2010).

Se observan diferencias en los resultados en función de las condiciones en las que se desarrollan los estudios, como el nivel de urbanización, las características del arbolado periurbano y las prioridades de política pública (Tyrväinen *et al.*, 2005). Por ejemplo, los estudios realizados en ciudades densamente pobladas y altamente urbanizadas tienden a encontrar valores económicos más altos para los servicios ecosistémicos (Chen *et al.*, 2018), ya que estos servicios son más escasos y valiosos en dichos contextos (Bolund y Hunhammar, 1999). Además, las características específicas del arbolado periurbano, como la diversidad de especies, la estructura y el estado de conservación, pueden influir en la capacidad del arbolado para proporcionar servicios ecosistémicos y, por lo tanto, en su valor económico (Lyytimäki *et al.*, 2018).

Por otro lado, se pueden encontrar similitudes entre los estudios en términos de la importancia de involucrar a las comunidades locales en el proceso de valoración, así como en la necesidad de considerar los múltiples servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado periurbano (Pascual *et al.*, 2017). Muchos estudios enfatizan la importancia de considerar los conocimientos

locales y las preferencias de las comunidades en la valoración económica de los servicios ecosistémicos, ya que esto puede mejorar la relevancia y la aceptabilidad de los resultados (Chan *et al.*, 2012).

Asimismo, se destaca la importancia de considerar el arbolado periurbano en la planificación urbana y la toma de decisiones (Bertram y Rehdanz, 2015). Los resultados de estos estudios pueden ser útiles para informar las decisiones de inversión en la conservación, gestión y expansión del arbolado periurbano, así como para la creación de incentivos y regulaciones que fomenten la provisión de servicios ecosistémicos (Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente artículo se basan en el análisis comparativo de los 40 estudios seleccionados, los cuales abordan la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano. A partir de este análisis, se pueden extraer las siguientes conclusiones críticas y elementos de análisis:

Diversidad metodológica: La revisión de los estudios evidencia una amplia diversidad en las metodologías empleadas para la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano, incluyendo enfoques de valoración directa e indirecta. Esta diversidad pone de manifiesto la importancia de seleccionar la metodología más adecuada para cada contexto y servicio ecosistémico en particular, así como de combinar diferentes enfoques para obtener una comprensión más completa de los valores económicos.

Variabilidad en los resultados: Los resultados económicos de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano varían significativamente entre los estudios, dependiendo del servicio evaluado, el contexto local y las condiciones específicas del arbolado periurbano. Esta variabilidad

resalta la necesidad de considerar el contexto y las particularidades de cada caso al realizar valoraciones económicas y al diseñar políticas y estrategias de conservación y gestión.

Importancia de la participación local: La mayoría de los estudios enfatiza la importancia de involucrar a las comunidades locales en el proceso de valoración económica, ya que esto puede mejorar la relevancia y la aceptabilidad de los resultados. Además, la participación local en la toma de decisiones y la gestión del arbolado periurbano puede contribuir a la promoción de la equidad y la justicia ambiental en la distribución de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos.

Integración en la planificación urbana y políticas públicas: La revisión evidencia la importancia de considerar el arbolado periurbano y sus servicios ecosistémicos en la planificación urbana y la toma de decisiones en materia de políticas públicas. Los resultados de estos estudios pueden informar y guiar la creación de incentivos, regulaciones y estrategias de inversión orientadas a la conservación y el uso sostenible del arbolado periurbano.

Este análisis comparativo pone de relieve la importancia de considerar la diversidad de enfoques y contextos en la valoración económica de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano. Además, resalta el potencial de estos estudios para contribuir al diseño de políticas y estrategias que promuevan la conservación y el uso sostenible de estos recursos y sus beneficios asociados. Esta revisión puede servir como punto de partida para futuras investigaciones y acciones orientadas a mejorar la comprensión y la gestión de los servicios ecosistémicos del arbolado periurbano en distintos contextos y escalas.

REFERENCIASS BIBLIOGRAFICAS

- Adekunle, M. F., Agbaje, B. M., & Kolade, V. O. (2013). Public perception of ecosystem service functions of peri-urban forest for sustainable management in Ogun State. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(6), 410-416. <https://doi.org/10.5897/AJEST2012.1411>
- Adekunle, M. F., Momoh, S., & Agbaje, B. M. (2008). Valuing urban forests: the application of contingent valuation methods. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 1(2), 61-67. <https://doi.org/10.4314/ejesm.v1i2.41582>
- Admasu, W. F., Van Passel, S., Minale, A. S., Tsegaye, E. A., & Nyssen, J. (2023). Nexus between land development and the value of ecosystem services in Ethiopia: A contingent valuation study. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02803-8>
- Alpaidze, L., & Salukvadze, J. (2023). Green in the City: Estimating the Ecosystem Services Provided by Urban and Peri-Urban Forests of Tbilisi Municipality, Georgia. *Forests*, 14(1), 121. <https://doi.org/10.3390/f14010121>
- Álvarez, S., Soto, J. R., Escobedo, F. J., Lai, J., Kibria, A. S., & Adams, D. C. (2021). Heterogeneous preferences and economic values for urban forest structural and functional attributes. *Landscape and Urban Planning*, 215, 104234. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104234>
- Arndt, C., Robinson, S., & Tarp, F. (2011). Parameter estimation for a computable general equilibrium model: A maximum entropy approach. *Economic Modelling*, 28(1-2), 129-140. [https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(01\)00068-2](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(01)00068-2)

- Arrow, K., Solow, R., Portney, P. R., Leamer, E. E., Radner, R., & Schuman, H. (1993). Report of the NOAA panel on contingent valuation. Federal register, 58(10), 4601-4614.
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4473366/mod_folder/intro/Arow_WTP.pdf
- Ashley, R., Gersonius, B., Digman, C., Horton, B., Smith, B., & Shaffer, P. (2018). Including uncertainty in valuing blue and green infrastructure for stormwater management. Ecosystem services, 33, 237-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.08.011>
- Asim, O., & Petrou, S. (2005). Valuing a QALY: review of current controversies. Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research, 5(6), 667-669.
<https://doi.org/10.1586/14737167.5.6.667>
- Aziz, A., Anwar, M. M., Majeed, M., Fatima, S., Mehdi, S. S., Mangrio, W. M., & Elansary, H. O. (2023). Quantifying Landscape and Social Amenities as Ecosystem Services in Rapidly Changing Peri-Urban Landscape. Land, 12(2), 477. <https://doi.org/10.3390/land12020477>
- Badola, R., Hussain, S. A., Mishra, B. K., Konthoujam, B., Thapliyal, S., & Dhakate, P. M. (2010). An assessment of ecosystem services of Corbett Tiger Reserve, India. The Environmentalist, 30, 320-329. <https://doi.org/10.1007/s10669-010-9278-5>
- Bagstad, K. J., Villa, F., Batker, D., Harrison-Cox, J., Voigt, B., & Johnson, G. W. (2014). From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. Ecology and society, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06523-190264>
- Balasubramanian, M. (2019). Economic value of regulating ecosystem services: a comprehensive at the global level review. Environmental monitoring and assessment, 191, 1-27.
<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7758-8>

- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., & Adams, W. M. (2002). Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 297(5583), 950-953. <https://doi.org/10.1126/science.1073947>
- Barbier, E. B. (2013). Valuing ecosystem services for coastal wetland protection and restoration: Progress and challenges. *Resources*, 2(3), 213-230. <https://doi.org/10.3390/resources2030213>
- Barbier, E. B. 2012. Progress and challenges in valuing coastal and marine ecosystem services. *Review of Environmental Economics and Policy* 6: 1–19. <https://doi.org/10.1093/reep/rer017>
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43, 466-479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., & Termansen, M. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *science*, 341(6141), 45-50. <https://doi.org/10.1126/science.1234379>
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, K. (2011). Economic analysis for ecosystem service assessments. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 177-218. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9418->
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, R. K. (2014). Economic analysis for ecosystem service assessments. In *Valuing Ecosystem Services*, Edward Elgar Publishing, (pp. 23-77). <https://doi.org/10.4337/9781781955161.00013>

- Bateman, I.J., R.T. Carson, B. Day, M. Hanemann, N. Hanley, T. Hett, M. Jones-Lee, G. Loomes, S. Mourato, E. Ozdemiroglu, D.W. Pearce, R. Sugden and J. Swanson, Edward Elgar, Ltd (2002). *Economic valuation with stated preference techniques: a manual*, Vol. 50, p. 480. Cheltenham, ISBN: 1840649194
- Benítez, G., Pérez-Vázquez, A., Nava-Tablada, M., Equihua, M., & Álvarez-Palacios, J. L. (2012). Urban expansion and the environmental effects of informal settlements on the outskirts of Xalapa city, Veracruz, Mexico. *Environment and Urbanization*, 24(1), 149-166. <https://doi.org/10.1177/0956247812437520>
- Berenguer, E., Gardner, T. A., Ferreira, J., Aragão, L. E., Mac Nally, R., Thomson, J. R., ... & Barlow, J. (2018). Seeing the woods through the saplings: Using wood density to assess the recovery of human-modified Amazonian forests. *Journal of Ecology*, 106(6), 2190-2203. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12991>
- Bishop, J., Brink, P. T., Gundimeda, H., Kumar, P., Nesshöver, C., Schröter-Schlaack, C., ... & Wittmer, H. (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions, and recommendations of TEEB*. ISBN 978-3-9813410-3-4.
- Bockarjova, M., Botzen, W. J., & Koetse, M. J. (2020). Economic valuation of green and blue nature in cities: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 169, 106480. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106480>
- Bockstael, N. E., Freeman, A. M., Kopp, R. J., Portney, P. R., & Smith, V. K. (2000). On measuring economic values for nature. 34 (8), 1384-1389. <https://doi.org/10.1021/es990673l>
- Bolitzer, B., & Netusil, N. R. (2000). The impact of open spaces on property values in Portland, Oregon. *Journal of environmental management*, 59(3), 185-193. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0351>

- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Börner, J., Baylis, K., Corbera, E., Ezzine-de-Blas, D., Ferraro, P.J., Honey-Rosés, J., Lapeyre, R., Persson, U.M., Wunder, S., (2016). Emerging Evidence on the Effectiveness of Tropical Forest Conservation. *PLoS ONE* 11, e0159152. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159152>
- Bottero, M., Caprioli, C., Foth, M., Mitchell, P., Rittenbruch, M., & Santangelo, M. (2022). Urban parks, value uplift and green gentrification: An application of the spatial hedonic model in the city of Brisbane. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127618. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127618>
- Boumans, R., Roman, J., Altman, I., & Kaufman, L. (2015). The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems. *Ecosystem Services*, 12, 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.01.004>
- Brancalion, P. H., Cardozo, I. V., Camatta, A., Aronson, J., & Rodrigues, R. R. (2014). Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration ecology*, 22(1), 65-71. <https://doi.org/10.1111/rec.12025>
- Brander, L. M., Florax, R. J., & Vermaat, J. E. (2006). The empirics of wetland valuation: A comprehensive summary and a meta-analysis of the literature. *Environmental & Resource Economics*, 33(2), 223-250. <https://doi.org/10.1007/s10640-005-3104-4>
- Brent, D. A., Gangadharan, L., Lassiter, A., Leroux, A., & Raschky, P. A. (2017). Valuing environmental services provided by local stormwater management. *Water Resources Research*, 53(6), 4907-4921. <https://doi.org/10.1002/2016WR019776>

- Butler, J. R., Wong, G. Y., Metcalfe, D. J., Honzák, M., Pert, P. L., Rao, N., ... & Brodie, J. E. (2013). An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 180, 176-191. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.017>
- Carreño, L., Frank, F. C., & Viglizzo, E. F. (2012). Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.019>
- Carson, R. T. (2000). Contingent valuation: a user's guide. *Environmental Science & Technology*, 34(8), 1413-1418. <https://doi.org/10.1021/es990728j>
- Carson, R. T., & Hanemann, W. M. (2005). Contingent valuation. *Handbook of environmental economics*, 2, 821-936. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(05\)02017-6](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(05)02017-6)
- Carson, R. T., Flores, N. E., & Meade, N. F. (2001). Contingent valuation: controversies and evidence. *Environmental and resource economics*, 19, 173-210. <https://doi.org/10.1023/A:1011128332243>
- Castán, J. H., Cuesta, E., Espejel, B. O., & Reyes, E. R. (2023). Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. *CIENCIA ergo-sum*, 30(2), 32. <http://doi.org/10.30878/ces.v30n2a5>
- Chan, K. M., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., & Woodside, U. (2012). Where are cultural and social in ecosystem services? A framework for constructive engagement. *BioScience*, 62(8), 744-756. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.8.7>
- Chang, J., Qu, Z., Xu, R., Pan, K., Xu, B., Min, Y., ... & Ge, Y. (2017). Assessing the ecosystem services provided by urban green spaces along urban center-edge gradients. *Scientific reports*, 7(1), 11226. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11559-5>

- Chen, N., Li, H., & Wang, L. (2009). A GIS-based approach for mapping direct use value of ecosystem services at a county scale: Management implications. *Ecological economics*, 68(11), 2768-2776. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.001>
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and urban planning*, 68(1), 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>
- Cho, S. H., Poudyal, N. C., & Roberts, R. K. (2008). Spatial analysis of the amenity value of green open space. *Ecological economics*, 66(2-3), 403-416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.012>
- Cilliers, S., Cilliers, J., Lubbe, R., & Siebert, S. (2013). Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*, 16, 681-702. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0254-3>
- Conway, D., Li, C. Q., Wolch, J., Kahle, C., & Jerrett, M. (2010). A spatial autocorrelation approach for examining the effects of urban greenspace on residential property values. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41, 150-169. <https://doi.org/10.1007/s11146-008-9159-6>
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Costemalle, V. B., Candido, H. M. N., & Carvalho, F. A. (2023). An estimation of ecosystem services provided by urban and peri-urban forests: a case study in Juiz de Fora, Brazil. *Ciência Rural*, 53. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210208>

- Cuccia, T. (2020). Contingent valuation. In *Handbook of Cultural Economics*, Third Edition. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788975803.00016>
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21-28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- Daily, GC (Ed.). 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp. ISBN 1-55963-475-8 hbk), 1 55963 476 6 (soft cover. In *Animal Conservation forum* (Vol. 1, No. 1, pp. 75-76). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1367943098221123>
- Dallimer, M., Irvine, K. N., Skinner, A. M., Davies, Z. G., Rouquette, J. R., Maltby, L. L., & Gaston, K. J. (2012). Biodiversity and the feel-good factor: understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *BioScience*, 62(1), 47-55. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.9>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods, and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaat, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y., (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science* 359, 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

- Dobbs, C., Nitschke, C. R., & Kendal, D. (2014). Global drivers and tradeoffs of three urban vegetation ecosystem services. *PLoS One*, 9(11), e113000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113000>
- Donovan, G. H., Butry, D. T., Michael, Y. L., Prestemon, J. P., Liebhold, A. M., Gatzliolis, D., & Mao, M. Y. (2013). The relationship between trees and human health: evidence from the spread of the emerald ash borer. *American journal of preventive medicine*, 44(2), 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.09.066>
- Eigenbrod, F., Armsworth, P. R., Anderson, B. J., Heinemeyer, A., Gillings, S., Roy, D. B., ... & Gaston, K. J. (2010). The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 47(2), 377-385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01777.x>
- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2078-2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- Farber, S. C., Costanza, R., & Wilson, M. A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics*, 41(3), 375-392. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00088-5)
- Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem Services*, 1(1), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.002>
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80-86. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0080:BEFART\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0080:BEFART]2.0.CO;2)

- Freeman III, A. M., Herriges, J. A., & Kling, C. L. (2014). The measurement of environmental and resource values: theory and methods. Routledge. (Third Edition), RFF Press, Washington, DC
- Fu, X., Wang, X., Zhou, J., & Ma, J. (2021). Optimizing the production-living-ecological space for reducing the ecosystem services deficit. *Land*, 10(10), 1001. <https://doi.org/10.3390/land10101001>
- García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., Willaarts, B. A., Harrison, P. A., Berry, P., del Mar Bayo, M., & Martín-López, B. (2015). Biophysical and sociocultural factors underlying spatial trade-offs of ecosystem services in semiarid watersheds. *Ecology and Society*, 20(3). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07785-200339>
- García-Llorente, M., Martín-López, B., Díaz, S., & Montes, C. (2011). Can ecosystem properties be fully translated into service values? An economic valuation of aquatic plant services. *Ecological Applications*, 21(8), 3083-3103. <https://doi.org/10.1890/10-1744.1>
- Gascoigne, W. R., Hoag, D., Koontz, L., Tangen, B. A., Shaffer, T. L., & Gleason, R. A. (2011). Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA. *Ecological Economics*, 70(10), 1715-1725. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.04.010>
- Gaston, K. J., Ávila-Jiménez, M. L., & Edmondson, J. L. (2013). Managing urban ecosystems for goods and services. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 830-840. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12087>
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological economics*, 86, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

- Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N., Berry, P., Dunford, R., & Harrison, P. A. (2016). Concepts and methods in ecosystem services valuation. *Routledge handbook of ecosystem services*, 99-111, 1st Edition, ISBN 9781315775302
- Greenhalgh, T., Peacock, R., (2005). Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence: audit of primary sources. *BMJ* 331, 1064–1065. <https://doi.org/10.1136/bmj.38636.593461.68>
- Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I. J., Duraipappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M. W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P. M., Keeler, B. L., Li, S., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., Ricketts, T. H., Rockström, J., Tallis, H., & Vira, B. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7348-7355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>
- Haddaway, N.R., Collins, A.M., Coughlin, D., Kirk, S., (2015). The Role of Google Scholar in Evidence Reviews and Its Applicability to Grey Literature Searching. *PLoS ONE* 10, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138237>
- Hanley, N., Wright, R. E., & Adamowicz, V. (1998). Using choice experiments to value the environment. *Environmental and resource economics*, 11, 413-428. <https://doi.org/10.1023/A:1008287310583>
- Hein, L., Van Koppen, K., De Groot, R. S., & Van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders, and the valuation of ecosystem services. *Ecological economics*, 57(2), 209-228. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.005>
- Hsu, K. W., & Chao, J. C. (2020). Economic valuation of green infrastructure investments in urban renewal: the case of the station district in Taichung, Taiwan. *Environments*, 7(8), 56. <https://doi.org/10.3390/environments7080056>

- Irwin, E. G., & Bockstael, N. E. (2001). The problem of identifying land use spillovers: measuring the effects of open space on residential property values. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), 698-704. <https://www.jstor.org/stable/1245102>
- Jamean, E. S., & Abas, A. (2023). Valuation of visitor perception of urban forest ecosystem services in kuala lumpur. *Land*, 12(3), 572. <https://doi.org/10.3390/land12030572>
- Jang-Hwan, J., So-Hee, P., JaChoon, K., Taewoo, R., Lim, E. M., & Yeo-Chang, Y. (2020). Preferences for ecosystem services provided by urban forests in South Korea. *Forest Science and Technology*, 16(2), 86-103. <https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1762761>
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2009). Ecosystem services and valuation of urban forests in China. *Cities*, 26(4), 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.03.003>
- Kalfas, D. G., Zagkas, D. T., Dragozi, E. I., & Zagkas, T. D. (2020). Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 27(4), 310-321. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1714786>
- Kalfas, D. G., Zagkas, D. T., Dragozi, E. I., & Zagkas, T. D. (2020). Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 27(4), 310-321. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1714786>
- Khai, H. V., Van, N. P., & Danh, V. T. (2021). An economic valuation of Forest ecosystem services: a choice modeling application to the Mekong delta project in Vietnam. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business (JAFEB)*, 8(8), 465-473. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no8.0465>
- Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling.

Landscape and urban planning, 95(1-2), 16-27.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.11.001>

Lara-Pulido, J. A., Guevara-Sanginés, A., & Martelo, C. A. (2018). A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services*, 31, 126-141.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.018>

Laurans, Y., Rankovic, A., Billé, R., Pirard, R., & Mermet, L. (2013). Use of ecosystem services economic valuation for decision making: Questioning a literature blindspot. *Journal of Environmental Management*, 119, 208-219. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.008>

Lee, A. C. K., Jordan, H. C., & Horsley, J. (2015). Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing: prospects for planning. *Risk management and healthcare policy*, 131-137. <https://doi.org/10.2147/RMHP.S61654>

Liquete, C., Piroddi, C., Drakou, E.G., Gurney, L., Katsanevakis, S., Chávez, A., Egoh, B., (2016). Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. *PLoS ONE* 11, e0157761.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067737>

Liu, J., Li, S., Ouyang, Z., Tam, C., Chen, X., (2008). Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 9477–9482 <https://doi.org/10.1073/pnas.0706436105>

Lofgren, H., Lee, H. L., & Robinson, S. (2002). A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS (Vol. 5). Intl Food Policy Res Inst.

Loomis, J., Kent, P., Strange, L., Fausch, K., Covich, A. (2000). 2005suring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey. *Ecological Econ.* 33, pp.103–117. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00131-7)

- Lovell, S. T., & Johnston, D. M. (2009). Designing landscapes for performance based on emerging principles in landscape ecology. *Ecology and society*, 14(1). <https://doi.org/10.5751/ES-02912-140144>
- Luangmany, D., Voravong, S., Thanthathep, K. K., Souphonphacdy, D., & Baylatry, M. (2009). Valuing environmental services using contingent valuation method (No. tp200910t4). Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA). URL: <http://www.eepsea.org>
- Martinez-Paz, J. M., Albaladejo-García, J. A., Barreiro-Hurle, J., Pleite, F. M. C., & Perni, Á. (2021). Spatial effects in the socioeconomic valuation of peri-urban ecosystems restoration. *Land Use Policy*, 105, 105426. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105426>
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & Mohedano Caballero, L. (2021). Diversity, structure, and ecosystem services of trees in four parks in Texcoco using i-Tree Eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67), 202-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Martín-López, B., Montes, C., & Benayas, J. (2007). The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. *Biological conservation*, 139(1-2), 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.06.005>
- McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2009). Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees?. *Urban Ecosystems*, 12, 95-113. <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). Washington, DC: Island press.
- Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R. E., Lehner, B., & Ricketts, T. H. (2008). Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of*

- the National Academy of Sciences, 105(28), 9495-9500.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0707823105>
- Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). Green infrastructure and health. *Annual Review of Public Health*, 42, 317-328. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-090419-102511>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4), 115-123.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Nunes, P. A., & van den Bergh, J. C. (2001). Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense?. *Ecological economics*, 39(2), 203-222. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00233-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00233-6)
- Ojea, E., Martin-Ortega, J., Chiabai, A., (2012). Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: the case of forest water services. *Environmental Science & Policy* 19-20, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.02.002>
- Pagiola, S., von Ritter, K., & Bishop, J. (2004). Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. Environment Department Papers. Environmental Economics; no. 101. World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/18391> License: CC BY 3.0 IGO
- Pagiola, S., Zhang, W., & Colom, A. (2009). Can payments for watershed services help save biodiversity? A spatial analysis of highland Guatemala. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 2(1), 7-24.
- Paletto, A., De Meo, I., Grilli, G., & Nikodinoska, N. (2017). Effects of different thinning systems on the economic value of ecosystem services: A case-study in a black pine peri-urban forest

- in Central Italy. *Annals of Forest Research*, 60(2), 313-326.
<https://doi.org/10.15287/afr.2017.799>
- Palmquist, R. B. (2005). Property value models. *Handbook of environmental economics*, 2, 763-819
- Pandit, R., Polyakov, M., Tapsuwan, S., & Moran, T. (2013). The effect of street trees on property value in Perth, Western Australia. *Landscape and Urban Planning*, 110, 134-142.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.001>
- Park, J. H., Kim, S. Y., & Heo, H. K. (2019). Evaluation of the economic value of potential ecosystem services of unexecuted urban planning facilities-focused on urban green spaces and urban forests in Seoul. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 47(4), 24-32. <https://doi.org/10.9715/KILA.2019.47.4.024>
- Parmeter, C. F., & Pope, J. C. (2013). Quasi-experiments and hedonic property value methods. *Handbook on experimental economics and the environment*, 3-66.
<https://doi.org/10.4337/9781781009079.00007>
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... & Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current opinion in environmental sustainability*, 26, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., ... & Polasky, S. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*, 183-256.
<https://www.researchgate.net/publication/303444184>
- Pascual, U., Muradian, R., Rodríguez, L. C., & Duraiappah, A. (2010). Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach. *Ecological economics*, 69(6), 1237-1244. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.004>

- Perez-Verdin, G., Sanjurjo-Rivera, E., Galicia, L., Hernandez-Diaz, J. C., Hernandez-Trejo, V., & Marquez-Linares, M. A. (2016). Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Status and trends. *Ecosystem Services*, 21, 6-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.003>
- Peterson, L. G. (2003). A primer on nonmarket valuation (Vol. 3, pp. 72-82). P. A. Champ, K. J. Boyle, & T. C. Brown (Eds.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-94-007-7104-8.pdf>
- Pisani, D., Pazienza, P., Perrino, E. V., Caporale, D., & De Lucia, C. (2021). The economic valuation of ecosystem services of biodiversity components in protected areas: a review for a framework of analysis for the gargano national park. *Sustainability*, 13(21), 11726. <https://doi.org/10.3390/su132111726>
- Plummer, M. L. (2009). Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 38-45. <https://doi.org/10.1890/080091>
- Posner, S., Getz, C., Ricketts, T., (2016). Evaluating the Impact of Ecosystem Service Assessments on Decision-Makers. *Environmental Science & Policy* 64, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.003>
- Remme, R.P., Schröter, M., Hein, L., (2014). Developing spatial biophysical accounting for multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 10, 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.006>
- Ro, C., Sovann, C., Bun, D., Yim, C., Bun, T., Yim, S., & Irvine, K. N. (2020, August). The economic value of peri-urban wetland ecosystem services in Phnom Penh, Cambodia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 561, No. 1, p. 012013). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012013>

- Robinson, B. E., Holland, M. B., & Naughton-Treves, L. (2014). Does secure land tenure save forests? A meta-analysis of the relationship between land tenure and tropical deforestation. *Global Environmental Change*, 29, 281-293. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.012>
- Rosenberger, R. S., & Loomis, J. B. (2001). Benefit transfer of outdoor recreation use values: A technical document supporting the Forest Service Strategic Plan (2000 revision). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-72. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 p., 72. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-72>
- Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, H., Guerry, A., Daily, G., Kareiva, P., Polasky, S., Ricketts, T., Bhagabati, N., Wood, S. A., & Bernhardt, J. (2015). Notes from the field: Lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. *Ecological Economics*, 115, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.009>
- Sander, H. A., & Haight, R. G. (2012). Estimating the economic value of cultural ecosystem services in an urbanizing area using hedonic pricing. *Journal of environmental management*, 113, 194-205. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.031>
- Sato, M., Ushimaru, A., & Minamoto, T. (2017). Effect of different personal histories on valuation for forest ecosystem services in urban areas: A case study of Mt. Rokko, Kobe, Japan. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.016>
- Schaafsma, M., Brouwer, R., Liekens, I., & De Nocker, L. (2013). Temporal stability of preferences and willingness to pay for natural areas in choice experiments: a test–retest. *Resource and Energy Economics*, 35(3), 243-260. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2014.09.001>

- Schägnier, J.P., Brander, L., Maes, J., Hartje, V., (2013). Mapping ecosystem services' values: Current practice and prospects. *Ecosystem Services* 4, 33–46.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.003>
- Schröter, M., Van der Zanden, E. H., van Oudenhoven, A. P., Remme, R. P., Serna-Chavez, H. M., De Groot, R. S., & Opdam, P. (2014). Ecosystem services as a contested concept: a synthesis of critique and counterarguments. *Conservation Letters*, 7(6), 514-523.
<https://doi.org/10.1111/conl.12091>
- Semeraro, T., Radicchio, B., Medagli, P., Arzeni, S., Turco, A., & Geneletti, D. (2020). Integration of ecosystem services in strategic environmental assessment of a Peri-urban development plan. *Sustainability*, 13(1), 122. <https://doi.org/10.3390/su13010122>
- Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings, and the road ahead. *Journal of applied Ecology*, 48(3), 630-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>
- Sloggy, M. R., Escobedo, F. J., & Sánchez, J. J. (2022). The Role of Spatial Information in Peri-Urban Ecosystem Service Valuation and Policy Investment Preferences. *Land*, 11(8), 1267.
<https://doi.org/10.3390/land11081267>
- Smith, V. K., Van Houtven, G., & Pattanayak, S. K. (2002). Benefit transfer via preference calibration: “Prudential algebra” for policy. *Land Economics*, 78(1), 132-152.
<https://doi.org/10.2307/3146928>
- Tallis, H., Kareiva, P., Marvier, M., & Chang, A. (2008). An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9457-9464.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0705797105>

- Tallis, H., Ricketts, T. H., Daily, G. C., & Polasky, S. (2011). *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.
- Taylor, L. O. (2003). The hedonic method. A primer on nonmarket valuation, 331-393.
- Tinch, R., Beaumont, N., Sunderland, T., Ozdemiroglu, E., Barton, D., Bowe, C., & Ziv, G. (2019). Economic valuation of ecosystem goods and services: a review for decision makers. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 8(4), 359-378. <https://doi.org/10.1080/21606544.2019.1623083>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Troy, A., & Wilson, M. A. (2006). Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological economics*, 60(2), 435-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.04.007>
- Tu, G., Abildtrup, J., & Garcia, S. (2016). Preferences for urban green spaces and peri-urban forests: An analysis of stated residential choices. *Landscape and Urban Planning*, 148, 120-131.
- Turner, R. K., Paavola, J., Cooper, P., Farber, S., Jessamy, V., & Georgiou, S. (2003). Valuing nature: Lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 46(3), 493-510. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00189-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00189-7)
- Tyrväinen, L., & Miettinen, A. (2000). Property prices and urban forest amenities. *Journal of environmental economics and management*, 39(2), 205-223. <https://doi.org/10.1006/jeem.1999.1097>

- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., & De Vries, S. (2005). Benefits and uses of urban forests and trees. *Urban forests and trees: A reference book*, 81-114. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_5
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Vecchiato, D., & Tempesta, T. (2013). Valuing the benefits of an afforestation project in a peri-urban area with choice experiments. *Forest Policy and Economics*. 26, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.10.001>
- Vejre, H., Jensen, F. S., & Thorsen, B. J. (2010). Demonstrating the importance of intangible ecosystem services from peri-urban landscapes. *Ecological complexity*, 7(3), 338-348. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.09.005>
- Westman, W. E. (1977). How Much Are Nature's Services Worth? Measuring the social benefits of ecosystem functioning is both controversial and illuminating. *science*, 197(4307), 960-964. <https://doi.org/10.1126/science.197.4307.960>
- Whitehead, J., Haab, T., & Huang, J. C. (Eds.). (2012). *Preference data for environmental valuation: combining revealed and stated approaches* (Vol. 31). Routledge. ISBN: 978-415-77464-2. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2mrAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Preference+data+for+environmental+valuation:+combining+revealed+and+stated+approaches.+&ots=cJLjiqWLbG&sig=lxJk97J6eHswRI4lnQ_f9zA569Y#v=onepage&q=Preference%20data%20for%20environmental%20valuation%3A%20combining%20revealed%20and%20stated%20approaches.&f=false

- Wilbanks, T. J., & Fernandez, S. (2014). Climate change and infrastructure, urban systems, and vulnerabilities: Technical report for the US Department of Energy in support of the national climate assessment. Island Press.
- Xepapadeas, A. (2011). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, edited by Pushpam Kumar, 2010, London and Washington: Earthscan, ISBN 978-1-84971-212-5 <https://doi.org/10.1017/S1355770X11000088>
- Xu, H. J., Li, S., Su, J. Q., Nie, S. A., Gibson, V., Li, H., & Zhu, Y. G. (2014). Does urbanization shape bacterial community composition in urban park soils? A case study in 16 representative Chinese cities based on the pyrosequencing method. *FEMS Microbiology Ecology*, 87(1), 182-192. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12215>
- Xu, L., You, H., Li, D., & Yu, K. (2016). Urban green spaces, their spatial pattern, and ecosystem service value: The case of Beijing. *Habitat International*, 56, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.04.005>
- Yang, H., Cao, J., & Hou, X. (2023). Study on the Evaluation and Assessment of Ecosystem Service Spatial Differentiation at Different Scales in Mountainous Areas around the Beijing–Tianjin–Hebei Region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1639. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021639>
- Zandersen, M., Termansen, M., & Jensen, F. S. (2007). Evaluating approaches to predict recreation values of new forest sites. *Journal of Forest Economics*, 13(2-3), 103-128. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2007.02.003>
- Zhang, X., Estoque, R. C., Xie, H., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2019). Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. *PloS one*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210707>

- Zhong, Q., Zhang, L., Zhu, Y., Konijnendijk van den Bosch, C., Han, J., Zhang, G., & Li, Y. (2020). A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services of brownfield greening from a systematic perspective. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1743206. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1743206>
- Zinia, N. J., & McShane, P. (2021). Urban ecosystems and ecosystem services in megacity Dhaka: mapping and inventory analysis. *Urban Ecosystems*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01076-1>

CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 2:

Servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco

Ecosystem services of four peri-urban forest systems through i-Tree Eco

Liborio González-Hernández^{1*}, José Luis Romo-Lozano¹, David Cristóbal-Acevedo², Miguel Ángel Martínez Damian¹, Leopoldo Mohedano Caballero³.

¹División de Ciencias Económico-Administrativas, ²Departamento de Suelos, ³División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México – Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

*Corresponding author: jlromo@aya.yale.edu, tel.: 5951099537

Resumen

La presión urbana sobre los recursos forestales que conforman la estructura verde de los asentamientos humanos pone en riesgo la provisión de los servicios ecosistémicos y su funcionamiento. El objetivo de esta investigación fue estimar el valor económico de cinco servicios ecosistémicos que ofrece la estructura verde de cuatro sistemas forestales periurbanos en Tequexquináhuac, Texcoco de Mora, Estado de México. Se realizó un censo y análisis económico para cada sistema utilizando el programa *i-Tree Eco*. Se determinó una población arbórea de 276 individuos dentro de los cuatro sistemas forestales periurbanos, se comprobó que estos almacenan 13.04 toneladas de carbono con un valor de MXN 48 166, considerando el tipo de cambio de 20.12 pesos mexicanos promedio por dólar estadounidense para el año 2022; y que los valores funcionales anuales del arbolado periurbano evaluado proporcionan: captura de carbono de 690.26 kg año⁻¹ (MXN 2545); escurrimiento evitado 74.95 kg año⁻¹ (MXN 3144); eliminación de la contaminación 58.94 kg año⁻¹ (MXN 136 100); producción de oxígeno 1840.7 kg año⁻¹; y un costo de remplazo conjunto de MXN 1 086 000. Los resultados demuestran que los servicios ecosistémicos generados por la estructura verde de los cuatro sistemas forestales periurbanos

brindan un servicio tangible en el desarrollo ambiental, económico y social del asentamiento urbano.

Palabras clave: Almacén de carbono, captura de carbono, costo de remplazo, eliminación de contaminantes, escurrimiento evitado, producción de oxígeno.

Abstract

Urban pressure on forest resources that make up the green structure of human settlements puts the provision of ecosystem services and their functioning at risk. The objective of this research was to estimate the economic value of five ecosystem services offered by the green structure of four peri-urban forest systems in Tequexquináhuac, Texcoco de Mora, State of Mexico. A census and economic analysis were carried out for each system using the i-Tree Eco program. A tree population of 276 individuals will be completed within the four peri-urban forest systems, it was found that they store 13.04 tons of carbon with a value of MXN 48 166 and that the annual functional values of the peri-urban trees evaluated: carbon capture of 690.26 kg year⁻¹ (MXN 2545); avoided runoff 74.95 kg year⁻¹ (MXN 3144); pollution removal 58.94 kg yr⁻¹ (MXN 136 100); oxygen production 1840.7 kg year⁻¹; and a joint replacement cost of MXN 1 086 000. The results show that the ecosystem services generated by the green structure of the four peri-urban forest systems provide a tangible service in the environmental economic and social development of the urban settlement.

Keywords: Carbon storage, carbon capture, replacement cost, pollution removal, runoff avoidance, oxygen production.

INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos (SE) engloban todos los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, abarcando procesos físicos, químicos y biológicos que son fundamentales para el desarrollo humano, ya que proporcionan materia prima y energía utilizada en diversas actividades (Pardo *et al.* 2022; Young, 2010). La dependencia del bienestar que otorgan los SE está justificada principalmente en la obtención y generación de alimentos, agua, regulación del clima, satisfacción espiritual y el placer estético (Fisher *et al.* 2009).

Los asentamientos urbanos como espacios con gran concentración de actividades humanas despiertan el interés de los investigadores por los componentes esenciales de su estructura verde, ambiental, social y económica (Kim *et al.* 2015; Pérez y López, 2015). La sostenibilidad de los servicios ecosistémicos se determina, principalmente, por los efectos que las actuales prácticas de producción y consumo ejercen sobre el medio ambiente, y que también está influenciada por las interacciones con diversos grupos sociales (Hernández, 2009).

La salud, aprovechamiento e interacción de los bosques urbanos y periurbanos con los componentes bióticos y abióticos influye directa e indirectamente en la calidad de vida y bienestar humano (Riondato *et al.* 2020), aunque en algunos casos existe una sobreexplotación de estos recursos amenazados por las actividades antrópicas que avanzan de forma descontrolada (Aguirre *et al.* 2018; Benavides y Fernández, 2012).

Los ecosistemas urbanos y periurbanos generalmente son analizados por el impacto que generan a los ecosistemas y a su biodiversidad, sin embargo, el paisaje se vuelve intermediario entre la naturaleza y los seres humanos (Nassauer, 2012). Aunque el impacto de los asentamientos urbanos es significativo en los ecosistemas, aun así, se pueden definir estrategias de acción aplicando los

conceptos de biodiversidad y manejo sustentable al arbolado urbano y periurbano (Liu y Opdam, 2014).

Los principales servicios ecosistémicos se clasifican en las categorías provisión, regulación, prevención y servicios culturales, dependiendo de la vinculación de cada componente con el valor social que se le puede atribuir (Cheng Zhang *et al.* 2022; Haines y Potschin, 2018). Con estos se abastece el bienestar de los seres humanos, sin embargo, aunque esta generación de servicios ecosistémicos es dinámica, comprender cómo se relacionan entre sí representa un gran reto social, económico y ambiental para con ello mejorar la capacidad de gestionar los recursos de manera sostenible (Bennett *et al.* 2009).

Dado el valor intrínseco de la naturaleza, resulta complejo determinar los servicios ecosistémicos de la estructura verde urbana y periurbana (Camacho y Ruiz, 2012), sin embargo, los avances en integración de variables cada vez más específicas en modelos de programas de cómputo, contribuyen a que se tenga una integración de elementos antes no considerados dentro de los sistemas y sus relaciones (Sahagún *et al.* 2020). Por ejemplo, *i-Tree Eco* es un programa diseñado para resolver a través de variables específicas la relación y participación de desarrollo del medio ambiente, la sociedad y la economía (Lin *et al.* 2020).

El software *i-Tree Eco* fue diseñado por el Departamento del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, se utiliza para evaluar las condiciones de sistemas forestales urbanos que proveen servicios ambientales, económicos y sociales a un determinado núcleo urbano, y se caracteriza por ser un programa específico e integrador de variables no frecuentemente estudiadas (Baró *et al.* 2015; Graça *et al.* 2018).

El programa permite hacer una caracterización de la estructura del bosque urbano además de cuantificar y valorar los servicios ambientales que estos proveen al asentamiento contiguo, indicando una influencia en términos económicos, sociales y ambientales (Benavides y Fernández, 2012). El software *i-Tree Eco*, originalmente diseñado para bosques urbanos, brinda una gama de posibilidades y maneras de complementar su funcionamiento, en esta investigación se utilizó como complemento el análisis del flujo promedio del viento sobre la cuenca del Valle de México registrado en las estaciones meteorológicas de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A) (Jáuregui y Luyando, 1992). Con ello fue posible demostrar la presencia de contaminación procedente de la cuenca baja del Valle de México, a pesar de que este asentamiento se encuentra ubicado a una distancia aproximada de 25 km de los sistemas evaluados, destacando con ello la importancia de su valoración.

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación fue estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos generados por cuatro sistemas forestales que componen la estructura verde periurbana de Tequexquináhuac, Texcoco de Mora, Estado de México, a través de *i-Tree Eco*. Dichos servicios corresponden a almacén de carbono, captura de carbono, costo de remplazo, eliminación de contaminantes, escurrimiento evitado y producción de oxígeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en cuatro sistemas forestales periurbanos localizados dentro del predio forestal denominado Las Cruces, en la parte media de la cuenca del Río Chapingo al suroeste

del poblado de Tequexquináhuac, municipio de Texcoco, Estado de México, a 2 km del asentamiento urbano principal, a 8.5 km de Texcoco y a 25 km de Ciudad de México. El predio cuenta con una superficie de 326 ha., en un área delimitada por las coordenadas 19°27'50.55" a 19°27'6.54" de latitud norte y 98°49'34.65" a 98°48'3.54" de longitud oeste, con características representativas de las condiciones de los bosques periurbanos circundantes.

El clima predominantemente es C(w1) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2020) templado subhúmedo, aunque notoriamente con una cobertura vegetal no característica de este clima, debido a reforestaciones con especies no nativas, con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C; y una precipitación anual promedio de 613.2 mm. El suelo se caracteriza por ser toba volcánica formada por acumulación de cenizas volcánicas en erupciones piroclásticas.

La masa forestal descrita anteriormente cuenta con características heterogéneas, por ello, se consideró evaluar cuatro sistemas representativos del sitio, las diferencias de estructura resaltan, debido a las condiciones de microclima generadas por el tipo de cobertura vegetal, así como por las condiciones de la presión humana ejercida sobre el predio.

Se seleccionaron cuidadosamente características representativas de los sitios propuestos, la principal base de la selección se centró en la presencia y abundancia de vegetación arbórea dominante, así como en la degradación del suelo y el número de individuos presentes en cada sitio. Estas variables fueron elegidas con el propósito de asegurar que el análisis de la estructura resultante fuera representativo y aplicable en todo el predio. De esta manera, se garantiza que los resultados obtenidos sean generalizables y reflejen fielmente la realidad del área en estudio para una extrapolación de resultados dentro del predio y bosques próximos al asentamiento.

Las generalidades características de cada sitio

Sistema 1

El sistema cuenta con una superficie de 2056 m²; una cobertura vegetal $\leq 45\%$; su estrato arbóreo está conformado por: *Casuarina equisetifolia* L., *Buddleja cordata* Kunth y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., además de algunos arbustos destacados como el *Senecio salignus* DC y *Symphoricarpos microphyllus* Kunth, caracterizándose por encontrarse en agrupaciones localizadas en los sistemas. El suelo presenta tres clases de textura, franca, franca arcillosa y franca arcillosa arenosa, este sistema se caracteriza por tener cárcavas generadas por la escorrentía y la falta de cobertura vegetal media y baja.

Sistema 2

Este sistema destaca por la dominancia de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, con alta densidad de copa y cobertura superficial de materia orgánica en proceso de descomposición, bajo la presencia de este tipo de vegetación en el suelo sigue predominando la tova volcánica de color café amarillento y clases de textura franco-arcillosa, franca y franco arcillo arenosa, predominando esta última.

Dentro de los 2676 m² con los que cuenta el sistema de superficie, las principales especies encontradas son *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Cupressus lusitánica* Mill. Además de arbustos; *Senecio salignus* DC y *Symphoricarpos microphyllus* Kunth, pero con una representatividad $\leq 60\%$ total de la superficie del sistema.

Sistema 3

Las principales especies arbóreas presentes son: *Cupressus lusitánica* Mill, *Arbutus sp* y *Pinus montezumae* Lamb., que a lo largo del tiempo han sido introducidas y han conformado una diversidad no representativa del sitio. Este sistema presenta una superficie de 605 m² con cobertura vegetal $\leq 23\%$. El suelo presenta textura franca arcillosa, es decir, suelos ligeramente pegajosos y plásticos durante la presencia de precipitación y que endurecen al secar. Además, presenta degradación significativa por la influencia humana ocasionada, principalmente, por

deforestaciones, pastoreo e incluso manipulación de estructura de suelo para prácticas de siembra, lo que representa la condición de mayor intervención y deterioro del predio.

Sistema 4

Se caracteriza por la presencia de *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus montezumae* Lamb. y *Arbutus* sp. dentro de los 1435 m², además de un bajo porcentaje de cobertura $\leq 27\%$. El suelo se caracteriza por presentar textura franca y franca arcillo arenosa, predominando esta última $\geq 70\%$ de la superficie.

Este sistema representa las condiciones con mayor estabilidad, abundante cobertura vegetal y posiblemente la representatividad del predio con menor interacción humana.

Obtención de datos

En el periodo junio-diciembre de 2022 se realizó el levantamiento de la información en los cuatro sistemas forestales periurbanos, esto de acuerdo con el manual de toma de datos de *i-Tree Eco*, que pide determinar el número total de individuos arbóreos que generan la interacción con cada uno de los sistemas, identificar botánicamente el total de las especies para cada sistema y generar una base de datos codificada para que la identifique el software.

Las variables que se midieron fueron: diámetro normal (cm) con forcípula *Haglöf Sweden AB*, diámetro de la copa (m) con longimetro, en dos direcciones, norte-sur y este-oeste, altura total (m) con altímetro *Haga*, altura de fuste limpio (m) y altura de copa viva solo para árboles con diámetro mayor a 2.5 cm. También se estimó el porcentaje de copa faltante de cada individuo, haciendo referencia a la “perfección cónica” del árbol, el porcentaje de muerte progresiva y la exposición que tiene cada ejemplar a la luz durante todo el día; en total se registraron 276 árboles en los cuatro sistemas.

Cómputo de datos dasométricos de los sistemas forestales periurbanos

Una vez que se determinaron las variables necesarias para la aplicación del software *i-Tree Eco* en hojas de cálculo *Microsoft Excel*® 365 y que se verificó la calidad de los datos mediante la prueba en “RStudio” Shapiro-Wilk para comprobar su normalidad, se determinaron los siguientes servicios ecosistémicos (SE): almacenamiento de carbono, secuestro de carbono, eliminación de la contaminación, producción de oxígeno y escurrimiento evitado.

Las estimaciones específicas para cada uno de los SE analizados están determinadas por elementos de análisis propios de *i-Tree Eco* y por los precios estandarizados para cada uno de los servicios determinados en el periodo de aplicación de la presente investigación (2022), en este caso se consideró lo siguiente:

Estimación de la contaminación eliminada mediante *i-Tree Eco*

El Software *i-Tree Eco* estima captura de contaminantes, así como el valor asociado y el mejoramiento en la calidad del aire del bosque periurbano.

El flujo de contaminantes (F, en $\text{g.m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se estima como;

$$F = V_d * C$$

Donde:

V_d: Velocidad de deposición en ms^{-1}

C: Concentración de contaminante (en g.m^{-3})¹

El valor de la eliminación de los contaminantes se calculó con base en los precios por kilogramo establecidos para México en 2022; el precio del monóxido de carbono fue de MXN 32 por kilogramo (CO), MXN 1223 por kilogramo de ozono (O₃), MXN 66 por kilogramo de dióxido de

sulfuro (SO₂), MXN 182 por kilogramo de dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado menor a 2.5 micrones MXN 42 460 por kilogramo (PM_{2.5}) y MXN 502 por kilogramo (PM₁₀).

Almacenamiento de carbono y secuestro de carbono

Para su cálculo fue necesario obtener la biomasa de cada árbol a través de ecuaciones alométricas disponibles en la literatura como referentes para los datos de los árboles medidos de los cuatro sistemas y ya contenidas dentro de *i-Tree Eco*.

Para calcular la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se añadió el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase diamétrica y condición del arbolado al diámetro existente del mismo (año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año x + 1.

Para este análisis, los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se calcularon de MXN 3688 por tonelada.

Producción de oxígeno

La cantidad de oxígeno producido se estima por *i-Tree Eco* a partir del cálculo de secuestro de carbono, donde se asigna un valor de la producción de oxígeno por tonelada, donde:

La liberación neta de O₂ (kg*año) = Secuestro neto de carbono (kg*año).

Escurrecimiento evitado

Para designar el valor del escurrecimiento se utilizó el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convirtió al tipo de cambio local con tasas definidas. Para este análisis, el precio estimado fue de MXN 4.91 m³.

Valor de sustitución

El cálculo de los valores de sustitución está basado en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje de los EE. UU., que usa la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol incluidos en el análisis principal de *i-Tree Eco* (Nowak y Aeevermann, 2019; Nowak *et al.* 2019).

RESULTADOS

Fueron evaluados un total de 276 árboles, entre estos se observó una predominancia de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., además de *Cupressus lusitanica* Mill., al desglosar por especies, se encontró que *E. camaldulensis* Dehnh., representa 63% de los árboles registrados, seguido de *C. lusitanica* Mill., con 21.7% y *Arbutus sp.* con 5.8%.

La cobertura foliar de los cuatro sistemas representa 54.15% del total de superficie evaluada (6817 m²), y proporcionan 1.69 ha del área de cobertura de hojas. Las especies que dominan en términos de área foliar son *C. lusitanica* Mill., *E. camaldulensis* Dehnh. y *P. montezumae* Lamb. El valor de importancia (VI) se calcula a partir del porcentaje de la población y el área foliar. Sin embargo, valores altos de VI no necesariamente indican una mejora para el sitio, simplemente reflejan que estas especies dominan actualmente la estructura del bosque urbano (Tabla 1).

Tabla 3. Los valores de importancia (VI)

Nombre de la especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de hojas	VI
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	63	39.7	102.8
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	21.7	45.8	67.5
<i>Pinus montezumae</i> Lamb	5.1	9	14.1
<i>Arbutus sp</i>	5.8	3.7	9.5

<i>Buddleja cordata</i> Kunth	1.8	1.4	3.2
<i>Casuarina equisetifolia</i> L	2.5	0.4	2.9

Para la eliminación de contaminantes, los sistemas evaluados mostraron una marcada eficiencia para erradicar el ozono. Los árboles en dichos sistemas contribuyeron a neutralizar cerca de 58.94 kg/año⁻¹ de diversos contaminantes como O₃, CO, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀* y SO₂. El costo económico derivado de esta purificación del aire se estima en MXN 22 700, MXN 39 100, MXN 55 500 y MXN 18 800 pesos para cada uno de los sistemas, respectivamente (Fig. 1).

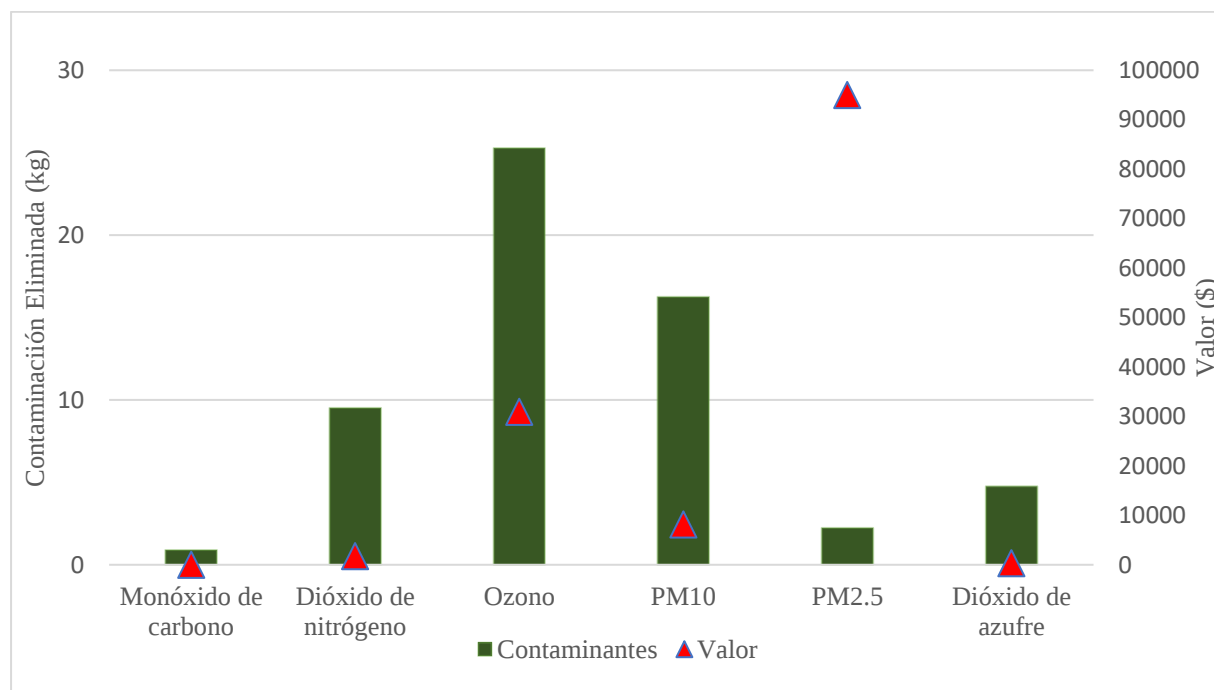


Figura 1. Eliminación anual de contaminación de los cuatro sistemas periurbanos evaluados

Contaminación

Durante el año 2022, en los cuatro sistemas, los árboles liberaron aproximadamente 46.22 kg de compuestos orgánicos volátiles (COV): 25.05 kg de isopreno y 21.17 kg de monoterpenos. La

monitorización de estos COV es vital, dado su papel determinante en la generación de ozono atmosférico.

Se evidencia que la eliminación de contaminantes varió significativamente según las estaciones del año. Durante las épocas frías, los índices de eliminación de contaminación fueron inferiores en comparación con la primavera y el verano (Fig. 2). Este patrón es notable en O_3 , CO y $PM_{2.5}$, mostrando mínimas fluctuaciones. Sin embargo, para PM_{10} , NO_2 y SO_2 , hay un marcado incremento en las cantidades eliminadas de estos contaminantes para dichos periodos.

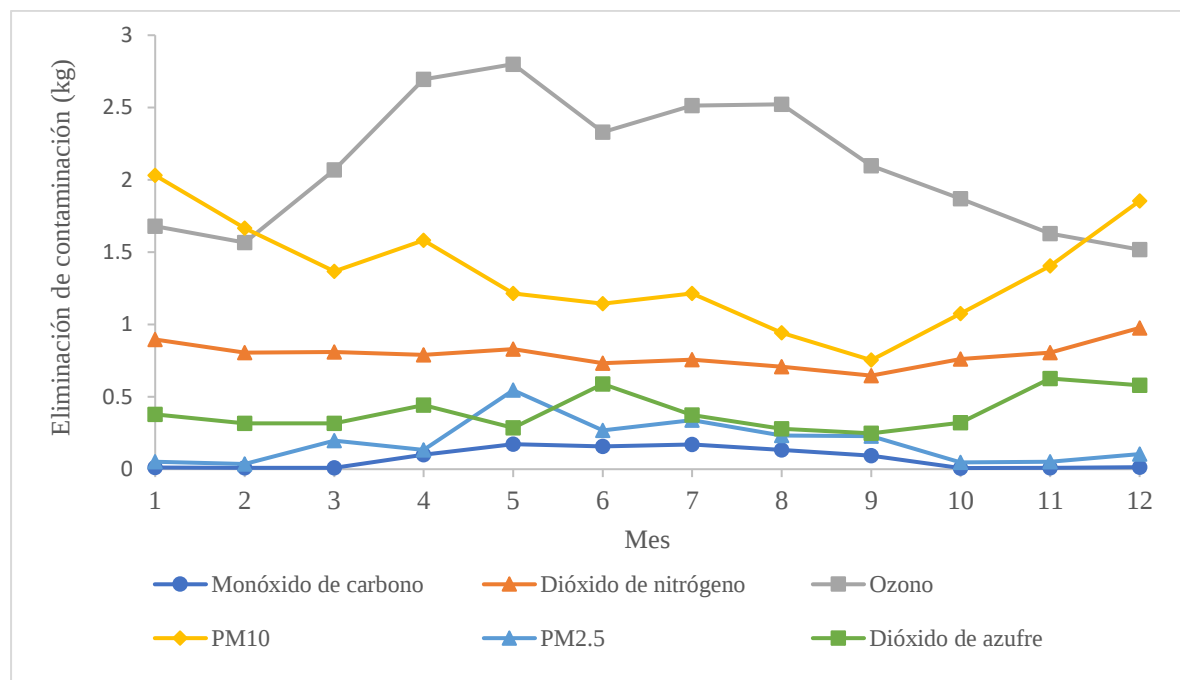


Figura 2. Comportamiento de cuatro sistemas periurbanos en la eliminación de contaminación en el año 2022

Aunque todos los contaminantes eliminados por los sistemas son relevantes, es evidente que los de mayor impacto económico son O_3 y $PM_{2.5}$ para la zona evaluada (Fig. 3). Esta relevancia se debe principalmente al precio por kilogramo en el mercado nacional y a las concentraciones detectadas en las zonas evaluadas. Este dato subraya que, incluso en un contexto periurbano, la capacidad purificadora de los árboles es significativamente impactante.

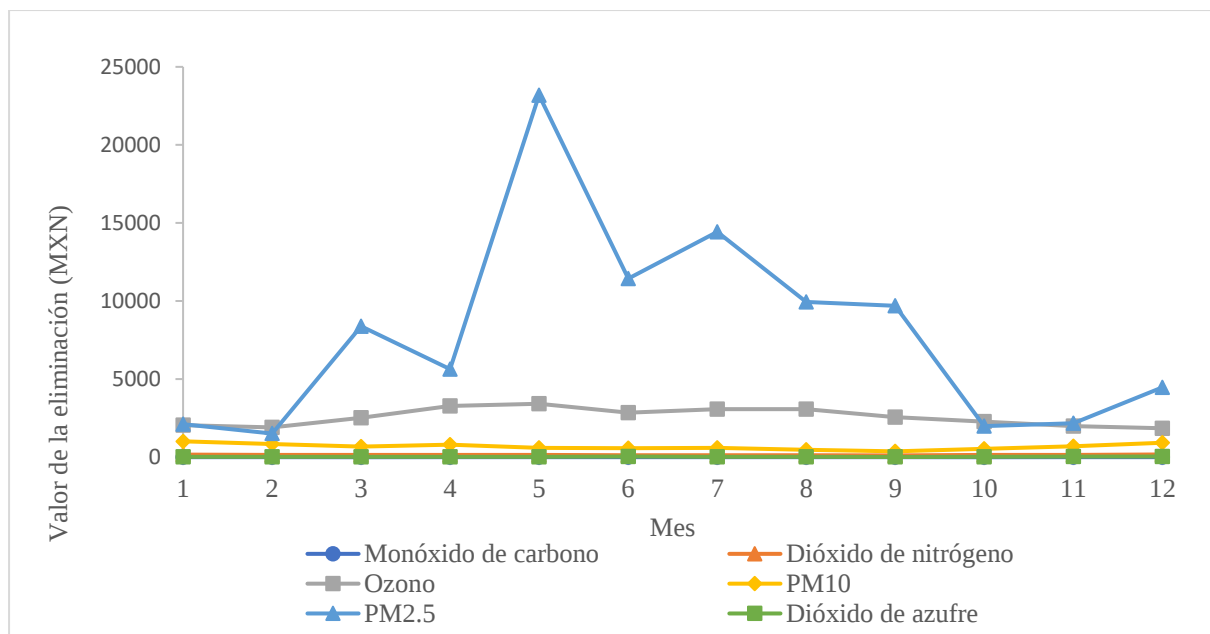


Figura 3. Valoración económica de eliminación de contaminantes en el año 2022

En el almacenamiento y secuestro de carbono, los árboles han demostrado su capacidad al retener un impresionante total de 13.04 toneladas de carbono, con un valor estimado en MXN 48 108. Este dato resalta la profunda habilidad de los árboles para servir como reservorios de carbono, en comparación con el proceso activo de secuestro de carbono por parte de las especies evaluadas. Este contraste se visualiza claramente en la figura 4, reafirmando el papel crucial que desempeñan estos árboles en la mitigación del cambio climático y en la estabilidad ambiental de la región.

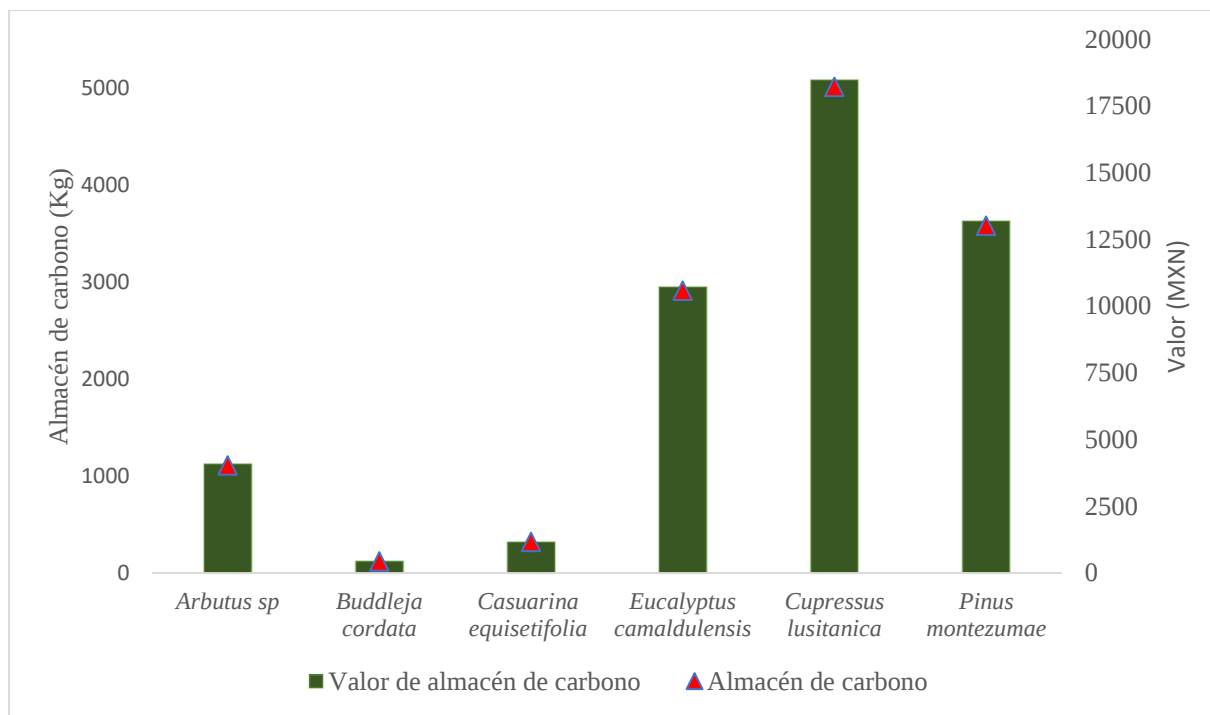


Figura 4. Almacén y valor de carbono por especie dominante presente en cuatro sistemas periurbanos

En el análisis de los cuatro sistemas se determinó que el secuestro bruto de carbono alcanzó un total de $0.69 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$, tal como se ilustra en la figura 5. Este resultado, con un valor asociado de MXN 2545, es el reflejo combinado de las contribuciones de las diversas especies arbóreas presentes en dichos sistemas. Es notable cómo cada especie, con sus características y capacidades únicas, contribuye colectivamente a este significativo proceso de captura de carbono.

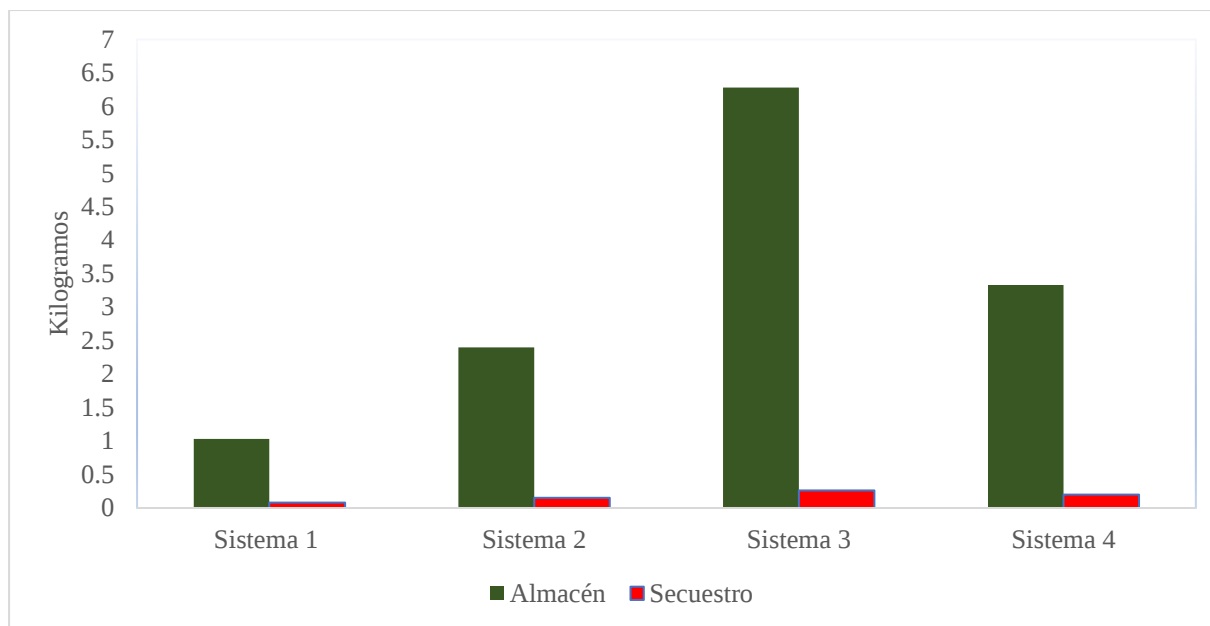


Figura 5. Comparación entre almacén y secuestro de carbono para los cuatro sistemas periurbanos

Para un estudio detallado sobre el secuestro de carbono clasificado por especies, se destacan dos especies primordiales debido a su alta capacidad de absorción de CO₂. En primer lugar, *Cupressus lusitanica*, la cual tiene una capacidad de secuestrar hasta 835.2 kg de carbono. Muy cerca de este valor, la especie *Eucalyptus camaldulensis* muestra una absorción de 686.61 kg. Estos datos se pueden observar con más detalle en la figura 6.

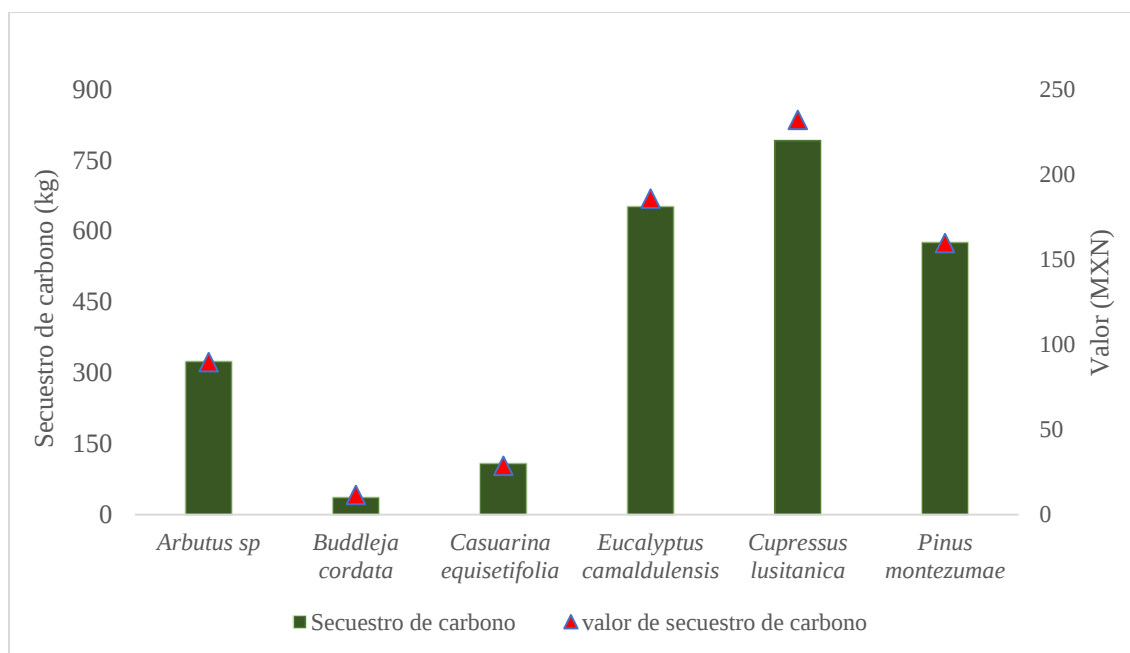


Figura 6. Secuestro bruto y valor de carbono por especie presente en cuatro sistemas periurbanos

Dentro del conjunto de especies evaluadas en cuanto a su capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono, *Cupressus lusitanica* destaca significativamente. Esta especie no solo almacena una considerable cantidad de carbono, sino que también es responsable de secuestrar una porción importante del mismo. En términos específicos, *C. lusitanica* almacena 38.39% del total de carbono, mientras que representa 31.8% de todo el carbono que ha sido secuestrado entre las especies muestreadas. Esta información resalta la relevancia de esta especie en las iniciativas de captura y almacenamiento de carbono.

En el estudio realizado se observó una constante en relación con la producción de oxígeno y el secuestro de carbono. Específicamente, las especies *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus camaldulensis* sobresalieron en todos los sistemas, siendo identificadas como las principales productoras de oxígeno. Además, estas mismas especies mostraron una fuerte correlación con el mayor secuestro bruto de carbono entre todas las especies evaluadas. Esta relación y su prominencia en los cuatro sistemas pueden apreciarse en la figura 7. Es evidente la importancia de

estas especies en la reforestación y gestión ambiental del sitio, dada su destacada capacidad para mejorar la calidad del aire y combatir el cambio climático, inclusive considerando que no son especies nativas.

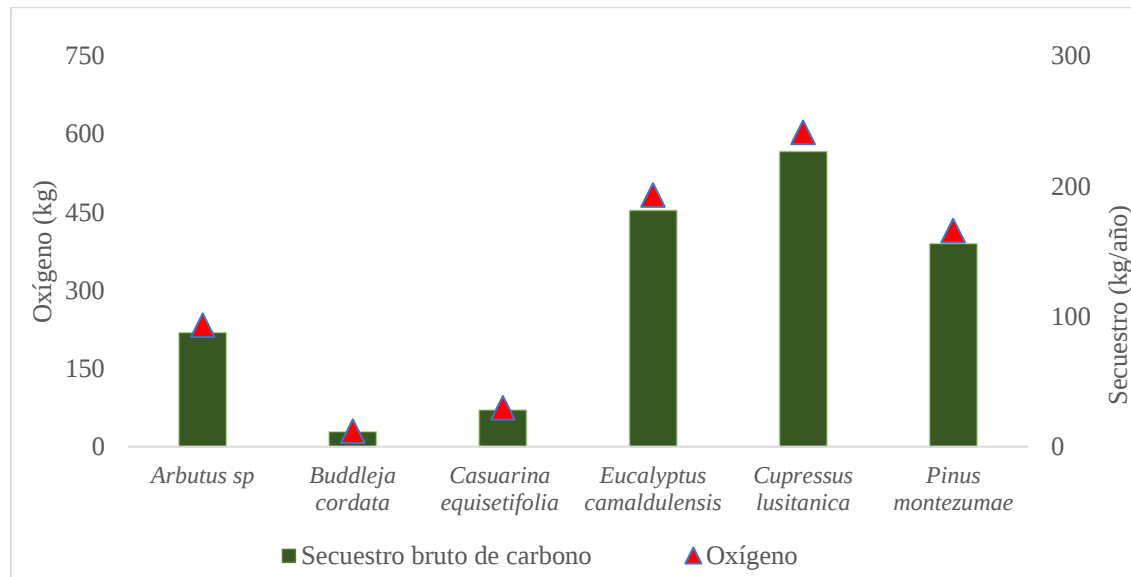


Figura 7. Producción de oxígeno y secuestro de carbono por especie presente en cuatro sistemas periurbanos

Se observó que los árboles generan cantidades diferenciadas de oxígeno: 205 kg, 409.3 kg, 688.3 kg y 538.1 kg anuales respectivamente para cada sistema. Sin embargo, es esencial contextualizar esta contribución. A pesar de que estos valores resaltan la función vital de los árboles en la producción de oxígeno, su impacto en el balance global es relativamente limitado. Esto se debe a que la atmósfera ya cuenta con una gran y estable concentración de oxígeno, como es el caso de los sistemas acuáticos, especialmente las algas y el fitoplancton, que contribuyen de manera extensiva a la producción global de oxígeno, eclipsando en gran medida la aportación realizada por los árboles.

Por otro lado, se determinó el papel crucial que desempeñan los árboles en la mitigación del escurrimiento de agua. Estos sistemas de árboles logran reducir el escurrimiento en una medida

significativa de $70.68 \text{ m}^3 \cdot \text{año}$, lo que se traduce en un ahorro económico valorado en MXN 3141 pesos. Es importante entender que el cálculo del escurrimiento evitado se realiza tomando como referencia las condiciones meteorológicas específicas de la localidad en cuestión, basadas en datos obtenidos de la estación meteorológica analizada. Esta función de los árboles no solo tiene un impacto económico, sino que también contribuye a la conservación del suelo y a la prevención de inundaciones en la región.

Según los datos, los árboles de cada sistema evitan escurrimientos de $11.65 \text{ m}^3 \cdot \text{año}$, $20.22 \text{ m}^3 \cdot \text{año}$, $28.44 \text{ m}^3 \cdot \text{año}$ y $9.64 \text{ m}^3 \cdot \text{año}$. Estas cifras representan un ahorro económico de MXN 523, MXN 908, MXN 1277 y MXN 433 pesos para cada sistema respectivamente, como se puede observar con más detalle en la figura 8.

Lo que resulta especialmente notable es que estos árboles, a pesar de encontrarse en estados de degradación y estar ubicados en zonas periurbanas, siguen proporcionando un beneficio ambiental y económico considerable. Esta información resalta la importancia de la conservación y gestión de los árboles, incluso en áreas donde podrían percibirse como menos vitales o prioritarias.

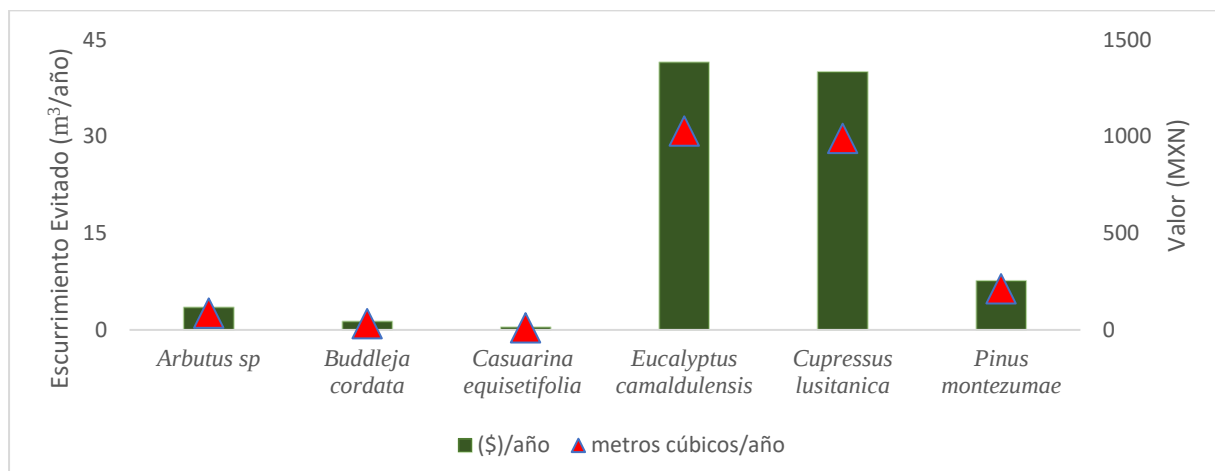


Figura 8. Escurrimiento evitado y valor para las especies con mayor impacto general en el escurrimiento de los cuatro sistemas periurbanos

DISCUSIÓN

A medida que las ciudades se desarrollan y expanden, las áreas periurbanas enfrentan desafíos crecientes en la gestión sostenible del territorio. El análisis de los cuatro sistemas resalta la importancia crítica de las especies forestales en estas zonas, las cuales otorgan beneficios ambientales, económicos y sociales significativos (Castán *et al.* 2023). La riqueza y diversidad de estas especies analizadas concuerda con hallazgos de diversidad en sistemas urbanos y periurbanos de diferentes partes del mundo, como se destaca en las investigaciones de Alpaidze y Salukvadze (2023); Costemalle *et al.* (2023); Doick *et al.* (2016); Gong *et al.* (2022); Kalfas *et al.* (2020); Martinez-Paz *et al.* (2021); Raum *et al.* (2019); Riondato *et al.* (2020).

Los resultados muestran que los sistemas tienen coberturas significativamente homogéneas en área foliar y cobertura al igual que lo obtenido por Admasu *et al.* (2023); Aziz *et al.* (2023); Dobbs *et al.* (2014); Zhong *et al.* (2020); y en sistemas periurbanos de distintas partes del mundo, sin embargo, en el ámbito de la investigación urbana y periurbana, las metodologías adoptadas pueden ser notablemente diversas.

Esta variabilidad metodológica refleja la complejidad y multidimensionalidad de las áreas urbanas y periurbanas, y subraya la necesidad de enfoques holísticos que abarquen tanto el ambiente físico como el contexto social (Gascoigne *et al.* 2011; Paletto *et al.* 2017 y Ro *et al.* 2020).

Los datos obtenidos reflejan una ocupación foliar total de 30.7%. Este porcentaje es comparable con los hallazgos de Ross *et al.* (2020) y Song *et al.* (2020) en sus investigaciones sobre parques urbanos, lo que respalda similitudes entre las condiciones de dichos parques y las de los sistemas periurbanos evaluados.

En el estudio sobre la mitigación de contaminantes, los datos evidencian una reducción significativa en las concentraciones de ozono en los cuatro sistemas evaluados. Esta tendencia está en línea con los hallazgos de Gong *et al.* (2022), quienes resaltaron la función vital de los árboles en los sistemas urbanos y periurbanos para contrarrestar la presencia del ozono, un contaminante que predomina.

A través de una evaluación cuantitativa, se determinó que los árboles de estos sistemas consiguieron eliminar aproximadamente 58.94 kg/año de variados contaminantes atmosféricos. Este notable desempeño ambiental conlleva implicaciones económicas, generando un ahorro estimado en MXN 136 100 pesos. Es relevante mencionar que esta economía, derivada de la intervención natural de los árboles, es congruente con estudios anteriores. Investigaciones de Arroyave *et al.* (2019); Pace *et al.* (2021); Siedlarczyk *et al.* (2019) y Wu *et al.* (2019) han evidenciado patrones similares en la capacidad de eliminación de contaminantes, tanto en contextos de bosques puramente urbanos como en los periurbanos.

Es especialmente relevante subrayar que los resultados obtenidos respaldan la idoneidad y aplicación de la herramienta *i-Tree Eco* para análisis en contextos periurbanos, dada su capacidad para reflejar consistentemente los beneficios ecológicos y económicos de estas zonas verdes, tanto dentro como en las afueras de los núcleos urbanos.

Durante las épocas frías de la región se registraron índices de eliminación más bajos en comparación con las estaciones de primavera y verano. Esta tendencia estacional coincide con los hallazgos de Arroyave *et al.* (2019) ya que se observó un incremento notable en la eliminación de estos contaminantes durante ciertas estaciones (Fernández García, 2009). Esta dinámica refuerza la importancia de considerar las variaciones climáticas al evaluar la eficiencia de los sistemas naturales en la purificación del aire.

Los precios por eliminación de contaminantes pueden ser oscilatorios debido a las condiciones de mercado del país, por ejemplo, los usados por Qaro y Akrawee (2020), sin embargo, también se observa que la mayoría de los contaminantes guardan una relación de ajuste cuando los mercados están afectados por las decisiones políticas y sociales para el combate de contaminantes del medio ambiente.

En la investigación sobre las dinámicas del almacenamiento y secuestro de carbono se ha demostrado el almacén de 13.04 toneladas de carbono con un ahorro de MXN 48 108 que enmarca la superioridad en el almacén sobre el secuestro de carbono al igual que lo hallado en otros trabajos en áreas urbanas (Ma *et al.* 2021; Moody, *et al.* 2021).

Este dato subraya la primacía del almacenamiento en comparación con el simple secuestro de carbono, una tendencia que ha sido corroborada por investigaciones en zonas urbanas. Específicamente, estudios como los de Ma *et al.* (2021); Moody *et al.* (2021) y Ross *et al.* (2020) han enfatizado cómo en contextos urbanos, el potencial de almacenamiento de carbono puede ser más trascendental que el secuestro *per se*, resaltando la relevancia de preservar y fomentar estos espacios verdes dentro de entornos urbanizados para una gestión sostenible del carbono.

En el estudio sobre la producción de oxígeno, se identifica que la capacidad anual de un árbol para generar oxígeno está íntimamente ligada al volumen de su secuestro de carbono y relacionada con la acumulación de biomasa del árbol (Negri *et al.* 2021), los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Martínez-Trinidad *et al.* (2021) que, aunque se trate de diferentes especies, la asociación entre producción de oxígeno y secuestro de carbono es aproximadamente equivalente al igual que en este trabajo.

Desde una perspectiva hidrológica centrada en el escurrimiento evitado, el análisis de los cuatro sistemas indica que la presencia de árboles tiene un impacto notorio, resultando en una disminución de alrededor de 70.68 m³ anualmente. Este servicio ecosistémico, valorado en MXN 3141, refuerza las conclusiones presentadas por Ross *et al.* (2020) y Martínez-Trinidad *et al.* (2021); en donde ambos estudios destacan la relevancia económica de los escurrimientos evitados por estructuras verdes. Estas evidencias resaltan la importancia de incluir dichos valores en análisis económicos de áreas verdes, proporcionando un marco comparativo esencial para la evaluación de este servicio ecosistémico.

En el marco del análisis de valores de sustitución y funcionales, se destaca la singular importancia de los árboles periurbanos en los sistemas examinados. Estos no solo representan un valor intrínseco, sino que también desempeñan un papel crucial en la prestación de servicios ecosistémicos a la colectividad. A través de los hallazgos de esta investigación, se evidencia una correlación entre el valor de sustitución de estos árboles y su presencia y desempeño funcional en dichos sistemas.

Una tendencia emergente en el presente estudio es que el valor de sustitución tiende a incrementarse conforme aumenta el tamaño de los árboles en cada sistema. Esta relación sugiere que los beneficios ecosistémicos de los árboles son proporcionalmente mayores cuando existen más árboles de mayor tamaño y en buen estado de salud.

Adicionalmente, cabe señalar que, a pesar de los beneficios observados, la salud y cobertura arbórea en estos sistemas periurbanos han mostrado un deterioro sostenido a lo largo del tiempo. Un manejo adecuado podría potenciar los beneficios que estos bosques ofrecen; no obstante, es también evidente que la disminución en la cantidad y salud de la cobertura arbórea podría mermar estos beneficios.

En cuanto al valor de sustitución se determinó un valor total de MXN 1 086 000, lo cual se alinea con lo registrado por Alpaidze y Salukvadze (2023); Andrew y Slater (2014); Castán *et al.* (2023); Costemalle, *et al.* (2023); Martínez-Trinidad *et al.* (2021), quienes, basados en la metodología *i-Tree*, establecen valores correlacionados y de similitud con esta investigación, reforzando la premisa de que el valor de sustitución es una métrica representativa de los beneficios que estos árboles otorgan, especialmente en función de su número y salud.

CONCLUSIONES

En este estudio se demuestra la capacidad del programa *i-Tree Eco* para dar información cuantitativa sobre la importancia crítica de las zonas verdes periurbanas por las innumerables funciones y servicios ecosistémicos que proporcionan, desde la regulación climática hasta la mejora de la calidad del aire. En donde las especies forestales en estas zonas juegan un papel vital en la eliminación de contaminantes, especialmente del ozono. Se infiere que la capacidad de almacenar carbono refleja la importancia de conservar y, cuando sea posible, expandir estas áreas verdes para mitigar los impactos del cambio climático. Se obtiene información sobre la producción de oxígeno, vinculada intrínsecamente al secuestro de carbono, que refuerza el papel de estas áreas como pulmones urbanos. También se concluye con información cuantitativa acerca de que las zonas verdes periurbanas no solo eliminan contaminantes y almacenan carbono, sino que también revitalizan el aire urbano al producir oxígeno, un componente esencial para la vida. La capacidad de las áreas verdes periurbanas de reducir el escurrimiento anualmente mostrado por *i-Tree Eco* tiene implicaciones directas en la gestión de recursos hídricos y prevención de inundaciones. Desde una perspectiva económica, el valor de sustitución de los árboles refuerza la premisa de que estas áreas no solo son valiosas desde un punto de vista ecológico, sino que también tienen un valor económico tangible que merece reconocimiento y consideración en decisiones de política y

planificación. Las zonas verdes periurbanas no son simplemente espacios estéticos, sino ecosistemas funcionales que contribuyen significativamente al bienestar ecológico, económico y social de las ciudades. En el caso de sistemas en proceso de degradación no solo hay una necesidad de conservar lo que queda, sino de expandir y revitalizar estas áreas para maximizar los servicios ecosistémicos que pueden ofrecer.

RECONOCIMIENTOS

Se extiende un sincero reconocimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la invaluable aportación proporcionada para la realización de los estudios doctorales del primer autor. Además de la gratitud a la Universidad Autónoma Chapingo, casa de estudios, en donde se adquirieron las habilidades y conocimientos que guiaron la investigación. El apoyo combinado de ambas instituciones ha sido fundamental para el alcance de los objetivos y contribución al desarrollo científico en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admasu, W. F., Van Passel, S., Minale, A. S., Tsegaye, E. A., & Nyssen, J. (2023). Nexus between land development and the value of ecosystem services in Ethiopia: A contingent valuation study. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02803-8>
- Aguirre, N, Alvarado, J., & Granda, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 128-130. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/499>
- Alpaidze, L., & Salukvadze, J. (2023). Green in the City: Estimating the Ecosystem Services Provided by Urban and Peri-Urban Forests of Tbilisi Municipality, *Georgia. Forests*, 14(1), 121-135. <https://doi.org/10.3390/f14010121>
- Andrew, C., & Slater, D. (2014). Why some UK homeowners reduce the size of their front garden trees and the consequences for urban forest benefits as assessed by i-Tree ECO. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*, 36(4), 197-215. <https://doi.org/10.1080/03071375.2014.994388>
- Arroyave, M., Posada, M., Nowak, D., & Hoehn, R. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia forestal*, 22(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Aziz, A., Anwar, M. M., Majeed, M., Fatima, S., Mehdi, S. S., Mangrio, W. M., ... & Elansary, H. O. (2023). Quantifying Landscape and Social Amenities as Ecosystem Services in Rapidly Changing Peri-Urban Landscape. *Land*, 12(2), 477. <https://doi.org/10.3390/land12020477>
- Baró, F., Haase, D., Gómez-Baggethun, E., & Frantzeskaki, N. (2015). Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five

- European cities. *Ecological indicators*, 55, 146-158.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>
- Benavides, H. & Fernández, D. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques* 18(2), 51-71.
<https://10.21829/myb.2012.182352>
- Bennett, E., Peterson, G., & Gordon, L. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12, 1394-1404. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Camacho, V., & Ruiz, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), 3-15. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Castán, J. H., Cuesta, E., Espejel, B. O., & Reyes, E. R. (2023). Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. *CIENCIA ergo-sum*, 30(2), 32.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=163680262&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
- Cheng Zhang, Jing Li & Zixiang Zhou. (2022). Ecosystem service cascade: Concept, review, application and prospect, *Ecological Indicators*, 137, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108766>
- Costemalle, V., Candido, H., & Carvalho, F. (2023). An estimation of ecosystem services provided by urban and peri-urban forests: a case study in Juiz de Fora, Brazil. *Ciência Rural*, 53(4), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210208>
- Dobbs, C., Nitschke, C., & Kendal, D. (2014). Global drivers and tradeoffs of three urban vegetation ecosystem services. *PLoS One*, 9(11), 1-9.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113000>

- Doick, K., Albertini, A., Handley, P., Lawrence, V., Rogers, K., & Rumble, H. (2016). Valuing Urban Trees in the Tawe Catchment. *Forest Research*.
https://cdn.forestresearch.gov.uk/2015/11/fr_doick_tawe_itree_full_report_2015_low_res_for_web.pdf
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Fernández García, F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, (49), 173-195.
<https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.09>
- Gascoigne, W., Hoag, D., Koontz, L., Tangen, B., Shaffer, T., & Gleason, R. (2011). Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA. *Ecological Economics*, 70(10), 1715-1725.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.04.010>
- Gong, C., Xian, C. & Ouyang, Z. (2022). Evaluación de la purificación de NO₂ por bosques urbanos basada en el modelo i-Tree Eco: estudio de caso en Beijing, China. *Bosques*, 13(3), 369;
<https://doi.org/10.3390/f13030369>
- Graça, M., Alves, P., Gonçalves, J., Nowak, D., Hoehn, R., Farinha-Marques, P., & Cunha, M. (2018). Assessing how green space types affect ecosystem services delivery in Porto, Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 170, 195-208.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.007>
- Haines-Young, R, Potschin-Young, M. (2018) Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem* 3: e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>

- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y Medio Ambiente Urbano: indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 24(65), 79-111.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582009000100003>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi]. (2020).
<https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- Jáuregui, E., & Luyando, E. (1992). Patrones de flujo de aire superficial y su relación con el transporte de contaminantes en el Valle de México. *Investigaciones geográficas*, (24), 51-78.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111992000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Kalfas, D. G., Zagkas, D. T., Dragozi, E. I., & Zagkas, T. D. (2020). Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 27(4), 310-321. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1714786>
- Kim, G., Miller, P. A., & Nowak, D. J. (2015). Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the City of Roanoke, Virginia. *Urban Forestry y Urban Greening*, 14(3), 519–526. <https://doi:10.1016/j.ufug.2015.05.003>
- Lin, J., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2020). Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture and Urban Forestry*, 46(4), 287-306.
<https://doi.org/10.48044/jauf.2020.021>
- Liu, J., & Opdam, P. (2014). Valuing ecosystem services in community-based landscape planning: introducing a wellbeing-based approach. *Landscape ecology*, 29(8), 1347-1360.
<https://doi.org/10.1007/s10980-014-0045-8>
- Ma, J., Li, X., Baoquan, J., Liu, X., Li, T., Zhang, W., & Liu, W. (2021). Spatial variation analysis of urban forest vegetation carbon storage and sequestration in built-up areas of Beijing

- based on i-Tree Eco and Kriging. *Urban Forestry y Urban Greening*, 66, 127413.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127413>
- Martinez-Paz, J. M., Albaladejo-García, J. A., Barreiro-Hurle, J., Pleite, F. M. C., & Perni, Á. (2021). Spatial effects in the socioeconomic valuation of peri-urban ecosystems restoration. *Land Use Policy*, 105, 105426. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105426>
- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 202-223.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Moody, R., Geron, N., Healy, M., Rogan, J., & Martin, D. (2021). Modeling the spatial distribution of the current and future ecosystem services of urban tree planting in Chicopee and Fall River, Massachusetts. *Urban Forestry y Urban Greening*, 66, 127403.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127403>
- Nassauer, J. I. (2012). Landscape as medium and method for synthesis in urban ecological design. *Landscape and Urban Planning*, 106(3), 221-229.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.014>
- Negri, L. A. B., Rojas, A., Iraheta, A., & Cárdenas, J. (2021). Análisis del componente arbóreo y su contribución a los servicios ecosistémicos en la ciudad de Turrialba, *Costa Rica. Ecosistemas*, 30(2), 2083-2083. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2083>
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., & Ash, R. M. (2019). Annual biomass loss and potential value of urban tree waste in the United States. *Urban Forestry y Urban Greening*, 46, 126469.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126469>

- Nowak, D. J., & Aevermann, T. (2019). Tree compensation rates: Compensating for the loss of future tree values. *Urban Forestry y Urban Greening*, 41, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.014>
- Pace, R., Guidolotti, G., Baldacchini, C., Pallozzi, E., Grote, R., Nowak, D., & Calfapietra, C. (2021). Comparing i-Tree Eco Estimates of Particulate Matter Deposition with Leaf and Canopy Measurements in an Urban Mediterranean Holm Oak Forest. *Environmental Science y Technology*, 55(10), 6613-6622. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07679>
- Paletto, A., De Meo, I., Grilli, G., & Nikodinoska, N. (2017). Effects of different thinning systems on the economic value of ecosystem services: A case-study in a black pine peri-urban forest in Central Italy. *Annals of Forest Research*, 60(2), 313-326. <https://doi.org/10.15287/afr.2017.799>
- Pardo, Y., Muñoz, J., & Velásquez, J. (2022). Valoración económica de servicios ecosistémicos en bosques de sistemas agropecuarios del piedemonte amazónico colombiano. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (91), 143-169. <https://doi.org/10.13043/DYS.91.4>
- Pérez-Medina, S., & López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía Sociedad y Territorio*, 1-33. <https://doi.org/10.22136/est002015552>
- Qaro, S., & Akrawee, Z. (2020). Assessment Of Carbon Storage and Sequestration by Using I-Tree Program for Atrush Forest/North of Iraq. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 51, 72-85. <https://doi.org/10.36103/ijas.v51iSpecial.884>
- Raum, S., Hand, K. L., Hall, C., Edwards, D. M., O'brien, L., & Doick, K. J. (2019). Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and urban planning*, 190, 103590. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103590>

- Riondato, E., Pilla, F., Basu, A. S., & Basu, B. (2020). Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-Tree Eco model. *Sustainable cities and society*, 61, 102356. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102356>
- Ro, C., Sovann, C., Bun, D., Yim, C., Bun, T., Yim, S., & Irvine, K. N. (2020, August). The economic value of peri-urban wetland ecosystem services in Phnom Penh, Cambodia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 561(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012013>
- [Ross, S., Jean-Philippe, S., Clatterbuck, W., Giffen, N., Herold, J., & Zobel, J. \(2020\). i-Tree eco analysis of landscape vegetation on remediated areas of oak ridge national laboratory. *Open Journal of Forestry*, 10\(04\), 412. <https://doi.org/10.4236/ojf.2020.104026>](#)
- Sahagún, F., Aceves, J., Sánchez, E., & Plazola, L. (2020). Valoración de los servicios ecosistémicos en áreas verdes. El caso del Parque Metropolitano de Guadalajara, México. *Acta universitaria*, 30(2020), 1-17. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2635>
- Siedlarczyk, E., Winczek, M., Zięba-Kulawik, K., & Wężyk, P. (2019). Smart green infrastructure in a smart city—the case study of ecosystem services evaluation in krakow based on i-Tree eco software. *GeoScience Engineering*, 65(2), 36-43. <http://doi.org/10.35180/gse-2019-0010>
- Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. (2020). Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-Tree Eco. *Sustainability*, 12(4), 1630. <https://doi.org/10.3390/su12041630>
- Triana, A., Sánchez, J., González-Melo, A., & Torres, F. (2019). Análisis funcional del secuestro de carbono en un bosque seco tropical interandino. *Caldasia*, 41(1), 179-193. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71304>

- Urán, J. R. L., Yepes, C. A. V., & Betancur, N. M. Z. (2014). Herramientas del proceso metodológico de valoración del sistema arbóreo urbano componente de los activos ambientales del municipio de Medellín. *Trabajos de Grado Contaduría UdeA*, 8(1). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/tgcontaduria/article/view/27056>
- Wu, J., Wang, Y., Qiu, S., & Peng, J. (2019). Using the modified i-Tree Eco model to quantify air pollution removal by urban vegetation. *Science of the total environment*, 688, 673-683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.437>
- Young, R. F. (2010). Managing municipal green space for ecosystem services. *Urban forestry y urban greening*, 9(4), 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.007>
- Zhong, Q., Zhang, L., Zhu, Y., Konijnendijk van den Bosch, C., Han, J., Zhang, G., & Li, Y. (2020). A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services of brownfield greening from a systematic perspective. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1743206. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1743206>

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS SOCIAL

Impacto social de la valoración económica de la estructura verde periurbana

Introducción

Los sistemas forestales periurbanos, esas áreas verdes ubicadas en la periferia de nuestros entornos urbanos, no son solo extensiones de naturaleza que embellecen el paisaje; poseen un valor económico intrínseco que a menudo pasa desapercibido o subestimado en las políticas públicas y decisiones de inversión. Sin embargo, antes de profundizar en la cifra monetaria que puede asociarse a estos espacios, es crucial entender el concepto de 'valor' en este contexto.

El valor económico de un ecosistema se basa en la premisa de que los servicios ecosistémicos que proporciona, ya sea directa o indirectamente, conllevan beneficios económicos para la sociedad. Estos beneficios pueden manifestarse en términos tangibles, como la producción de madera, o intangibles, como el bienestar psicológico que otorga un paseo en el bosque. Sin embargo, traducir estos beneficios en cifras monetarias puede ser una tarea desafiante.

Cuando hablamos de servicios ecosistémicos en sistemas forestales periurbanos, nos referimos a una amplia gama de servicios que incluyen la purificación del aire, la regulación del clima local, la mitigación de la contaminación sonora, la recarga de acuíferos, y también servicios recreativos y culturales. Estos servicios tienen una repercusión directa en la economía local y nacional. Por ejemplo, un aire más limpio implica menos enfermedades respiratorias, lo que reduce los costos en atención médica. Las zonas verdes también aumentan el valor de las propiedades cercanas y fomentan el turismo local.

Sin embargo, la complejidad surge cuando tratamos de asignar un valor monetario específico a estos servicios. ¿Cómo valoras, por ejemplo, la función de un bosque en la prevención de

enfermedades mentales? ¿O su contribución a la formación y educación ambiental de una generación?

El método más directo de valoración es a través del análisis de los beneficios tangibles. La venta de madera o productos forestales no maderables, como resinas o frutos, puede ser cuantificada y proporciona una base sólida para la determinación del valor. Pero, y quizás más importante, es considerar los beneficios indirectos o aquellos que no resultan en una transacción monetaria inmediata. Para esto, se utilizan métodos como la valoración contingente, que mide la disposición a pagar de las personas por un servicio determinado, o el coste de reposición, que estima cuánto costaría replicar ese servicio mediante medios artificiales.

No obstante, hay desafíos inherentes a estos métodos. La valoración contingente, por ejemplo, puede ser subjetiva y depende de cómo se formule la pregunta. Además, traducir beneficios intangibles a valores monetarios puede ser visto por algunos como una mercantilización de la naturaleza, lo que entra en conflicto con visiones más eco céntricas.

Además, los sistemas forestales periurbanos enfrentan presiones específicas que pueden afectar su valor económico. La urbanización, con su consecuente deforestación y fragmentación, puede reducir la capacidad del bosque para proporcionar ciertos servicios. Por otro lado, un bosque bien conservado y accesible puede aumentar su valor recreativo y turístico.

Es crucial que los tomadores de decisiones reconozcan y comprendan este valor económico. Una gestión efectiva y sostenible de estos espacios no solo protegerá los servicios ecosistémicos que ofrecen, sino que también maximizará su contribución a la economía local y nacional. Para ello, es fundamental incorporar la valoración económica en la planificación urbana y las políticas de conservación.

Sin embargo, la economía no debe ser la única lente a través de la cual vemos a estos bosques. El valor espiritual, cultural y social de estos espacios, aunque más difícil de cuantificar, es igualmente importante. Si bien la valoración económica es una herramienta útil, debe usarse junto con un enfoque más amplio que considere todas las dimensiones de valor.

Por ello es por lo que los sistemas forestales periurbanos son activos valiosos que ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos, cada uno con su propia importancia económica. Si bien la tarea de cuantificar este valor presenta desafíos, es esencial para garantizar la protección y gestión sostenible de estos espacios en un mundo cada vez más urbanizado.

Implicaciones Sociales de los Sistemas Forestales Periurbanos

La interacción entre los sistemas forestales periurbanos y la sociedad es profunda y multifacética. Estas áreas verdes, ubicadas en las fronteras de nuestros espacios urbanos, no solo actúan como pulmones para nuestras ciudades, sino que también juegan un papel esencial en el bienestar social y cultural de las comunidades circundantes. Para entender completamente su importancia, es vital profundizar en las múltiples implicaciones sociales de estos sistemas.

Recreación y Bienestar Psicológico:

Uno de los beneficios más inmediatos y evidentes de los sistemas forestales periurbanos es el espacio recreativo que ofrecen a los residentes urbanos. Estos bosques y zonas verdes brindan un respiro de la agitación urbana, ofreciendo un espacio para el ejercicio, la relajación, la meditación y el juego. Estudios han demostrado que el contacto con la naturaleza puede reducir los niveles de estrés, mejorar el estado de ánimo y aumentar el bienestar psicológico general (Kaplan & Kaplan, 1989). Este efecto, a menudo denominado "baño forestal" o "Shinrin-yoku" en la cultura japonesa, ha ganado reconocimiento mundial por sus beneficios terapéuticos (Park *et al.*, 2010).

Integración Comunitaria y Cohesión Social:

Los sistemas forestales periurbanos actúan como puntos de encuentro para la comunidad, promoviendo la interacción social y fortaleciendo los lazos comunitarios. Las áreas verdes pueden convertirse en espacios donde se celebren eventos, festivales o incluso simples picnics familiares. La diversidad de actividades posibles en estos espacios contribuye a la integración de diferentes grupos demográficos y fomenta la cohesión social (Maas *et al.*, 2009).

Educación y Sensibilización Ambiental:

La proximidad de estos bosques a las áreas urbanas los convierte en aulas vivas, donde las generaciones jóvenes pueden aprender sobre la biodiversidad y la importancia de la conservación (Ballantyne & Packer, 2005). Estos espacios naturales ofrecen una oportunidad única para la educación práctica, permitiendo a los estudiantes observar directamente los conceptos que aprenden en el aula.

Desafíos de Conservación y Urbanización:

A medida que las ciudades crecen, los sistemas forestales periurbanos enfrentan amenazas significativas. La expansión urbana a menudo conduce a la fragmentación de estos hábitats, lo que puede tener consecuencias negativas para la biodiversidad (McDonald *et al.*, 2008). Es vital que las políticas urbanas reconozcan el valor intrínseco de estos espacios y establezcan estrategias para su conservación y gestión sostenible.

El papel en la Mitigación del Cambio Climático:

Los sistemas forestales periurbanos actúan como sumideros de carbono, ayudando a reducir la cantidad de CO₂ en la atmósfera (Nowak *et al.*, 2013). Sin embargo, su proximidad a las áreas

urbanas también significa que están más expuestos a la contaminación y otras amenazas antropogénicas.

Perspectiva Económica y Desarrollo Sostenible:

La valoración económica de los servicios ecosistémicos proporcionados por estos bosques puede ser una herramienta crucial para justificar su conservación (Costanza *et al.*, 1997). Sin embargo, esta valoración no debe eclipsar el valor intrínseco de estos ecosistemas y su importancia para el bienestar humano.

Las implicaciones sociales de los sistemas forestales periurbanos se extienden más allá de la mera existencia de áreas verdes cerca de las zonas urbanas. Representan la intersección de la naturaleza con el tejido social y cultural de nuestras comunidades. Es esencial reconocer su importancia y trabajar hacia su conservación y gestión sostenible.

Integración de Políticas Públicas para los Sistemas Forestales Periurbanos

La necesidad de integrar políticas públicas para la conservación y gestión sostenible de sistemas forestales periurbanos se ha vuelto cada vez más apremiante en la era contemporánea. La interacción y coexistencia de las zonas urbanas con estos espacios naturales requieren un enfoque holístico que comprenda no solo las consideraciones ecológicas, sino también las implicaciones sociales, económicas y culturales.

La importancia de un marco político robusto:

Los sistemas forestales periurbanos, como zonas de transición entre lo urbano y lo rural, enfrentan presiones únicas. La urbanización acelerada, la expansión de la infraestructura y el incremento de la población en las áreas circundantes son factores que amenazan su integridad (Seto *et al.*, 2012).

Sin políticas adecuadas, estos espacios podrían desaparecer, llevándose consigo los innumerables beneficios ecosistémicos y sociales que ofrecen.

Estrategias de Zonificación y Planificación Urbana:

Una de las herramientas más efectivas en la conservación de estos sistemas es la zonificación. Determinar zonas protegidas, corredores ecológicos y áreas de desarrollo controlado puede garantizar la coexistencia armónica de lo urbano y lo natural (Berkes, 2009). La planificación urbana debe integrar estos sistemas como elementos clave del paisaje urbano, priorizando su conservación y uso sostenible.

Participación Comunitaria:

La gestión efectiva de los sistemas forestales periurbanos no puede llevarse a cabo sin la participación de la comunidad local. Las comunidades que viven en las cercanías o dentro de estos sistemas deben ser consideradas stakeholders clave, involucrándolas en la toma de decisiones y acciones de conservación (Reed, 2008). Esto no solo asegura la implementación efectiva de políticas, sino que también fomenta un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia estos espacios.

Economía Verde y Financiamiento:

Las políticas públicas deben considerar las oportunidades económicas que presentan estos sistemas. Desde el ecoturismo hasta la venta de servicios ecosistémicos como la captura de carbono, hay múltiples formas en que estos bosques pueden generar ingresos sostenibles para las comunidades locales y para el estado (TEEB, 2010). Sin embargo, también es esencial establecer fondos y mecanismos de financiamiento para su conservación y restauración.

Educación y Sensibilización:

La educación es una herramienta poderosa para asegurar el futuro de los sistemas forestales periurbanos. Las políticas públicas deben incluir programas educativos dirigidos a sensibilizar a la población sobre la importancia de estos espacios, promoviendo prácticas sostenibles y actitudes conservacionistas (Tilbury, 1995).

Monitoreo y Evaluación:

Finalmente, cualquier política pública implementada necesita un sistema robusto de monitoreo y evaluación. Esto permite adaptar y ajustar las estrategias a medida que surgen nuevos desafíos y garantizar que las acciones tomadas sean efectivas y tengan el impacto deseado (Margoluis *et al.*, 2009).

Los sistemas forestales periurbanos son zonas vitales que ofrecen un amplio espectro de beneficios, desde servicios ecosistémicos hasta bienestar social y cultural. Las políticas públicas que buscan su conservación y uso sostenible deben ser integradoras, holísticas y, sobre todo, adaptativas al cambiante paisaje urbano y ecológico.

Implementación de Tecnologías Verdes en Sistemas Forestales Periurbanos

En la actualidad, el rápido avance tecnológico y la creciente conciencia ambiental han propiciado la integración de tecnologías verdes en distintos sectores, incluidos los sistemas forestales periurbanos. Estas tecnologías, que buscan minimizar el impacto humano en el medio ambiente, son esenciales para garantizar la sostenibilidad y conservación de estos valiosos ecosistemas.

El papel de las tecnologías verdes:

La tecnología verde, por definición, busca reducir el impacto ambiental, ya sea a través de la conservación de recursos, la minimización de residuos o la reducción de emisiones contaminantes

(Pearce, 2006). En el contexto de los sistemas forestales periurbanos, estas tecnologías pueden abordar desde el monitoreo ecológico hasta la gestión sostenible de recursos.

Monitoreo y Datos en Tiempo Real:

Las tecnologías como los sensores remotos, drones y plataformas GIS (Sistemas de Información Geográfica) están revolucionando la forma en que se monitorean y se gestionan estos bosques (Turner *et al.*, 2015). A través de la recopilación de datos en tiempo real, es posible detectar amenazas, como incendios o invasiones, casi de inmediato, permitiendo respuestas rápidas y efectivas.

Recuperación y Restauración:

Las tecnologías verdes también desempeñan un papel crucial en los esfuerzos de recuperación y restauración. Las técnicas de bioingeniería, por ejemplo, utilizan plantas y materiales biológicos para estabilizar suelos y prevenir la erosión, ofreciendo soluciones más sostenibles y menos invasivas que las técnicas tradicionales (Stokes *et al.*, 2008).

Energía Sostenible:

Los sistemas forestales periurbanos también pueden beneficiarse de la implementación de tecnologías de energía renovable, como la solar o la eólica. Estas fuentes de energía pueden alimentar infraestructuras locales, como centros de visitantes o estaciones de investigación, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y minimizando la huella de carbono (Jacobson & Delucchi, 2011).

Gestión del Agua:

Las tecnologías de gestión del agua, como los sistemas de recolección de aguas pluviales o la biofiltración, pueden ser esenciales en áreas donde el agua es escasa o en zonas propensas a inundaciones. Estas tecnologías no solo garantizan un suministro constante de agua, sino que también previenen la contaminación y promueven la recarga de acuíferos (Chang *et al.*, 2007).

La integración de tecnologías verdes en sistemas forestales periurbanos es más que una tendencia; es una necesidad para garantizar la sostenibilidad y conservación de estos ecosistemas. A medida que la tecnología avanza, las oportunidades para fortalecer la gestión y protección de estos bosques solo aumentarán.

Estrategias de Comunicación y Sensibilización para el Manejo Sostenible de Sistemas Forestales Periurbanos

La preservación y el manejo sostenible de los sistemas forestales periurbanos no solo dependen de políticas gubernamentales o de la implementación de tecnologías verdes. También es esencial generar una comprensión y valoración pública de la importancia de estos espacios naturales. Para lograr esto, es imperativo implementar estrategias efectivas de comunicación y sensibilización.

La necesidad de la comunicación efectiva:

En un mundo saturado de información, es esencial transmitir mensajes claros, concisos y, sobre todo, impactantes que resalten la relevancia de los bosques periurbanos en la vida cotidiana de las personas (Hall, 2010). La comunicación es la piedra angular para generar un cambio de comportamiento y actitud hacia estos ecosistemas.

Educación Ambiental en Escuelas:

Incorporar programas educativos en escuelas que aborden la importancia de los sistemas forestales periurbanos puede ser una excelente estrategia. Los niños y jóvenes son agentes de cambio y, al educarlos, se asegura una generación consciente y comprometida (Tilbury, 1995).

Uso de Medios Masivos y Redes Sociales:

Con la digitalización y la globalización, las redes sociales y medios masivos se han convertido en herramientas poderosas para sensibilizar al público. Campañas de concienciación, documentales y programas de televisión pueden alcanzar a una amplia audiencia y tener un impacto significativo (Corbett, 2006).

Eventos Comunitarios y Talleres:

Organizar eventos y talleres en comunidades cercanas a bosques periurbanos puede ser una estrategia efectiva para sensibilizar a la población local. Estos eventos pueden incluir actividades prácticas, como reforestación o limpieza, que involucren directamente a la comunidad en la conservación (Wals, 2007).

Participación Ciudadana y Voluntariado:

Fomentar la participación ciudadana a través de programas de voluntariado puede ser una estrategia efectiva. Estas experiencias inmersivas permiten a las personas conectarse emocionalmente con el bosque y comprender su valor intrínseco (Bell *et al.*, 2008).

Para garantizar el manejo sostenible de los sistemas forestales periurbanos, es crucial que exista una amplia comprensión y apreciación de su importancia. Implementar estrategias de comunicación y sensibilización efectivas puede ser un paso significativo en esta dirección.

Conclusión

Salud y Calidad del Aire:

Contexto: Los bosques actúan como filtros naturales, absorbiendo contaminantes del aire y liberando oxígeno limpio. Las partículas PM2.5, producidas principalmente por la combustión de combustibles fósiles en vehículos y plantas industriales, son un riesgo notable para la salud pública.

Discusión: Aunque la conexión entre la calidad del aire y la salud es innegable, no todos los sistemas forestales periurbanos tienen la misma capacidad de mitigación. Factores como la densidad, tipo de vegetación y salud del ecosistema influyen en su eficiencia. Al mismo tiempo, las políticas de desarrollo urbano suelen favorecer la expansión en detrimento de estos espacios verdes. ¿Cómo se pueden establecer directrices que equilibren las demandas del crecimiento urbano con la conservación de áreas forestales vitales? Adicionalmente, hay que considerar si el acto de preservar y ampliar estos bosques podría ser más costo-efectivo que invertir en tecnologías de purificación del aire.

Bienestar Psicológico:

Contexto: La naturaleza ofrece un refugio de las presiones urbanas, contribuyendo al bienestar mental de los residentes urbanos.

Discusión: La pérdida de espacios verdes puede aumentar la incidencia de trastornos relacionados con el estrés, la ansiedad y la depresión. Aunque la importancia psicológica de estos espacios es evidente, no todos los habitantes de la ciudad tienen igualdad de acceso a ellos. Las desigualdades socioeconómicas pueden generar "desiertos verdes", donde las comunidades desfavorecidas carecen de acceso a espacios naturales. ¿Cómo se pueden diseñar políticas urbanas que prioricen

un acceso equitativo a la naturaleza, y qué papel juegan los sistemas forestales periurbanos en este contexto?

Educación Ambiental:

Contexto: Los bosques periurbanos sirven como aulas al aire libre, promoviendo la educación ambiental y el contacto con la naturaleza.

Discusión: La educación ambiental es fundamental para generar conciencia y promover prácticas sostenibles. Sin embargo, la mera existencia de estos bosques no garantiza su uso educativo. Las escuelas urbanas, presionadas por programas educativos saturados, podrían no priorizar las visitas a estos espacios. Además, existen desafíos logísticos y de seguridad que pueden limitar su uso. ¿Cómo se pueden establecer alianzas entre el sector educativo y las autoridades ambientales para maximizar el potencial educativo de estos bosques?

Mitigación del Cambio Climático:

Contexto: Los bosques desempeñan un papel crucial en la captura y almacenamiento de carbono, mitigando los efectos del cambio climático.

Discusión: Si bien la importancia de los bosques en la lucha contra el cambio climático es reconocida, los sistemas forestales periurbanos enfrentan amenazas únicas. Estos bosques están en la interfaz entre el crecimiento urbano y la naturaleza, lo que puede resultar en fragmentación o pérdida total. Además, la proximidad a zonas urbanas puede aumentar la vulnerabilidad a la contaminación, enfermedades y especies invasoras. ¿Es viable y efectivo priorizar la conservación de estos sistemas forestales frente a otros, más remotos, que podrían ofrecer beneficios similares en términos de captura de carbono?

Valor Económico:

Contexto: La valoración económica de los servicios ecosistémicos busca cuantificar en términos monetarios los beneficios que la naturaleza ofrece a la sociedad.

Discusión: Esta aproximación económica es controversial. Mientras que algunos ven en ella una herramienta efectiva para persuadir a tomadores de decisiones sobre la importancia de conservar ecosistemas, otros argumentan que podría conducir a la mercantilización de la naturaleza. Además, ¿cómo se cuantifica adecuadamente el valor intangible de un bosque, como el bienestar psicológico o la conexión espiritual? ¿No corre el riesgo de ser subestimado frente a valores más tangibles, como el valor del terreno para el desarrollo inmobiliario?

Estas discusiones buscan profundizar en las implicaciones y retos que presentan los servicios ecosistémicos de los sistemas forestales periurbanos, desde múltiples perspectivas y considerando diversas dimensiones del impacto social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballantyne, R., & Packer, J. (2005). Promoting environmentally sustainable attitudes and behaviour through free-choice learning experiences: What is the state of the game? *Environmental Education Research*, 11(3), 281-295.
- Costanza, R., *et al.* (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective.* Cambridge University Press.

- Maas, J., *et al.* (2009). Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health & Place*, 15(2), 586-595.
- McDonald, R. I., *et al.* (2008). Urban effects, distance, and protected areas in an urbanizing world. *Landscape and Urban Planning*, 85(3), 174-182.
- Nowak, D. J., *et al.* (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229-236.
- Park, B. J., *et al.* (2010). The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 18-26.
- Berkes, F. (2009). Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1692-1702.
- Margoluis, R., Stem, C., Salafsky, N., & Brown, M. (2009). Design alternatives for evaluating the impact of conservation projects. *New Directions for Evaluation*, 2009(122), 85-96.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141(10), 2417-2431.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088.

- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Pushpam Kumar (Ed.), Earthscan, London and Washington.
- Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: Defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-212.
- Pearce, D. (2006). *Environmental policy and technical change: A comparison of the technological impact of policy instruments*. Edward Elgar Publishing.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2015). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(6), 306-314.
- Stokes, A., Atger, C., Bengough, A. G., Fourcaud, T., & Sidle, R. C. (2008). Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant and Soil*, 324(1-2), 1-30.
- Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39(3), 1154-1169.
- Chang, M., McBroom, M. W., & Beasley, R. S. (2007). Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 1096-1108.
- Hall, D. (2010). Public relations and strategic adaptation: Evidence from the field. *Journal of Communication Management*, 14(2), 170-189.
- Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-212.

- Corbett, J. B. (2006). *Communicating nature: How we create and understand environmental messages*. Island Press.
- Wals, A. E. (2007). *Social learning towards a sustainable world: Principles, perspectives, and praxis*. Wageningen Academic Publishers.
- Bell, S., Marzano, M., Cent, J., Kobierska, H., Podjed, D., Vandzinskaite, D., ... & Muršič, R. (2008). What counts? Volunteers and their organisations in the recording and monitoring of biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 17(14), 3443-3454.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES

Los sistemas forestales periurbanos, ubicados en las proximidades de las zonas urbanas, desempeñan un papel fundamental en la sustentabilidad y calidad de vida de las comunidades. Desde el punto de vista ambiental, estos bosques actúan como pulmones para nuestras ciudades, absorbiendo dióxido de carbono, liberando oxígeno, mitigando los efectos del cambio climático y preservando la biodiversidad. Asimismo, regulan el ciclo del agua, previenen inundaciones y mantienen la calidad de este recurso esencial. Sin embargo, su cercanía a las áreas urbanizadas los hace susceptibles a la explotación y degradación.

Económicamente, los sistemas forestales periurbanos representan una fuente significativa de recursos. Proveen madera, alimentos, medicinas y, además, impulsan la economía al generar empleo y promover el turismo ecológico. Pese a su inmenso valor, la economía no siempre refleja adecuadamente la riqueza de estos servicios ecosistémicos, muchos de los cuales no tienen un valor de mercado definido.

Desde una perspectiva social, estos bosques ofrecen espacios para la recreación, bienestar mental y físico, y poseen un profundo valor cultural e histórico. La comunidad local percibe estos espacios como esenciales para su calidad de vida, aunque puede existir desigualdad en la distribución de sus beneficios. Las prácticas de manejo y conservación en la región deben ser participativas, tomando en cuenta las necesidades y perspectivas de todos los actores involucrados.

Para optimizar la gestión de estos sistemas forestales, es crucial desarrollar políticas que reconozcan y protejan su valor. Estas políticas deben ser flexibles, adaptativas e inclusivas. La colaboración interdisciplinaria entre áreas como la ecología, economía, sociología y gestión de recursos naturales es esencial para abordar los desafíos de conservación.

Las organizaciones no gubernamentales, sector privado y actores sociales juegan un papel importante en la protección y gestión de estos ecosistemas. Su participación, combinada con la educación ambiental, puede fomentar una cultura de respeto y aprecio por la naturaleza.

Sin embargo, los sistemas forestales periurbanos enfrentan amenazas significativas, como la deforestación, urbanización, contaminación y el cambio climático. Estas amenazas ponen en riesgo la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrecen. Es imperativo adoptar estrategias de manejo efectivas y basadas en la investigación continua para garantizar la conservación y sostenibilidad de estos ecosistemas.

Los sistemas forestales periurbanos son esenciales para el bienestar humano y la sostenibilidad de nuestras ciudades. Su valor trasciende lo económico y se refleja en la salud, bienestar y equilibrio de las comunidades. La gestión adecuada, investigación y educación son fundamentales para garantizar que estos bosques sigan beneficiando a las generaciones futuras.

Los sistemas forestales periurbanos, esas extensiones verdes que bordean nuestras ciudades y que actúan como verdaderos pulmones, desempeñan un papel esencial en el bienestar de la humanidad y el equilibrio del medio ambiente. Al abordar su valor desde

distintas perspectivas, nos damos cuenta de la profunda interconexión entre el ser humano, la economía y el medio ambiente.

Ambientalmente, estos bosques son los principales actores en la lucha contra la contaminación del aire. Absorben contaminantes, liberan oxígeno vital y sirven como refugio para la biodiversidad, albergando especies que no se encuentran fácilmente en otros lugares. Su influencia en la regulación del clima local es innegable, ya que proporcionan sombra, refrescan el aire y actúan como barreras contra fenómenos meteorológicos extremos.

Económicamente, a menudo subestimamos su aportación. Sin embargo, estos espacios proveen innumerables recursos, desde madera hasta medicinas naturales. Generan empleo, impulsan el turismo y previenen costos más elevados al evitar desastres naturales y problemas de salud derivados de la contaminación y el cambio climático.

Desde una **perspectiva social**, estos bosques tienen un valor inestimable. Sirven como espacios de recreación, fortalecen nuestra salud mental y física, y albergan historias y tradiciones. No obstante, es esencial garantizar una distribución equitativa de estos beneficios, evitando desigualdades o conflictos entre diferentes usuarios.

La **percepción y actitud** de la comunidad local hacia estos espacios es crucial para su conservación. La educación y sensibilización ambiental en zonas urbanas pueden fomentar una relación más armoniosa entre la población y estos ecosistemas. Al entender y valorar su importancia, las comunidades pueden abogar por su protección y contribuir activamente a su cuidado.

Sin embargo, **la gestión y conservación** de estos bosques es un desafío constante. Las amenazas de la urbanización, la deforestación, la contaminación y el cambio climático ponen en peligro su existencia y, por ende, los servicios que ofrecen. Es esencial desarrollar e implementar políticas y estrategias efectivas basadas en investigaciones interdisciplinarias y en el profundo conocimiento y experiencia de las comunidades locales.

Las **organizaciones no gubernamentales** y el **sector privado** también desempeñan un papel vital en esta tarea. Pueden actuar como mediadores, facilitadores o patrocinadores de proyectos que busquen proteger y revitalizar estos espacios. Su influencia y recursos pueden ser aprovechados para campañas de sensibilización, investigación y acciones directas de conservación.

En conclusión, al valorar y proteger nuestros sistemas forestales periurbanos, no solo aseguramos la continuidad de sus servicios ecosistémicos, sino que también garantizamos un futuro más saludable y próspero para las generaciones venideras. Es una responsabilidad compartida, donde cada acción cuenta y cada esfuerzo tiene un impacto positivo en el delicado equilibrio de nuestro mundo.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Aguirre-Padilla, N. I., Alvarado-Espejo, J., & Granda-Pardo, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques* Latitud Cero, 8(2). Recuperado a partir de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/499>
- Alberini, A. (2013). Valuing environmental services. In A. Alberini & J. R. Kahn (Eds.), *Handbook on Contingent Valuation* (pp. 3-15). Edward Elgar Publishing.
- Alberini, A. (2013). Willingness to pay for environmental services. In *Handbook on Contingent Valuation* (pp. 36-50).
- Alberini, A., Bateman, I., Loomes, G., & Ščasný, M. (2018). Valuing the 'QALY': the deliberative valuation approach. *Journal of Economic Psychology*, 65, 17-31.
- Álvarez-Cordero, R., García-Martínez, A., & Palma-López, D. J. (2021). Valuación económica de los servicios ambientales del arbolado urbano en una ciudad de México. *Revista de Economía y Desarrollo*, 28(2), 15-36.
- Andrew, C., & Slater, D. (2014). Why some UK homeowners reduce the size of their front garden trees and the consequences for urban forest benefits as assessed by i-Tree ECO. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*, 36(4), 197-215. <https://doi.org/10.1080/03071375.2014.994388>
- Arndt, C., Hussain, S., Salvucci, V., & Østerdal, L. P. (2011). Effects of food price shocks on child malnutrition: The Mozambican experience 2008/2009. *Economics & Human Biology*, 9(4), 388-402.

- Arrow, K., Solow, R., Portney, P. R., Leamer, E. E., Radner, R., & Schuman, H. (1993). Report of the NOAA panel on contingent valuation. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Arroyave-Maya, M. D. P., Posada-Posada, M. I., Nowak, D. J., & Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. Colombia forestal, 22(1), 5-16.
<http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Badola, R., Hussain, S. A., Mishra, B. K., Konthoujam, B., Thapliyal, S., & Dhakate, P. M. (2010). An assessment of ecosystem services of Corbett Tiger Reserve, India. The Environmentalist, 30, 320-329. <https://doi.org/10.1007/s10669-010-9278-5>
- Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. Ecosystem Services, 5, 27-39.
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., ... & Turner, R. K. (2002). Economic reasons for conserving wild nature. Science, 297(5583), 950-953.
- Barbier, E. B. (2013). Valuing ecosystem services for coastal wetland protection and restoration: progress and challenges. Resources, 2(3), 213-230.
- Barbier, E. B. 2012. Progress and challenges in valuing coastal and marine ecosystem services. Review of Environmental Economics and Policy 6: 1–19.
<https://doi.org/10.1093/reep/rer017>

- Barbier, E. B., Koch, E. W., Silliman, B. R., Hacker, S. D., Wolanski, E., Primavera, J., ... & Reed, D. J. (2018). Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, 319(5861), 321-323.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4), 466-479.
- Baró, F., Haase, D., Gómez-Baggethun, E., & Frantzeskaki, N. (2015). Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological indicators*, 55, 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>.
- Bateman, I. J., Carson, R. T., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., Hett, T., ... & Swanson, J. (2002). *Economic valuation with stated preference techniques: a manual*. Edward Elgar Publishing.
- Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., & Termansen, M. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *science*, 341(6141), 45-50. <https://doi.org/10.1126/science.1234379>
- Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., ... & Crowe, A. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *Science*, 341(6141), 45-50. <https://doi.org/10.1126/science.1234379>

- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, K. (2011). Economic analysis for ecosystem service assessments. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 177-218. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9418-x>
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, R. K. (2014). Economic analysis for ecosystem service assessments. In *Valuing Ecosystem Services*, Edward Elgar Publishing, (pp. 23-77). <https://doi.org/10.4337/9781781955161.00013>
- Benavides M., H. M. y D. Y. Fernández G. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques* 18 (2): 51-71. <https://10.21829/myb.2012.182352>.
- Benítez, G., Pérez-Vázquez, A., Nava-Tablada, M., Equihua, M., & Álvarez-Palacios, J. L. (2012). Urban expansion and the environmental effects of informal settlements on the outskirts of Xalapa city, Veracruz, Mexico. *Environment and Urbanization*, 24(1), 149-166. <https://doi.org/10.1177/0956247812437520>
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12: 1394-1404. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12(12), 1394-1404.

- Bernal, J. M., Gallego, J. L., & Timilsina, G. R. (2020). Do trees increase property values in urban areas? A meta-analysis. *World Bank Economic Review*, 34(3), 1037-1055.
- Bertram, C., & Rehdanz, K. (2015). The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152.
- Bishop, J., Brink, P. T., Gundimeda, H., Kumar, P., Nesshöver, C., Schröter-Schlaack, C., ... & Wittmer, H. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions, and recommendations of TEEB. ISBN 978-3-9813410-3-4.
- Bockstael, N. E., Freeman, A. M., Kopp, R. J., Portney, P. R., & Smith, V. K. (2013). On measuring economic values for nature. *Environmental Science & Technology*, 34(8), 1384-1389.
- Bockstael, N. E., McConnell, K. E., & Strand, I. E. (2013). Measuring the benefits of improvements in water quality: the Chesapeake Bay. *Marine Resource Economics*, 28(2), 131-147.
- Bolitzer, B., & Netusil, N. R. (2000). The impact of open spaces on property values in Portland, Oregon. *Journal of Environmental Management*, 59(3), 185-193.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)

- Boumans, R., Roman, J., Altman, I., & Kaufman, L. (2015). The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems. *Ecosystem Services*, 12, 30-41.
- Boyd, J., Ringold, P., Krupnick, A., Johnston, R. J., Weber, M. A., & Hall, K. (2016). Ecosystem services indicators: Improving the linkage between biophysical and economic analyses. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 8(3-4), 359-443.
- Brancalion, P. H., Cardozo, I. V., Camatta, A., Aronson, J., & Rodrigues, R. R. (2014). Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration ecology*, 22(1), 65-71. <https://doi.org/10.1111/rec.12025>
- Brander, L. M., Koetse, M. J., & Nunes, P. A. (2013). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 83(1), 169-193.
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4). <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Carson, R. T. (2000). Contingent valuation: a user's guide. *Environmental Science & Technology*, 34(8), 1413-1418.
- Carson, R. T., & Hanemann, W. M. (2005). Contingent valuation. *Handbook of environmental economics*, 2, 821-936. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(05\)02017-6](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(05)02017-6)

- Carson, R. T., Flores, N. E., & Meade, N. F. (2001). Contingent valuation: controversies and evidence. *Environmental and Resource Economics*, 19(2), 173-210.
- Champ, P. A., Boyle, K. J., & Brown, T. C. (Eds.). (2017). *A primer on nonmarket valuation*. Springer.
- Chan, K. M., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., ... & Levine, J. (2012). Where are cultural and social in ecosystem services? A framework for constructive engagement. *BioScience*, 62(8), 744-756.
- Chan, K. M., Satterfield, T., & Goldstein, J. (2012). Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 74, 8-18.
- Chang, J., Qu, Z., Xu, R., Pan, K., Xu, B., Min, Y., ... & Ge, Y. (2017). Assessing the ecosystem services provided by urban green spaces along urban center-edge gradients. *Scientific reports*, 7(1), 11226. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11559-5>
- Chen, W. Y., Jim, C. Y., & Wang, X. (2018). Assessing the aesthetic value of cultural ecosystem services by mapping geo-tagged photographs from social media data on Panoramio and Flickr. *Journal of Environmental Management*, 217, 953-967.
- Cheng Zhang, Jing Li & Zixiang Zhou. (2022). Ecosystem service cascade: Concept, review, application and prospect, *Ecological Indicators*, Volume 137, 108766, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108766>.

- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and urban planning*, 68(1), 129-138.
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 129-138.
- Cho, S. H., Poudyal, N. C., & Roberts, R. K. (2008). Spatial analysis of the amenity value of green open space. *Ecological Economics*, 66(2-3), 403-416.
- Conway, D., Li, C. Q., Wolch, J., Kahle, C., & Jerrett, M. (2016). A spatial autocorrelation approach for examining the effects of urban greenspace on residential property values. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 57(2), 320-344.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1), 152-158.

- Cuccia, T. (2020). Contingent valuation. In Handbook of Cultural Economics, Third Edition. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788975803.00016>
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21-28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- Daily, GC (Ed.). 1997. Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. 392 pp. ISBN 1-55963-475-8 hbk), 1 55963 476 6 (soft cover. In *Animal Conservation forum* (Vol. 1, No. 1, pp. 75-76). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1367943098221123>
- Dallimer, M., Irvine, K. N., Skinner, A. M., Davies, Z. G., Rouquette, J. R., Maltby, L. L., ... & Gaston, K. J. (2012). Biodiversity and the feel-good factor: understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *BioScience*, 62(1), 47-55. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.9>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods, and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., ... & Hussain, S. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50-61

- Doick, K. J., Albertini, A., Handley, P., Lawrence, V., Rogers, K., & Rumble, H. (2016). Valuing Urban Trees in the Tawe Catchment. *Forest Research*. Recuperado de https://cdn.forestresearch.gov.uk/2015/11/fr_doick_tawe_itree_full_report_2015_low_res_for_web.pdf
- Donovan, G. H., Butry, D. T., Michael, Y. L., Prestemon, J. P., Liebhold, A. M., Gatzliolis, D., & Mao, M. Y. (2011). The relationship between trees and human health: evidence from the spread of the emerald ash borer. *American Journal of Preventive Medicine*, 44(2), 139-145.
- Edward Elgar Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., ... & Tourangeau, R. (2017). Contemporary guidance for stated preference studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), 319-405.
- Eigenbrod, F., Armsworth, P. R., Anderson, B. J., Heinemeyer, A., Gillings, S., Roy, D. B., ... & Gaston, K. J. (2010). The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 47(2), 377-385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01777.x>
- Eigenbrod, F., Armsworth, P. R., Anderson, B. J., Heinemeyer, A., Gillings, S., Roy, D. B., ... & Gaston, K. J. (2010). The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 47(2), 377-385.

- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2078-2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- Escobedo, F. J., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J. E., & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science & Policy*, 13(5), 362-372.
- Farber, S. C., Costanza, R., & Wilson, M. A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41(3), 375-392.
- Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem Services*, 1(1), 40-49.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80-86. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0080:BEFART\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0080:BEFART]2.0.CO;2)
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80-86.
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.
- Freeman III, A. M., Herriges, J. A., & Kling, C. L. (2014). *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*. Routledge.

- Freeman, A. M. (2003). The measurement of environmental and resource values: theory and methods. *Resources for the Future*.
- García, F. F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas (España)*, (49), 173-195. <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.09>
- García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., Willaarts, B. A., Harrison, P. A., Berry, P., Bayo, M., ... & Montes, C. (2016). Biophysical and socio-cultural factors underlying spatial trade-offs of ecosystem services in semiarid watersheds. *Ecology and Society*, 21(3).
- García-Llorente, M., Martín-López, B., Díaz, S., & Montes, C. (2011). Can ecosystem properties be fully translated into service values? An economic valuation of aquatic plant services. *Ecological Applications*, 21(8), 3083-3103.
- Gaston, K. J., Ávila-Jiménez, M. L., & Edmondson, J. L. (2013). Managing urban ecosystems for goods and services. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 830-840. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12087>
- Gomes, E. G., Landers, J. N., & Cardoso, F. F. (2009). The environmental sustainability of Brazilian sugarcane ethanol calculated with the Model for Integrated Environmental Assessment of Sustainability (MIEAS). *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(1), 22-36.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological economics*, 86, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.
- Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N., Berry, P., Dunford, R., & Harrison, P. A. (2016). Concepts and methods in ecosystem services valuation. In *Routledge Handbook of Ecosystem Services* (pp. 99-111). Routledge.
- Gong, C., Xian, C. y Ouyang, Z. (2022). Evaluación de la purificación de NO₂ por bosques urbanos basada en el modelo i-Tree Eco: estudio de caso en Beijing, China. *Bosques*, 13(3), 369; <https://doi.org/10.3390/f13030369>
- Graça, M., Alves, P., Gonçalves, J., Nowak, D. J., Hoehn, R., Farinha-Marques, P., & Cunha, M. (2018). Assessing how green space types affect ecosystem services delivery in Porto, Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 170, 195-208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.007>
- Gu, Y., Li, K., Li, W., Li, G., Yin, C., & Zhou, Y. (2018). Ecosystem services trade-offs and determinants in China's Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015. *Science of the Total Environment*, 624, 527-540.
- Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., ... & Ruckelshaus, M. H. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7348-7355.
- Haab, T. C., Interis, M. G., Petrolia, D. R., & Whitehead, J. C. (2013). From hopeless to curious? Thoughts on Hausman's "dubious to hopeless" critique of contingent valuation. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 35(4), 593-612.

- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., ... & Schwarz, N. (2020). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio*, 49(3), 826-851.
- Haines-Young R, Potschin-Young M (2018) Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem* 3: e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
- Hanley, N., Wright, R. E., & Adamowicz, V. (2001). Using choice experiments to value the environment: design issues, current experience, and future prospects. *Environmental and Resource Economics*, 19(2), 413-428.
- He, J., Chen, X., Liu, Y., & Wu, J. (2021). Patterns and drivers of urban forest expansion and contraction: A case study in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 767, 145126.
- Hein, L., Van Koppen, K., De Groot, R. S., & Van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders, and the valuation of ecosystem services. *Ecological economics*, 57(2), 209-228. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.005>
- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R. S., & van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders, and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57(2), 209-228.
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y Medio Ambiente Urbano: indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 24(65), 79-111. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582009000100003>

- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T., & Bieling, C. (2013). An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators*, 29, 434-444.
- INEGI (2020). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Irwin, E. G., & Bockstael, N. E. (2001). The problem of identifying land use spillovers: measuring the effects of open space on residential property values. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), 698-704.
- Jáuregui Ostos, Ernesto, & Luyando, Elda. (1992). Patrones de flujo de aire superficial y su relación con el transporte de contaminantes en el Valle de México. *Investigaciones geográficas*, (24), 51-78. Recuperado 12 de enero de 2023 en;
- Johnston, R. J., Rolfe, J., Rosenberger, R. S., & Brouwer, R. (2015). Introduction to benefit transfer methods. In *Benefit transfer of environmental and resource values* (pp. 15-32). Springer, Dordrecht.
- Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T. H., Daily, G. C., & Polasky, S. (Eds.). (2011). *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.
- Karki, S., & Vogt, J. M. (2023). Economic valuation of ecosystem services from urban trees: A case study of Berlin, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 67, 127595.
- Kim, G., Miller, P. A., & Nowak, D. J. (2015). Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the City of

Roanoke, Virginia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 519–526.

<https://doi:10.1016/j.ufug.2015.05.003>

- Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2007). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 244-255.
- Kovacs, K. F., Haight, R. G., Jung, S., Locke, D. H., & O'Neil-Dunne, J. P. (2013). The marginal cost of carbon abatement from planting street trees in New York City. *Ecological Economics*, 95, 1-10.
- Kumar, P. (Ed.). (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations*. Earthscan.
- Kumar, P., & Muradian, R. (2009). Payment for ecosystem services. *Oxford Review of Economic Policy*, 24(2), 193-195.
- Laurans, Y., Rankovic, A., Billé, R., Pirard, R., & Mermet, L. (2013). Use of ecosystem services economic valuation for decision making: Questioning a literature blindspot. *Journal of Environmental Management*, 119, 208-219.
- Lee, H., Lautenbach, S., Ellwanger, N., & Seppelt, R. (2018). Optimizing the use of ecosystem services within residential areas. *Journal of Environmental Management*, 223, 408-417.
- Lin, J., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2020). Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture and Urban Forestry*, 46(4), 287-306.
<https://doi.org/10.48044/jauf.2020.021>

- Liu, J., & Opdam, P. (2014). Valuing ecosystem services in community-based landscape planning: introducing a wellbeing-based approach. *Landscape ecology*, 29(8), 1347-1360. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0045-8>
- Lofgren, S., Bradley, P., & Frossard, P. (2002). Gårda: a pilot study on human-induced local environmental change in an urban ecosystem. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(4), 352-358.
- Loomis, J., Kent, P., Strange, L., Fausch, K., Covich, A. (2000). Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey. *Ecological Econ.* 33, pp.103–117. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00131-7)
- Lyytimäki, J., Sipilä, M., & Paloniemi, R. (2018). Urban nature, outdoor physical activity, and mental well-being. In *The Urban Forest* (pp. 161-178). Springer, Cham.
- Ma, J., Li, X., Baoquan, J., Liu, X., Li, T., Zhang, W., & Liu, W. (2021). Spatial variation analysis of urban forest vegetation carbon storage and sequestration in built-up areas of Beijing based on i-Tree Eco and Kriging. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127413. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127413>
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2018). The coasts of our world: ecological, economic, and social importance. *Ecosystems and human well-being: a manual for assessment practitioners*, 11-36.
- Martínez-Harms, M. J., Balvanera, P., Bourgeron, P. S., Cabello, J., Equihua, M., Hotes, S., ... & Spangenberg, J. H. (2015). An ecosystem services approach for

enhancing adaptive capacity. In: *Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice* (pp. 109-133). Springer, Cham.

- Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67), 202-223
- Martín-López, B., Montes, C., & Benayas, J. (2007). The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. *Biological conservation*, 139(1-2), 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.06.005>
- Martín-López, B., Montes, C., Benayas, J., & Schulz, N. (2014). Trade-offs between conservation and development in Australia's Great Barrier Reef. A systemic approach. *Environmental Conservation*, 41(2), 171-181.
- McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2007). Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 10(1), 41-47.
- Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). Washington, DC: Island press.
- Moody, R., Geron, N., Healy, M., Rogan, J., & Martin, D. (2021). Modeling the spatial distribution of the current and future ecosystem services of urban tree planting in Chicopee and Fall River, Massachusetts. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127403. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127403>

- Mwebaze, P., Moyer, D., & Masiga, M. (2018). Ecosystem services and poverty alleviation in Uganda: A case study of wetland papyrus services in the Lake Victoria Basin. *Ecosystem Services*, 30, 338-345.
- Naidoo, R., Balmford, A., Ferraro, P. J., Polasky, S., Ricketts, T. H., & Rouget, M. (2006). Integrating economic costs into conservation planning. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(12), 681-687.
- Nassauer, J. I. (2012). Landscape as medium and method for synthesis in urban ecological design. *Landscape and Urban Planning*, 106(3), 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.014>
- Negri, L. A. B., Rojas, A., Iraheta, A., & Cárdenas, J. (2021). Análisis del componente arbóreo y su contribución a los servicios ecosistémicos en la ciudad de Turrialba, Costa Rica. *Ecosistemas*, 30(2), 2083-2083. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2083>
- Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). Green infrastructure and health. *Annual Review of Public Health*, 42, 317-328. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-090419-102511>
- Nowak, D. J. (2006). Assessing urban forest effects and values: Washington, DC's Urban Forest (Vol. 1). United States Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Nowak, D. J., & Aevermann, T. (2019). Tree compensation rates: Compensating for the loss of future tree values. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.014>

- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2013). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4), 115-123.
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., & Ash, R. M. (2019). Annual biomass loss and potential value of urban tree waste in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126469. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126469>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Crane, D. E., Stevens, J. C., & Walton, J. T. (2010). Assessing urban forest effects and values: Washington, D.C.'s urban forest. Resource Bulletin NRS-42. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Nunes, P. A., & van den Bergh, J. C. (2001). Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics*, 39(2), 203-222.
- Nunes, P. A., van den Bergh, J. C., & Nijkamp, P. (2003). The ecological economics of biodiversity: methods and applications. Edward Elgar Publishing.
- Pace, R., Guidolotti, G., Baldacchini, C., Pallozzi, E., Grote, R., Nowak, D. J., & Calfapietra, C. (2021). Comparing i-Tree Eco Estimates of Particulate Matter

Deposition with Leaf and Canopy Measurements in an Urban Mediterranean Holm Oak Forest. *Environmental science & technology*, 55(10), 6613-6622.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07679>

- Pagiola, S. (2008). Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics*, 65(4), 712-724.
- Pagiola, S., Bishop, J., & Landell-Mills, N. (Eds.). (2004). *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*. Routledge.
- Palmquist, R. B. (2005). Property value models. *Handbook of environmental economics*, 2, 763-819.
- Pandit, R., Polyakov, M., & Tapsuwan, S. (2014). The effect of street trees on property value in Perth, Western Australia. *Landscape and Urban Planning*, 110, 134-142.
- Pardo Rozo, Y. Y., Muñoz Ramos, J., & Velásquez Restrepo, J. E. (2022). Valoración económica de servicios ecosistémicos en bosques de sistemas agropecuarios del piedemonte amazónico colombiano. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (91), 143-169. <https://doi.org/10.13043/DYS.91.4>
- Parmeter, C. F., & Pope, J. C. (2013). Quasi-experiments and hedonic property value methods. *Handbook on Experimental Economics and the Environment*, 3-66.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... & Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current*

opinion in environmental sustainability, 26, 7-16.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>

- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... & Kelemen, E. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 7-16.
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., ... & Polasky, S. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*, 183-256.
<https://www.researchgate.net/publication/303444184>
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., ... & Christie, M. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*, 183-256.
- Pascual, U., Muradian, R., Rodríguez, L. C., & Duraiappah, A. (2010). Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach. *Ecological economics*, 69(6), 1237-1244.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.004>
- Pascual, U., Muradian, R., Rodríguez, L. C., & Duraiappah, A. (2010). Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: a conceptual approach. *Ecological Economics*, 69(6), 1237-1244.

- Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., Martin, A., ... & Muradian, R. (2014). Social equity matters in payments for ecosystem services. *BioScience*, 64(11), 1027-1036.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., ... & Whitlow, T. H. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.
- Pauleit, S., & Duhme, F. (2020). Valuing nature-based solutions for urban regeneration and climate adaptation. *Journal of Environmental Management*, 270, 110870.
- Pérez-Medina, S., & López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía Sociedad Y Territorio*, 1-33. <https://doi.org/10.22136/est002015552>
- Pisani, D., Pazienza, P., Perrino, E. V., Caporale, D., & De Lucia, C. (2021). The economic valuation of ecosystem services of biodiversity components in protected areas: a review for a framework of analysis for the gargano national park. *Sustainability*, 13(21), 11726. <https://doi.org/10.3390/su132111726>
- Plummer, M. L. (2009). Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 38-45.
- Polasky, S., Nelson, E., Camm, J., Csuti, B., Fackler, P., Lonsdorf, E., ... & Tobalske, C. (2008). Where to put things? Spatial land management to sustain biodiversity and economic returns. *Biological Conservation*, 141(6), 1505-1524.

- Posner, S. M., McKenzie, E., & Ricketts, T. H. (2016). Policy impacts of ecosystem services knowledge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(7), 1760-1765.
- Qaro, S. A. M., & Akrawee, Z. M. (2020). Assessment Of Carbon Storage and Sequestration by Using I-Tree Program for Atrush Forest/North of Iraq. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 51, 72-85.
<https://doi.org/10.36103/ijas.v51iSpecial.884>
- Ramajo-Hernández, J., Salvo, M., & Suárez, E. (2021). Urban green spaces and their contribution to climate change adaptation and mitigation. The role of the ecosystem services approach. *Land Use Policy*, 104, 105388.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing trade-offs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5242-5247.
- Raum, S., Hand, K. L., Hall, C., Edwards, D. M., O'brien, L., & Doick, K. J. (2019). Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and urban planning*, 190, 103590. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103590>
- Remme son, I. (2016). Social impact assessment of conservation projects: a case study of participatory evaluation of community livelihood changes. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 46-53.
- Riondato, E., Pilla, F., Basu, A. S., & Basu, B. (2020). Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-Tree Eco model.

Sustainable cities and society, 61, 102356.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102356>

- Rosenberger, R. S., & Loomis, J. B. (2001). Benefit transfer of outdoor recreation use values: a technical document supporting the Forest Service Strategic Plan (2000 revision). Gen. Tech. Rep. RMRS-G TR-72. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 p.
- [Ross, S., Jean-Philippe, S., Clatterbuck, W., Giffen, N., Herold, J., & Zobel, J. \(2020\). i-Tree eco analysis of landscape vegetation on remediated areas of oak ridge national laboratory. Open Journal of Forestry, 10\(04\), 412. <https://doi.org/10.4236/ojf.2020.104026>](#)
- Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, H., Guerry, A., Daily, G., Kareiva, P., ... & Bernhardt, J. (2015). Notes from the field: lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. Ecological Economics, 115, 11-21.
- Sahagún Sánchez, Francisco Javier, Aceves Sánchez, José, Sánchez Romero, Elizabeth, & Plazola Zamora, Laura. (2020). Valoración de los servicios ecosistémicos en áreas verdes. El caso del Parque Metropolitano de Guadalajara, México. Acta universitaria, 30, e2635. Epub 26 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2635>
- Sanchez-Cuervo, A. M., Aide, T. M., Clark, M. L., & Etter, A. (2012). Land cover change in Colombia: Surprising Forest recovery trends between 2001 and 2010. PloS one, 7(8), e43943.

- Schaafsma, M., Brouwer, R., & Rose, J. (2013). Directional heterogeneity in WTP models for environmental valuation. *Ecological Economics*, 87, 194-204.
- Schröter, M., Van der Zanden, E. H., van Oudenhoven, A. P., Remme, R. P., Serna-Chavez, H. M., De Groot, R. S., & Opdam, P. (2014). Ecosystem services as a contested concept: a synthesis of critique and counterarguments. *Conservation Letters*, 7(6), 514-523. <https://doi.org/10.1111/conl.12091>
- Semeraro, T., Radicchio, B., Medagli, P., Arzeni, S., Turco, A., & Geneletti, D. (2020). Integration of ecosystem services in strategic environmental assessment of a Peri-urban development plan. *Sustainability*, 13(1), 122. <https://doi.org/10.3390/su13010122>
- Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings, and the road ahead. *Journal of applied Ecology*, 48(3), 630-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>
- Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings, and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 630-636.
- Siedlarczyk, E., Winczek, M., Zięba-Kulawik, K., & Wężyk, P. (2019). Smart green infrastructure in a smart city—the case study of ecosystem services evaluation in krakow based on i-Tree eco software. *GeoScience Engineering*, 65(2), 36-43. <http://doi.org/10.35180/gse-2019-0010>

- Smith, V. K., Poulos, C., & Kim, H. (2002). Treating open space as an urban amenity. *Resource and Energy Economics*, 24(1-2), 107-129.
- Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. (2020). Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-Tree Eco. *Sustainability*, 12(4), 1630. <https://doi.org/10.3390/su12041630>
- Stojanović, V., Orlović, S., & Marjanović, H. (2020). Ecosystem services valuation of urban forests in Serbia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 50, 126659.
- Tallis, H., Kareiva, P., Marvier, M., & Chang, A. (2008). An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9457-9464.
- Taylor, L. O. (2003). The hedonic method. A primer on nonmarket valuation, 331-393.
- TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions, and recommendations of TEEB.*
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.

- Triana, A., Sánchez, J., González-Melo, A., & Torres, F. (2019). Análisis funcional del secuestro de carbono en un bosque seco tropical interandino. *Caldasia*, 41(1), 179-193. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71304>
- Troy, A., & Wilson, M. A. (2006). Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological economics*, 60(2), 435-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.04.007>
- Troy, A., & Wilson, M. A. (2006). Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*, 60(2), 435-449.
- Troy, A., Morgan Grove, J., & O'Neil-Dunne, J. (2012). The relationship between tree canopy and crime rates across an urban–rural gradient in the greater Baltimore region. *Landscape and Urban Planning*, 106(3), 262-270.
- Turner, K. G., Odgaard, M. V., Bøcher, P. K., Dalgaard, T., & Svenning, J. C. (2014). Bundling ecosystem services in Denmark: trade-offs and synergies in a cultural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 125, 89-104.
- Turner, R. K., Paavola, J., Cooper, P., Farber, S., Jessamy, V., & Georgiou, S. (2003). Valuing nature: lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 46(3), 493-510.
- Tyrväinen, L., & Miettinen, A. (2000). Property prices and urban forest amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39(2), 205-223.

- Tyrväinen, L., Mäkinen, K., & Schipperijn, J. (2007). Tools for mapping social values of urban woodlands and other green areas. *Landscape and Urban Planning*, 79(1), 5-19.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., & De Vries, S. (2005). Benefits and uses of urban forests and trees. *Urban forests and trees: A reference book*, 81-114.
https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_5
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Vásquez, F., Alpízar, F., Lange, G. M., & Martínez, S. (2014). The role of water services in policy and decision-making: Insights from a synthetic framework. *Water Resources and Economics*, 10, 1-14.
- Votsi, N. E., Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., & Pantis, J. D. (2016). How does a wind farm affect an ecosystem? Land use changes lead to ecosystem degradation. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 23(3), 272-279.
- Wang, H., Shi, Y., Bai, Y., Cao, Y., Liu, Y., & Liu, Y. (2015). Assessing the ecosystem services provided by urban green spaces along urban center-edge gradients. *Scientific Reports*, 5, 15911.

- Westman, W. E. (1977). How Much Are Nature's Services Worth? Measuring the social benefits of ecosystem functioning is both controversial and illuminating. *science*, 197(4307), 960-964.
- Whitehead, J. C., Haab, T. C., & Huang, J. C. (2019). Preference data for environmental valuation: combining revealed and stated approaches. Routledge.
- Wilbanks, T. J., & Fernandez, S. (2014). Climate change and infrastructure, urban systems, and vulnerabilities: Technical report for the US Department of Energy in support of the national climate assessment. Island Press.
- Wu, J., Wang, Y., Qiu, S., & Peng, J. (2019). Using the modified i-Tree Eco model to quantify air pollution removal by urban vegetation. *Science of the total environment*, 688, 673-683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.437>
- Xepapadeas, A. (2011). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, edited by Pushpam Kumar, 2010, London and Washington: Earthscan, ISBN 978-1-84971-212-5 <https://doi.org/10.1017/S1355770X11000088>
- Xu, H. J., Li, S., Su, J. Q., Nie, S. A., Gibson, V., Li, H., & Zhu, Y. G. (2014). Does urbanization shape bacterial community composition in urban park soils? A case study in 16 representative Chinese cities based on the pyrosequencing method. *FEMS Microbiology Ecology*, 87(1), 182-192. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12215>
- Yang, H., Cao, J., & Hou, X. (2023). Study on the Evaluation and Assessment of Ecosystem Service Spatial Differentiation at Different Scales in Mountainous Areas

around the Beijing–Tianjin–Hebei Region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1639.

<https://doi.org/10.3390/ijerph20021639>

- Yao, R., Wang, R., Robinson, D. A., Gao, Y., & Wu, J. (2015). Assessment of soil ecosystem services in a peri-urban area of Nanjing, China. *Ecosystem Services*, 13, 98-108.
- Young, R. F. (2010). Managing municipal green space for ecosystem services. *Urban forestry & urban greening*, Volume 9, Issue 4, 313-321, ISSN 1618-8667. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.007>.
- Zandersen, M., Termansen, M., & Jensen, F. S. (2007). Evaluating approaches to predict recreation values of new forest sites. *Journal of Forest Economics*, 13(2-3), 103-128. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2007.02.003>
- Zandersen, M., Termansen, M., & Jensen, F. S. (2007). Evaluating approaches to predict recreation values of new forest sites. *Journal of Forest Economics*, 13(2-3), 103-128.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253-260.
- Zhang, X., Estoque, R. C., Xie, H., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2019). Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. *PloS one*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210707>

- Zhang, X., Lu, H., & Holt, J. B. (2017). Modeling spatial accessibility to parks: a national study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 485.
- Zinia, N. J., & McShane, P. (2021). Urban ecosystems and ecosystem services in megacity Dhaka: mapping and inventory analysis. *Urban Ecosystems*, 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s11252-020-01076-1>