



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL**

**María Cristina Rivas González**

Asesorada por la MSc. Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARÍA CRISTINA RIVAS GONZÁLEZ**

ASESORADA POR LA MSC. LICDA. INGRID LORENA BENÍTEZ PACHECO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
EXAMINADOR	Ing. Agr. Carlos V. Godínez Miranda
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 11 de noviembre de 2021.



**María Cristina Rivas González**



**EEPFI-PP-0418-2022**

Guatemala, 28 de enero de 2022

**Director**  
**Williams G. Álvarez Mejía**  
Escuela De Ingenieria Quimica  
Presente.

**Estimado Ing. Álvarez**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Ordenamiento Territorial - Instrumentos de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible**, presentado por la estudiante **María Cristina Rivas González** carné número **201408438**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion De La Planificacion Para El Desarrollo.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

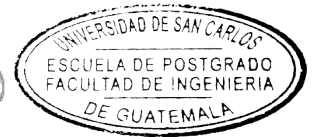
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Ingrid Lidia Benitez Pacheco

*(Signature)*  
Cecilia Lidia Benitez Pacheco P.  
Aguilón (a)  
Maestría Ciencia y Tecnología  
del Medio Ambiente  
Colegiado No. 1974

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría



*(Signature)*

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.0418.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, presentado por el estudiante universitario **María Cristina Rivas González**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

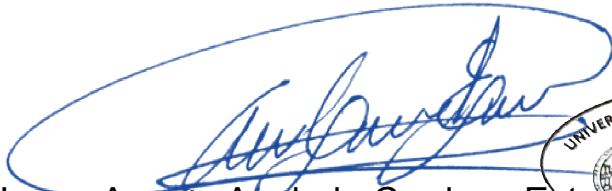
Ing. Williams G. Álvarez Mejía  
Director  
Escuela De Ingenieria Quimica


Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.251.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA Y SU INTEGRACIÓN EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, presentado por: **María Cristina Rivas González**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por esta oportunidad de vida y su infinito amor.
<b>Mi madre</b>	Por alegrar mis días, acompañarme, apoyarme durante este proceso y animarme a seguir adelante.
<b>Mis abuelos</b>	Olga Cristina Fuentes (q. d. e. p.) y Juan González (q. d. e. p.) por sus valiosas enseñanzas y ejemplo de vida.
<b>Mi tía</b>	Olga González, por todo su apoyo incondicional en este proceso y sus palabras de aliento.
<b>Familia</b>	Olga, Juan, Otto, Liliana, Isis, Daniela y Juan Carlos González, Helen Luna, Enrique, Andrés y Laura Chávez, Alejandro, Lucía, Juan Pablo y Rodrigo Pérez, Patricia Girón, Catalina y Karen Miranda, por su cariño y soporte en todo momento.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por su accesibilidad, al permitirme estudiar una carrera universitaria y alentar mi deseo por aportar al desarrollo y bienestar de Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido viabilizar el presente trabajo de graduación.
<b>Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala</b>	Por brindarme la información y asesoría necesaria para realizar este diseño de investigación.
<b>Mis amigos</b>	Por los buenos momentos, sus sabias palabras y enseñanzas.
<b>Mi asesora</b>	MSc. Ing. Ingrid Benítez, por guiarme durante el trabajo de graduación.
<b>Amigos</b>	Laura Herrera, Mercedes Dardón, Mercedes Corado, Lourdes Mendía, Celeste Winter, Farah Catú, Alejandro Rodríguez, Roberto Garrido, Sofía Cap, Juan José González, Daniel Camey, Luis Morales y Diana Coloma, por animarme en

los momentos difíciles y por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Contexto general .....	10
3.2. Descripción del problema .....	11
3.3. Formulación del problema .....	13
3.4. Delimitación del problema .....	14
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. OBJETIVOS .....	17
5.1. General .....	17
5.2. Específicos .....	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Servicios ecosistémicos.....	21

7.1.1.	Modelo conceptual .....	23
7.2.	Infraestructura verde y ecológica .....	26
7.3.	Técnicas no monetarias para la valoración de SSEE .....	28
7.3.1.	Valoración sociocultural.....	29
7.4.	Servicios ecosistémicos y el ordenamiento territorial .....	31
7.5.	Mapeo de servicios y funciones ecosistémicas .....	32
7.5.1.	Provisión relativa de cada tipo de servicio ecosistémico.....	33
7.5.2.	Análisis prospectivo del cambio de uso del suelo ..	34
7.5.2.1.	Cadenas de Markov-autómatas celulares .....	35
7.6.	Plan de ordenamiento territorial del municipio de Guatemala ..	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	41
9.	METODOLOGÍA .....	45
9.1.	Características del estudio .....	45
9.2.	Unidades de análisis .....	50
9.3.	Variables .....	50
9.4.	Fases del estudio .....	52
9.4.1.	Fase 1: Identificación .....	52
9.4.2.	Fase 2: Gestión o recolección de la información ....	53
9.4.3.	Fase 3: Análisis de información.....	53
9.4.4.	Fase 4: Interpretación de información .....	53
9.4.5.	Fase 5: Exposición de la información.....	54
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	55
11.	CRONOGRAMA .....	57

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	59
13.	REFERENCIAS .....	61



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Modelo cascada de servicios ecosistémicos.....	24
2.	Escalera de servicios ecosistémicos .....	32
3.	Artículo 7. Políticas públicas de ordenamiento territorial.....	38
4.	Artículo 9. Clasificación del Municipio según su vocación territorial.....	39

### TABLAS

I.	Servicios ecosistémicos, descripción y ejemplo .....	22
II.	Infraestructura típica verde y sus escalas asociadas .....	26
III.	Clasificación de SSEE importantes en áreas urbanas y sus funcion.....	28
IV.	Métodos de valoración sociocultural .....	29
V.	Ejemplo de matriz de integración .....	47
VI.	Variables para el desarrollo de la investigación .....	51
VII.	Cronograma de actividades .....	57
VIII.	Recursos necesarios para la investigación .....	59





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>E</b>	Este
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>hab/ha</b>	Habitante por hectárea
<b>ha</b>	Hectáreas
<b>=</b>	Igual que
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>2</sup>/hab</b>	Metro cuadrado por habitante
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico por segundo
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Norte
<b>O</b>	Oeste
<b>'</b>	Pies o minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>“</b>	Pulgadas o segundos
<b>S</b>	Sur



## **GLOSARIO**

<b>DIGM</b>	Dirección de Información Geográfica Municipal.
<b>DMA</b>	Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.
<b>EM</b>	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.
<b>FE</b>	Función Ecosistémica.
<b>Flujo de SE</b>	Es la cantidad de un SE, generada por unidad de tiempo y espacio a partir del capital natural de los ecosistemas.
<b>IARNA</b>	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad.
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
<b>OT</b>	Ordenamiento Territorial.
<b>Pendiente</b>	Nivel de inclinación de un terreno.

<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial.
<b>QGIS</b>	Sistema de Información Geográfica Quantum.
<b>SE</b>	Servicio Ecosistémico.
<b>SIG</b>	Sistemas de Información Geográfica.
<b>SSE</b>	Sistemas Socio-Ecológicos. Abstracción conceptual sobre la estructura y funcionamiento de porciones del territorio donde se integran componentes sociales y ecológicos, de forma que el funcionamiento considera su interacción.
<b>SSEE</b>	Servicios Ecosistémicos.
<b>TEEB</b>	Se refiere al proyecto de la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB en sus siglas en inglés).
<b>TerrSet</b>	Software geoespacial integrado para monitorear y modelar el sistema terrestre para el desarrollo sostenible.

## RESUMEN

La integración del concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial es un tema que se ha estado desarrollando para mejorar la toma de decisiones sobre el cambio de uso del suelo y la preservación del medio ambiente. En el municipio de Guatemala se carece de información sobre las categorías de estos servicios, su relación con el bienestar de los ciudadanos, distribución espacial y exposición al cambio de uso del suelo, que da como consecuencia la dificultad de su integración desde el componente ambiental de este instrumento de planificación y gestión del territorio.

De esta forma, el presente diseño de investigación con alcance descriptivo busca analizar los servicios ecosistémicos relevantes en el municipio, para favorecer su integración en el OT, por medio de la generación de información y determinación de recomendaciones, a través de la identificación, valoración sociocultural de los SSEE y la infraestructura verde, además de la determinación de la exposición por el cambio de uso del suelo relacionados con el mapa POT.

El enfoque del estudio propuesto será mixto, puesto que se extraerán significados a partir de datos y se llevará a cabo una medición de fenómenos, esto se realizará a través de la recolección y análisis de datos sobre la evaluación de preferencias de los SSEE y el análisis espacial a través de SIG, además se utilizará como guía el Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial (ECOSER) y los conceptos de infraestructura verde o ecológica, de TEEB (2010), *European Environment Agency [EEA] (2011)* y *Gómez-Baggethun et. al. (2013)*.



# 1. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos se definen como el grupo de procesos ecológicos y de funciones propias de los ecosistemas que benefician a las poblaciones humanas. Cabe mencionar que estos pueden verse afectados por las dinámicas sociales y su emplazamiento, tal como el cambio de uso del suelo que está administrado por el ordenamiento territorial y sus políticas.

En el municipio de Guatemala, la población se concentra en el área urbana, aunque también posee zonas naturales o rurales que conforman el Cinturón Ecológico del municipio. Este ha sido reconocido por su importancia ambiental, al generar servicios ecosistémicos como la captación de carbono, disponibilidad de agua, belleza escénica, entre otros. Sin embargo, la contaminación, la tala indiscriminada de árboles, el asentamiento en estas áreas y el vandalismo hacia la infraestructura verde existente, además del evidente desconocimiento de otras áreas con potencial importancia, crean la necesidad de generar información sobre los servicios ecosistémicos, su reconocimiento y exposición al cambio de uso del suelo.

En este sentido se comprende un acercamiento en la integración del enfoque de servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del municipio, como el ordenamiento territorial. Por lo cual, el presente diseño de investigación se apoya en la línea de ordenamiento territorial, específicamente en instrumentos de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible, tratándose de una innovación, para la mejora de este instrumento con relación a su componente ambiental.

Por lo anterior, se llevará a cabo una serie de pasos que incluirá la identificación de servicios ecosistémicos a través de la infraestructura verde y las funciones ecosistémicas, el desarrollo de encuestas para conocer la percepción sobre los servicios ecosistémicos más relevantes, y posteriormente, la función más importante para desarrollar su mapeo. Con lo anterior se obtendrá un mapa sobre la función ecosistémica y los servicios asociados, que podrá someterse a la simulación por medio de software TerrSet para conocer su exposición al cambio de uso del suelo y establecer con el mapa POT recomendaciones de mejora.



## 2. ANTECEDENTES

Derivado de la magnitud de los ecosistemas y su biodiversidad, para la comodidad derivada de un entorno saludable y la existencia de bienes naturales para futuras generaciones, se estableció la Política Nacional de Diversidad Biológica, la cual, fue presentada por CONAP (2013) enunciando entre sus ejes temáticos y líneas estratégicas el empleo sostenible de la variedad biológica y sus funciones ecosistémicas, del mismo modo, como línea estratégica indica la necesidad del desarrollo de una línea base sobre la diversidad biológica y ocupaciones ecosistémicas para promover su comprensión y valoración, a través de la integración del entendimiento científico y habitual asociado.

Con relación al tema, en Guatemala, SEGEPLAN (2013) desarrolló el proyecto Valorización de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del desarrollo en Guatemala. Informe Anual 2013, estableciendo objetivos, actividades e indicadores del proyecto, a través de “tres planes de ordenamiento territorial local con enfoque ecosistémico para la preservación del ecosistema costero, en la subregión del canal de Chiquimulilla, elaborados y funcionando como experiencia piloto” (p. 40). Dicho informe se considera el precedente para la integración del vínculo entre la pobreza y el ambiente, en la Agenda Nacional de Desarrollo K’atun: Nuestra Guatemala 2032.

SEGEPLAN (2013), reconoció la simplificación de los ecosistemas por medio de la “conexión entre los procesos del ecosistema y los beneficios que entregan a los usuarios, decidiendo cual de estos es más significativo para utilizarse en los análisis de valoración económica” (p. 14). Por medio de lo anterior, propone un medio para respaldar el pago por los SSEE, permitiendo así

su seguridad y renovación. Considerando su integración como una oportunidad para la modificación de patrones que han venido degradando el ambiente y limitado el desarrollo sostenible en Guatemala.

De igual forma, Hernández (2013) elaboró el informe Valorización de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del desarrollo en Guatemala. Consultoría: recopilación y análisis de información para la estrategia de desarrollo rural del corredor seco y de la zona del canal de Chiquimulilla, para SEGEPLAN, determinando la relación entre la pobreza, ambiente y la plusvalía de servicios ecosistémicos; entre estos, se enlistan los instrumentos de retribución, instrumentos legales, y las grandes líneas para abordar los SSEE. También, se mencionó como unidad espacial, el ordenamiento territorial, a través del manejo de cuencas y la tipología de heterogeneidad territorial en función de la transformación productiva y desarrollo institucional.

Posteriormente, el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (2014), presentó el Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032, en el que establece que la diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos, que se consideran una prioridad nacional para el desarrollo humano. En la meta dos se indica que para el año 2032, las áreas rurales generadoras de bienes y servicios serán manejadas de manera sostenible.

Asimismo, entre sus lineamientos se establece el aplicar criterios y regulaciones de ordenamiento ambiental territorial para aumentar la interrelación entre los pobladores y los bienes naturales, estableciendo la compensación urbana hacia la ruralidad por las ocupaciones ecosistémicas que esta brinda en el intercambio de servicios y bienes ambientales. Cabe mencionar que propone un enfoque de cuencas hidrográficas e indicadores como resultados asociados, para enriquecer las circunstancias de las poblaciones, sus intereses y SSEE.

Castro (2017), elaboró la tesis titulada reconocimiento y caracterización de servicios ecosistémicos en urbanizaciones, en la cual reconoció los servicios ecosistémicos de dos localidades de la ciudad de Palmira, con apoyo de expertos, posteriormente se desarrolló una propuesta de modelo de planificación y diseño de urbanizaciones sostenibles por medio de la incorporación de los planteamientos urbanísticos como forma de validar los servicios ecosistémicos urbanos.

La anterior fuente servirá para conocer la asociación de zonas urbanas con los SSEE y el confort humano que estos implican. Es importante destacar la inclusión de sistemas estructurales del territorio, como el sistema ambiental: paisaje natural, sistema de servicios públicos, sistema vial y de transporte: movilidad y sistema de espacios públicos y equipamientos, para conocer la importancia social relacionada con características ambientales.

Del mismo modo, Castillo, García y Celada (2013), bajo la Dirección General de Investigación (DIGI), desarrollaron el proyecto titulado Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala, que basó la identificación sus servicios en los niveles de abastecimiento, regulación, culturales y soporte, de acuerdo con la metodología de evaluación de ecosistemas del milenio y la infraestructura verde existente en el municipio.

En la tesis de Ojeda (2020), titulada Infraestructura verde y sus servicios ecosistémicos potenciales a escala local en Santiago de Chile, se evaluó la infraestructura verde y se logró evidenciar la falta de espacios naturales en algunas localidades, las cuales se relacionan directamente con una menor o nula provisión de servicios ecosistémicos causados por la fragmentación del ecosistema a nivel local. Esto se ejecutó por medio de la caracterización a escala

local con mapeo además del establecimiento de parámetros espaciales y funcionales para su posterior comparación, por lo cual, se obtuvieron métricas de paisaje y el análisis de SSEE a través de una matriz.

Lo anterior brinda la oportunidad de conocer cómo podría actuar la planificación urbana centrada en las necesidades de una comunidad, y el fomento de infraestructura verde para generar una mayor capacidad de suministrar servicios ecosistémicos.

Si bien los servicios ecosistémicos no son tan fácilmente perceptibles y las labores de mantenimiento suelen ser vistas como un gasto y pérdida de espacio, las investigaciones han avanzado para demostrar la importancia de estos espacios y la utilidad adquirida que estos podrían producir a las comunidades que los conservan, como en la tesis de Maestría en Estudios Urbanos Regionales de Morales (2016) titulada Alternativas de pagos por servicios ecosistémicos como mecanismo de ordenamiento ambiental territorial en colectivas indígenas en Antioquía.

En la anterior se determinó que uno de los territorios delimitados para el estudio debía ser recuperado por medio de la agroforestería, integrándose a su vez a los mercados del carbono, obteniendo un valor agregado por la conservación de un área considerada de riesgo habitable. Cabe mencionar que para recuperar la importancia que las personas daban al sitio se utilizó el reconocimiento sociocultural por medio de encuestas.

Por otro lado, el informe de trabajo elaborado bajo el marco del Programa Protección de Clima en Política Urbana de México, realizado por Revollo, Malky y Simon (2020) titulado Integración de valoración múltiple de servicios ecosistémicos en herramientas y decisiones de planeación de tres ciudades

mexicanas: el Caso de León. En la cual se identificó y estimó el importe de los SSEE por medio de encuestas de percepción para determinar la disposición de pagar por los usuarios, del documento se obtuvo la disponibilidad de brindar el asesoramiento para que los valores puedan incluirse en las herramientas de proyección.

Como se pudo observar anteriormente, los SSEE se integran en los instrumentos de planificación para asegurar su disponibilidad, puesto que son un tema de interés público. Por lo cual, Avendaño-Leadem, Cedeño-Montoya y Arroyo-Zeledón (2020) desarrollaron el artículo Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial.

El anterior, enuncia la trascendencia del planteamiento de los servicios ecosistémicos en Costa Rica, por lo cual, tomaron en cuenta sus planes reguladores. Así mismo, analizaron la aplicación de estos conceptos en la ciudad de Damasco en Estados Unidos. Por lo anterior, se lograron identificar los usos de los servicios y cuales les favorecen o degradan, también se mencionó la necesidad de proponer zonificaciones que tomaran en cuenta los componentes ambientales, con el fin de la integración de estos servicios en el ordenamiento territorial.

Por otro lado Paruelo y Lateralra (2019), en su obra titulada El lugar de la naturaleza en la toma de decisiones. Servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial. Describe la importancia de la conceptualización de servicios ecosistémicos, la elaboración de mapas apropiados y de incluir el componente social, para la integración de estos servicios en el ordenamiento territorial. La obra comprende una recopilación de artículos científicos relacionados con el mapeo y la valoración de las funciones ecosistémicas por medio de la metodología ECOSER.

En cuanto al componente social, en la tesis de Menceyra (2021), titulada Valoración sociocultural de servicios ecosistémicos en áreas urbanas chilenas, para optar al título de Magíster en Urbanismo de la Universidad de Chile, se elaboró un análisis de valoración sociocultural de servicios ecosistémicos de tres ciudades chilenas que se diferencian por las cualidades urbano-geográficas, como extensión urbana, densidad poblacional, disponibilidad y calidad de áreas verdes.

Por lo anterior, examinó por medio de correlaciones la valoración sociocultural de los servicios, la infraestructura verde y variables sociodemográficas como género, rango etario y nivel educacional. Por lo anterior se obtuvo que “las áreas urbanas de menor extensión y basta disponibilidad de áreas verdes producen una mayor valoración de los SSEE, por lo cual, se considera necesaria la protección y creación de áreas verdes en las ciudades” (Menceyra, 2021,p. 104).

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032 de Conadur (2014), se establece la diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos como una prioridad nacional para el desarrollo humano, puesto que se pueden considerar sus beneficios y la posibilidad de aprovechamiento sostenible para la reducción de la pobreza y el incremento del bienestar humano.

Por lo anterior, en la Guía metodológica para la elaboración del plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial en Guatemala de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), y Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial (SPOT) (2018), se indicó la necesidad de incluir un enfoque ecosistémico dentro del proceso de planificación, con la finalidad de establecer intervenciones de mejora en gestión ambiental y social, en los diferentes niveles del sistema de consejos de desarrollo.

Con lo anterior, se evidencia la importancia de los servicios ecosistémicos en la planificación y, por ende, la incuestionable limitación de no contar con información agrupada acerca de su exposición e importancia a nivel municipal.

Por consiguiente, la falta de un análisis específico para el municipio de Guatemala y la determinación de su relación con el ordenamiento territorial, constituye una importante dificultad para su integración en los procesos de planificación, lo cual, repercute en el detrimento de los beneficios que provee el ecosistema, el lento desarrollo de políticas, y la falta de reconocimiento de áreas con importante capacidad de flujos, que, además de disminuir la calidad de vida, podrían producir conflictos socio-ecológicos.

### **3.1. Contexto general**

En el año 2014 se publicó en el Diario Oficial de Centro América el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Guatemala, en el cual, se establecen catorce políticas públicas de ordenamiento territorial en su artículo 7. Con relación al componente ambiental, se indica la protección y mejoramiento del ambiente, el desarrollo integral con responsabilidad ambiental, el fomento del crecimiento sostenible y el uso eficiente del suelo.

Con lo anterior, su alcance se pudo comprender a través de criterios, tomando como base las características topográficas, orográficas y su ubicación respecto al sistema vial de las mismas, desarrollándose así el mapa POT de la ciudad de Guatemala. Se establecieron límites para la ocupación de áreas valiosas por su diversidad y recursos naturales, nombrándolas zonas generales naturales (G0) y rurales (G1). Estas constituyen las áreas de interés ambiental y de riesgo de desastres, de acuerdo con la topografía del terreno y la conformación del cinturón ecológico del municipio de Guatemala.

Cómo es posible evidenciar, se toman en cuenta variables ambientales, pero no un enfoque ecosistémico como tal. En otras palabras, la relevancia o acción de conservación se reduce a la limitación de ocupación en zonas de riesgo de desastre, como forma de conservación. No se tomaron en cuenta aspectos sobre servicios ecosistémicos que enunciaron su importancia y potencial aprovechamiento para el instrumento de zonificación, quizás obviando espacios con importancia ecosistémica.

SEGEPLAN y SPOT (2018), presentó la Guía Metodológica para la elaboración del Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento territorial en Guatemala, en ésta se presenta el enfoque ecosistémico para la gestión



integrada del territorio, brindando especial énfasis en los recursos hídricos y los recursos vivos. Se indica que se debe alcanzar el nivel territorial más específico, logrando que la población esté consciente de los efectos de sus actividades en los ecosistemas, por lo cual, este enfoque debe estar presente en todas las fases del proceso del Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial (PDM-OT). Si bien, se menciona la necesidad e importancia del enfoque, sobre todo por medio del manejo integral de la cuenca, cabe la necesidad de realizar la identificación de servicios ecosistémicos, para posteriormente, establecer relaciones que permitan su sostenibilidad, por medio de un análisis específico para el municipio de Guatemala.

Según el artículo 142 del Código Municipal, la municipalidad está obligada a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y de desarrollo integral de su municipio. Con relación a sus dependencias, la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, creada por el Acuerdo Municipal AA-11-A-2001, tiene la función de buscar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y culturales; asimismo, controlar y manejar los derechos municipales de áreas verdes, calles, mercados y otros espacios públicos. Por lo anterior, esta tesis se realiza bajo sus líneas de investigación, con el fin de colaborar con sus esfuerzos por construir una ciudad sostenible.

### **3.2. Descripción del problema**

En el último censo realizado, Censos 2018: XII de Población y VII de Vivienda (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2018), se estimó que el municipio de Guatemala contaba con un total de 923,392 habitantes, y 283,886 viviendas en aumento, de estas últimas en especial la vivienda vertical. Por lo anterior, según Bolaños (2021) el sector de la construcción es uno de los más estables y con tendencia al crecimiento.

Lo anterior se viene reflejando desde años pasados, sólo en el año 2019 la municipalidad de Guatemala autorizó aproximadamente 1.18 millones de metros cuadrados de construcción y 2.46 millones de metros cúbicos de excavación y movimientos de tierra, incluyéndose infraestructura para comercio, industria y uso colectivo (Bolaños, 2019).

Tal es el caso, que la municipalidad ya había estimado que para el año 2020 la mancha urbana se duplicaría, urbanizándose 307 km<sup>2</sup> por sobre los 225 km<sup>2</sup> que se encontraban urbanizados en el año 2000, por lo mismo se desarrolló el mapa correspondiente al ordenamiento territorial del municipio de Guatemala, que principalmente influyó en la restricción de ocupación en áreas de alto riesgo a deslizamiento, por criterios de pendiente. No obstante, la falta de información sobre los beneficios que aportan los ecosistemas a las personas ha tenido repercusiones directas en los cambios de los flujos naturales y, por ende, la disminución de la calidad de vida.

Los servicios ecosistémicos se vinculan con la regulación del clima, el control de la erosión, protección contra enfermedades, la calidad del aire, y del agua; el aprovisionamiento del recurso hídrico, alimentos, medicinas y de fibras; la identidad cultural, la recreación, el turismo y la educación, hábitat de especies; asimismo, en el apoyo o la base de los mismos servicios, como la fotosíntesis y la formación de suelo.

Los procesos de los sistemas biológicos traducidos en beneficios, como sus bienes y servicios conforman una lista extensa y aún inconclusa, puesto que algunos todavía se encuentran en investigación. Ahora bien, las acciones humanas han causado cambios en los flujos naturales de los ecosistemas, como la pérdida de cobertura forestal y biodiversidad, la impermeabilización del suelo y la contaminación, entre otros; una de las causas más evidentes y estudiadas

es el cambio de uso del suelo, por esta razón, el Plan de Ordenamiento Territorial es clave para la conservación y maximización de las funciones ecosistémicas.

Cabe mencionar que actualmente se percibe escasa información acerca del tema de servicios ecosistémicos en el municipio de Guatemala, lo cual, se traduce en la dificultad de su integración en herramientas y procesos de planificación del municipio, como el ordenamiento territorial y como se mencionó anteriormente, en la disminución de la calidad de vida de los ciudadanos.

### **3.3. Formulación del problema**

- Pregunta central

¿Qué se debe hacer para favorecer la integración de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial del municipio de Guatemala?

- Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué servicios ecosistémicos relevantes se pueden identificar en el municipio de Guatemala?
- ¿En qué medida los SSEE están expuestos a perderse o conservarse por el cambio de uso del suelo?

- ¿Qué relación existe entre la exposición de la función ecosistémica, la prestación de los SSEE por medio de la infraestructura verde existente y el ordenamiento territorial del municipio de Guatemala?

### **3.4. Delimitación del problema**

Para la presente investigación, se llevará a cabo un análisis por medio la revisión bibliográfica, percepción social, mapas temáticos y mapeo de las funciones ecosistémicas relevantes para el municipio de Guatemala, para la determinación de los servicios ecosistémicos y su exposición frente al cambio de uso del suelo, con el fin de obtener recomendaciones que permitan favorecer la integración de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial del municipio de Guatemala, asegurando su sostenibilidad.

Por lo anterior, se llevará a cabo una serie de pasos que incluirá la identificación de servicios ecosistémicos y determinación de los servicios más relevantes, a través de la percepción sociocultural, y su exposición al cambio del uso del suelo por medio de SIG para el municipio de Guatemala con relación al mapa POT.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se apoya bajo la línea de investigación de ordenamiento territorial con relación a los Instrumentos de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la Maestría en Gestión de la Planificación del Desarrollo.

Se ha comprobado que la alteración en los flujos naturales de los ecosistemas se encuentra estrechamente relacionados con la salud, los activos materiales, trabajo, productividad, las relaciones sociales y la seguridad (MARN, 2017).

Por lo cual, el estado de los servicios ecosistémicos está estrechamente relacionados con la calidad de vida e influye en la adaptación al cambio climático, tranquilidad socio-ecológica, disminución de la incidencia de enfermedades ambientales y la disminución de la pobreza.

Visto de esta forma, la limitada información acerca de los servicios ecosistémicos en el municipio de Guatemala dificulta su integración en el ordenamiento territorial para asegurar su conservación y sostenibilidad.

Con esta investigación se aportará a facilitar esta integración, a través de la identificación de los servicios ecosistémicos relevantes, obtenidos a través de la percepción sociocultural sobre la infraestructura verde y posterior determinación de la exposición de sus funciones frente a su pérdida por el cambio de uso del suelo, finalmente se establecerá una relación entre los servicios ecosistémicos y el ordenamiento territorial.

Por lo anterior, este trabajo busca fortalecer las acciones de la municipalidad de Guatemala para el avance en el cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible, por medio de la generación de información acerca de la aplicabilidad de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones y en el diseño de políticas públicas sobre los usos de la tierra.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Analizar los servicios ecosistémicos relevantes del municipio de Guatemala a través de la percepción sociocultural y su distribución espacial, para favorecer su integración desde el componente ambiental del ordenamiento territorial.

### **5.2. Específicos**

- Identificar los servicios ecosistémicos del municipio de Guatemala por medio de la percepción sociocultural e infraestructura verde para obtener los servicios ecosistémicos más relevantes.
- Estimar la exposición de los servicios ecosistémicos al cambio de uso del suelo, a través de la simulación para determinar las áreas que podrían perderse o conservarse.
- Relacionar los servicios ecosistémicos con el ordenamiento territorial del municipio, por medio de la comparación de los mapas de infraestructura verde, exposición al cambio de uso del suelo, el mapa POT actual, para la determinación de recomendaciones.





## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Para la presente investigación, se llevará a cabo un análisis por medio la revisión bibliográfica, percepción sociocultural, mapas temáticos y mapeo de las funciones ecosistémicas relevantes para el municipio de Guatemala. Para lo anterior, previamente se realizará una selección de servicios ecosistémicos relevantes, por medio de la infraestructura verde y la percepción sociocultural. Posteriormente se establecerán la o las funciones ecosistémicas relevantes, de forma espacial, con lo cual se tomará de guía el protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial ECOSER.

Después se estimará la exposición de la función frente a su pérdida por el cambio de uso del suelo, a partir de la simulación y el análisis de preferencias sobre los SSEE. Finalmente se realizará un análisis con herramientas de SIG y el mapa POT del municipio de Guatemala, para vincular las áreas de conservación o pérdida y su importancia.

Lo anterior se desarrollará con el fin de identificar los servicios ecosistémicos considerados relevantes para la ciudad de Guatemala y su implicancia en el bienestar de sus habitantes, estimar la exposición de los SSEE al cambio de uso del suelo, generando información concisa con aplicabilidad en las unidades de planificación de la municipalidad, y relacionar estos servicios con el ordenamiento territorial determinando las áreas con importancia que podrían perderse, y estableciendo recomendaciones que fortalezcan las políticas de ordenamiento territorial, para facilitar su integración al ordenamiento territorial a través de su componente ambiental.



## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Servicios ecosistémicos

“Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, microorganismos y medio ambiente inorgánico que interactúan como unidad funcional. Los seres humanos son parte integral de los ecosistemas” (Alcamo *et. al.*, 2003, p. 8).

En cuanto a los servicios ecosistémicos, Quétier *et. al.* (2007) los define como “beneficios que proveen los ecosistemas a seres humanos, tanto para hacer la vida posible, como para asegurar su bienestar” (p. 18). Esto a través de incorporación de procesos y componentes naturales en la elaboración y distribución de productos materiales e inmateriales para los seres humanos, los cuales pueden medirse seleccionando propiedades ecológicas de relevancia como indicadores de servicios ecosistémicos.

Según Espinosa (2020), “la evaluación de ecosistemas del milenio (EM), es probablemente la clasificación relacionada a servicios ecosistémicos con mayor expansión y aprobación a nivel internacional por su origen multinacional y participación multidisciplinaria” (p. 9). Esta se basa en el provecho que obtienen las personas de los sistemas biológicos, tales como alimentos, recursos energéticos y fibras, regulación del clima y calidad del aire, además de beneficios intangibles, como de carácter espiritual y estético.

Alcamo *et. al.* (2003) en el marco del programa EM describe los servicios ecosistémicos en términos de servicios de suministro o aprovisionamiento, regulación, de base o apoyo y culturales.

Tabla I. **Servicios ecosistémicos, descripción y ejemplo**

Servicios	Descripción	Ejemplo de servicio ecosistémico
Suministro o aprovisionamiento	Productos obtenidos de los ecosistemas	Alimentos y vegetación, agua, leña, fibra, medicamentos y bioquímicos, recursos genéticos, recursos minerales, recursos energéticos abióticos
Regulación	Beneficios adquiridos de la regulación de procesos del ecosistema	Regulación del clima, control de la calidad del aire, infiltración y drenaje, purificación del agua, regulación de la erosión, polinización, control de plagas y enfermedades, hábitat.
Culturales	Beneficios no materiales adquiridos de ecosistemas	Experiencia espiritual y religiosa, recreación, turismo y ecoturismo, inspiración y belleza escénica, patrimonio y diversidad cultural.
Base o apoyo	Acciones necesarias para elaborar todos los demás servicios de los ecosistemas	Formación del suelo, fotosíntesis, ciclo de nutrientes y del agua, producción primaria

Fuente: Alcamo *et. al.* (2003). *Servicios que prestan los Ecosistemas y sus vínculos con el Bienestar humano.*

Gómez-Baggethum *et. al.* (2013), realiza una compilación de servicios ecosistémicos en el área urbana, incluyendo una caracterización basada en

servicios de aprovisionamiento, regulación, cultura y hábitat. En cuanto al aprovisionamiento, indica que se obtienen beneficios como suministro de alimentos y de agua; sobre los servicios de regulación, la estabilización de la temperatura urbana, reducción del ruido por absorción, desviación, reflexión y refracción del sonido, purificación del aire por intercepción de contaminantes a través de árboles y arbustos.

Asimismo, también menciona la moderación de eventos climáticos extremos, mitigación de la escorrentía por infiltración e intercepción de vegetación, tratamiento de residuos por filtración y degradación de residuos orgánicos, control de plagas y regulación climática global.

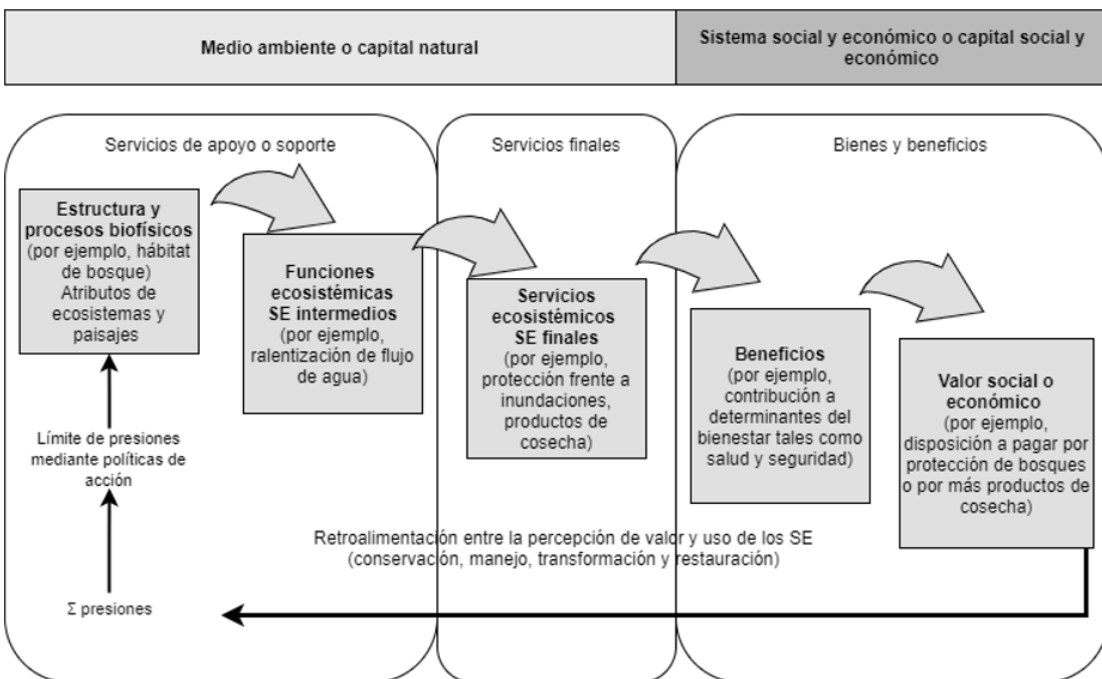
En cuanto a servicios culturales, indica como beneficios la estética originada desde la admiración de los paisajes naturales y el desarrollo cognitivo, generado de las múltiples oportunidades para comprender la dinámica ecológica que incentiva la creatividad para el progreso de tecnología. Además, incluye los valores de lugar y cohesión social a través de los lazos emocionales con áreas verdes, que pueden llevar a fomentar el interés y participación del vecindario; respecto a los servicios de hábitat, indica que estos son el hábitat para la biodiversidad.

### **7.1.1. Modelo conceptual**

Las definiciones, categorizaciones, funcionamientos y procesos que proveen los servicios ecosistémicos son subjetivos, dependen del énfasis a un sistema social determinado y cómo este definirá el bienestar humano. Debido a esto se han desarrollado marcos conceptuales compartidos en torno al vínculo de la condición de los ecosistemas y paisajes del bienestar humano. (Latterra, Nahuelhual y Barral, 2019, p. 123)

Según Potschin y Haines-Young (2016), el modelo de cascada de los servicios ecosistémicos (CSE) conecta lógicamente y sucintamente cinco conjuntos de ideas clave, que son: los procesos biofísicos, servicios ecosistémicos intermedios, servicios ecosistémicos finales, beneficios, valor social o económico, brindando un ejemplo de procesos ecológicos, de manera que se comprenden capacidades ecológicas particulares que dan lugar a un servicio final y la manera en que estos benefician a seres humanos, revelando que para mantener el nivel de producción del servicio se requiere conservar los ecosistemas y la biodiversidad que les da sustento. El modelo indicado se puede observar en la figura 1.

Figura 1. **Modelo cascada de servicios ecosistémicos**



Fuente: Potschin y Haines-Young. (2016). *The cascade model*.

Lo anterior permite que se facilite la identificación de propiedades y características que son potencialmente útiles para las personas. Laterra y Nahuelhual (2015), modificaron este modelo a manera de adquirir una escalera ascendente que ilustra la manera en que los cambios del capital natural en beneficio necesitan de la contribución de otras fuentes de capital, agregando las instituciones y valores humanos que definen el uso de SE.

Por otro lado, TEEB (2010), define la estructura y procesos biofísicos como los componentes del diseño o la base que influyen en el potencial de los ecosistemas en prestar algún servicio. Del mismo modo, ECOSER (s.f.) indica que la peculiaridad de los ecosistemas y paisajes son procesos químicos, físicos y biológicos que aportan al auto sostenimiento de ecosistemas y soportan el flujo de SE. Respecto a las funciones, Laterra, Castellarini y Orúe (2011) las define como “procesos ecosistémicos o conjunto de interacciones que aportan al suministro de servicios ecosistémicos finales” (p. 363).

Según Gómez (2014):

Los servicios ecosistémicos que benefician a la sociedad de manera indirecta son los servicios intermedios, mientras que los finales contribuyen de manera directa. En cuanto a los beneficios también indica que se relacionan con los servicios finales, en cuanto a la ganancia que producen en el bienestar y en cuanto al valor, se refiere a la medida del beneficio que se expresa en términos monetarios y no monetarios, dependiendo de circunstancias geográficas, culturales y sociales de los beneficiarios. (p. 4)

Por lo anterior, estas integran las instituciones y valores humanos que determinan la utilización de servicios ecosistémicos, apoyando posteriormente en su conservación, manejo, transformación y renovación, por medio de políticas de

acción. “El objetivo de los modelos es contribuir en el entendimiento de que muchos aspectos de los ecosistemas no producen directamente un servicio, pero favorecen su oferta” (Paruelo y Diéguez, 2019, p. 177).

## 7.2. Infraestructura verde y ecológica

Se entiende infraestructura verde como un concepto que aborda bienes susceptibles de convertirse en beneficios, siendo una red de componentes físicos o activos verdes, naturales o seminaturales, que adquiere especial relevancia como estructura facilitadora de SE. Los activos de infraestructura verde pueden ser sitios específicos o características ambientales más amplias, por lo cual, se pueden clasificar de acuerdo con su escala espacial, como se aprecia en la tabla II.

Tabla II. **Infraestructura típica verde y sus escalas asociadas**

Escala local, de barrio y de aldea	Escala de Pueblo, ciudad y distrito	Escala Ciudad-región, regional y nacional
Árboles de la calle, arceles y setos.	Parques de la ciudad.	Parques regionales.
Tejado y paredes verdes.	Canales urbanos.	Ríos y llanuras aluviales, litorales.
Parques de bolsillo.	Bienes comunes urbanos.	Senderos estratégicos y de recorrido largo.
Jardines privados.	Parques forestales.	Bosques.
Plazas urbanas.	Parques rurales.	Embalses.
Espacios verdes y bienes comunes de la ciudad y el pueblo.	Riachuelos.	Distribución de carreteras y ferrocarriles.
Derechos de paso locales.	Plazas municipales.	Cinturón verde designado y estratégico.
Rutas peatonales y para ciclistas.	Lagos.	Tierra agrícola
Cementerios.	Espacios recreativos.	
	Ríos y llanuras aluviales.	
	Terrenos abandonados.	
	Bosques comunitarios.	
	Antiguos sitios de extracción.	



Continuación tabla II.

Escala local, de barrio y de aldea	Escala de Pueblo, ciudad y distrito	Escala ciudad-región, regional y nacional
Espacios abiertos institucionales.	Tierra agrícola.	Parques nacionales,
Estanques y arroyos.	Rellenos sanitarios.	paisaje nacional, regional o local
Bosques pequeños.		Canales
Áreas de juego.		Tierras comunales
Reservas naturales locales.		Campo libre
Áreas verdes de una escuela.		
Campos deportivos.		
Barrancos, zanjas.		
Terrenos baldíos y abandonados.		

Fuente: European Environment Agency. (2011). *Potential assets that make up green infrastructure grouped into three scale groups.*

Gómez-Baggethum *et. al.* (2013) define el ecosistema urbano y su infraestructura ecológica como un tema fundamental para abordar la prestación de servicios con impacto directo en la salud y la seguridad de los seres humanos, a continuación, se presenta una figura desarrollada por el mismo autor especificando los servicios ecosistémicos obtenidos a partir de la infraestructura verde.

Tabla III. **Clasificación de SSEE importantes en áreas urbanas y sus funciones**

Funciones del ecosistema	Tipo de servicio del ecosistema	Ejemplos de	Referencias clave
Conversión de energía en plantas comestibles mediante fotosíntesis	Suministro de alimentos	Hortalizas producidas por urbanas habilitaciones y áreas periurbanas	Altieri y col. (1999)
Percolación y regulación de la escorrentía y descarga del río	Mitigación de la escorrentía	El suelo y la vegetación filtran el agua. durante eventos de precipitación intensa y / o prolongada	Villarreal y Bengtsson (2005)
Fotosíntesis, sombreado y evapotranspiración	Regulación de la temperatura urbana	Árboles y otra vegetación urbana proporcionar sombra, crear humedad y bloquear el viento	Bolund y Hunhammar (1999)
Absorción de ondas sonoras por la vegetación. y agua	Reducción de ruido	Absorción de ondas sonoras por barreras de vegetación, vegetación especialmente espesa	Aylor (1972); Ishii (1994); Kragh (1981)
Deposición seca de gases y partículas. importar	Purificación de aire	Absorción de contaminantes por zonas urbanas Vegetación en hojas, tallos y raíces.	Escobedo y Nowak (2009); Jim y Chen (2009); Chaparro y Terradas (2009); Escobedo y col. (2011)
Barrera física y absorción de cinética. energía	Moderación ambiental extremos	Amortiguamiento de tormentas, inundaciones y olas por barreras de vegetación; absorción de calor durante olas de calor severas; áreas de humedales intactas inundaciones de ríos de amortiguación	Danielsen y col. (2005); Costanza et al. (2006b)
Eliminación o descomposición de nutrientes xénicos.	Tratamiento de desechos	Filtrado de efluentes y fijación de nutrientes por humedales urbanos	Vauramo y Setälä (2010)
Secuestro y almacenamiento de carbono por fijación. en la fotosíntesis	Regulación climática global	Secuestro y almacenamiento de carbono por la biomasa de arbustos y árboles urbanos	Nowak (1994b); McPherson (1998)
Movimiento de gametos florales por biota	Polinización y dispersión de semillas	El ecosistema urbano proporciona hábitat para pájaros, insectos y polinizadores	Hougnier y col. (2006); Andersson et al. (2007)
Ecosistemas con valores recreativos	Recreación	Las áreas verdes urbanas brindan oportunidades para la recreación, la meditación y la relajación	Chiesura (2004); Maas y col. (2006)
Experiencia humana de los ecosistemas	Desarrollo cognitivo	Jardinería de parcelas como preservación de conocimiento socio-ecológico	Barthel y col. (2010); Groening (1995); Tyrväinen y col. (2005)
Ecosistemas con valores estéticos	Beneficios estéticos	Parques urbanos a la vista desde casas	Tyrväinen (1997); Cho y col. (2008); Troy y Grove (2008)
Provisión de hábitat	Hábitat para la biodiversidad	Los espacios verdes urbanos proporcionan hábitat para pájaros y otros animales que a la gente le gusta ver	Blair (1996); Blair y Launer (1997)

Fuente: Gómez-Baggeth et al. (2013). *Urban Ecosystem Services*.

### 7.3. Técnicas no monetarias para la valoración de SSEE

Los métodos no monetarios de valoración incluyen técnicas de investigación cuantitativas y cualitativas, así como métodos que expresan preferencias en formas no monetarias, en términos cuantificables, una valoración de preferencias, estudios de uso del tiempo, entre otros. Algunos

estudios consideran una representación espacial del SE y herramientas analíticas arraigadas en enfoques biofísicos. Siguiendo diferentes visiones preanalíticas, como la ontología, que hace referencia a la existencia y epistemología, que se refiere al conocimiento. (Kelemen *et. al.*, 2016, p. 2)

### 7.3.1. Valoración sociocultural

La valoración sociocultural se ha aplicado como referente de técnicas de valoración no monetarias, esta tiene como objetivo analizar motivos, variaciones, percepciones, conocimientos y asociaciones, sobre la importancia social de los SSEE. En la práctica, los enfoques para el manejo de datos en esta técnica son cuantitativos y cualitativos, predominantemente utilizándose de forma mixta, entre estos se pueden identificar métodos como la evaluación de preferencias, métodos del uso del tiempo, encuestas de foto-obtención, métodos narrativos, mapeo participativo, planificación de escenarios y métodos deliberativos (Santos-Martín *et. al.*, 2016).

Tabla IV. **Métodos de valoración sociocultural**

Evaluación de preferencias	Se refiere a una consulta directa que evalúa al individuo desde las motivaciones, percepciones y conocimiento personal, recopilando los datos a través de herramientas como cuestionarios con alternativas, calificación u otros mecanismos de selección. Entre las técnicas para ponderar las preferencias relacionadas con los impactos en el servicio del ecosistema se encuentra el análisis multicriterio.
----------------------------	---

---

Continuación tabla IV.

Método del uso del tiempo	Plantea escenarios hipotéticos para evaluar la disposición de la persona a sacrificar tiempo por el cambio de la cantidad o calidad de ecosistema. Mide la voluntad de contribuir activamente a la subsistencia de la naturaleza por medio de acciones prácticas.
Encuestas de foto-obtención	Buscan el descubrimiento del valor sociocultural de los SE mediante la traducción de experiencias, percepciones y preferencias visuales de las personas.
Métodos narrativos	Esta metodología permite abordar valores menos tangibles, rescatando información que puede quedar fuera de los resultados haciendo uso de otras técnicas, como articulación de valores plurales y heterogéneos. Pueden obtenerse a través de una aproximación deliberativa o participativa, como entrevistas estructuradas o semiestructuradas, grupos focales, observación participante, análisis de contenido y expresiones artísticas.
Mapeo participativo	Consiste en evaluar la distribución espacial de SE de acuerdo con la percepción y el conocimiento de los actores territoriales, a través de talleres y/o encuestas.
Planificación de escenarios	Combina varias herramientas y técnicas, como entrevistas, técnicas y lluvia de ideas, para desarrollar descripciones consistentes de futuros alternativos, relacionando variaciones en los SE y bienestar humano.
Métodos deliberativos	Utilizan diversas herramientas y técnicas para involucrar y empoderar a los participantes no científicos, mediante diálogos abiertos, talleres de valoración, siendo un apoyo en la formación de preferencias.

Fuente: Santos-Martín *et. al.* (2016). *Socio-cultural valuation approaches*.

Estos métodos son importantes para conocer la percepción sociocultural, como menciona Martín-López *et. al.* (2012):

Pasar por alto la conciencia social de los servicios de los ecosistemas puede cegar a la sociedad a la variedad de servicios que brindan los ecosistemas y puede actuar como un obstáculo para la integración de los servicios de los ecosistemas en todos los sectores sociales. Puesto que las compensaciones de los servicios de los ecosistemas surgen a medida que las sociedades modifican los paisajes debido a sus percepciones, intereses y valores. (p. 9)

#### **7.4. Servicios ecosistémicos y el ordenamiento territorial**

El ordenamiento territorial (OT) se comprende como el proceso y estrategia de planificación de carácter técnico político, que busca configurar, en corto, mediano y largo plazo, la organización de la utilización y ocupación territorial, de acuerdo con capacidades y limitaciones de este, expectativas y anhelos de la población además de objetivos de desarrollo (sociales, económicos, culturales y ecológicos). (Palacio-Prieto *et. al.*, 2004, p. 13)

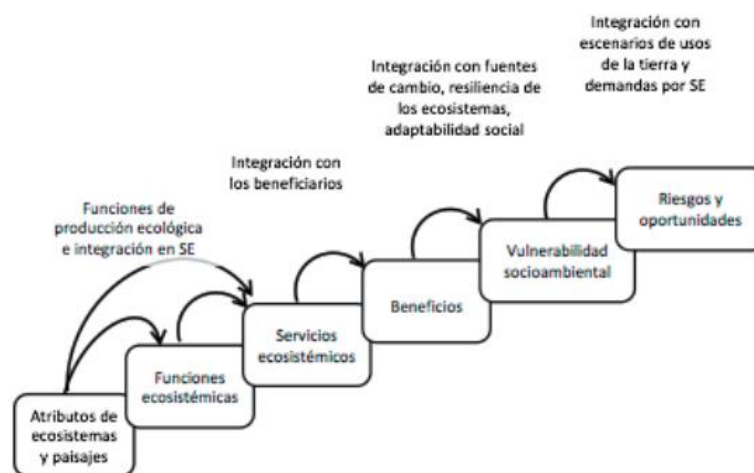
Sobre lo anterior, en cuanto a los objetivos de desarrollo y la sostenibilidad de los recursos naturales Palacio-Prieto *et. al.* (2004), toman en consideración el subsistema natural o medio físico, debido a que el buen funcionamiento de los ecosistemas es crítico para el bienestar humano. Por lo cual, para poder influir sobre este se deben conocer las características del territorio, siendo una forma la visualización por medio de la organización espacial.

Latterra y Nahuelhual (2015), mencionan que este enfoque inicia con la implementación del análisis del sistema o paisaje, el reconocimiento de servicios ecosistémicos suministrados por el mismo y los grupos de interés involucrados.

### 7.5. Mapeo de servicios y funciones ecosistémicas.

Para contextualizar la importancia de los servicios ecosistémicos por medio de herramientas como el mapeo, Latterra y Nahuelhual (2015) demostraron el proceso de evaluación y representación espacial a través de las funciones de los SSEE, como se observa en la figura 2.

Figura 2. **Escala de servicios ecosistémicos**



Fuente: Latterra y Nahuelhual (2015). *Ordenamiento Territorial Rural, métodos y Experiencias*.

“El mapeo de servicios ecosistémicos se convirtió en una de las principales herramientas para asistir a las evaluaciones ambientales y planificación territorial” (Barral, Nahuelhual y Latterra, 2019, p. 196). Lo anterior permite visualizar la ubicación de los servicios por medio de sus funciones para determinar acciones

para el bienestar de sus habitantes, aprovechando, como indica Baldi, Volante y Paruelo (2019) que:

Los servicios ecosistémicos tienen asociada, en mayor o menor medida, una escala espacial relacionada con la generación de servicios. Un proceso ecosistémico (SE intermedio) da lugar a un servicio ecosistémico final con el concurso de otros procesos y estructuras que afectan y son afectados por los ecosistemas vecinos. (p. 77)

Sobre las funciones, Barral, Nahuelhual y Laterra (2019), indican que “uno de los atajos utilizados para la cuantificación o reconocimiento biofísico de SE consiste en el ajuste de funciones de producción, vinculando empíricamente el flujo de un SE con atributos o funciones de los ecosistémicas o paisajes” (p. 194).

Del mismo modo, Laterra, Nahuelhual y Barral (2019) mencionan que “la cantidad de la función u oferta del SE producida por unidad de espacio y tiempo es denominado flujo de SE, el cual, puede representarse por medio de distintos tipos de variables sustitutas (proxys) o indicadores” (p. 124).

#### **7.5.1. Provisión relativa de cada tipo de servicio ecosistémico**

Se refiere, al modelo conceptual adoptado por el protocolo ECOSER, en donde se establece que las funciones ecosistémicas pueden aportar a uno o varios servicios. Lo anterior, como se indica en el protocolo, “proviene de la integración, a escala píxel, de mapas originados de FE” (Laterra, Barral y Carmona, 2015, p. 18).

En el protocolo se indica que, “para obtener la matriz, se establece el aporte relativo de cada FE (filas) según SE (columnas) (donde 0: la función x tiene un

aporte bajo o despreciable al SE y, 1: función que ejerce su máxima aportación al SE)” (Latterra, Barral y Carmona, 2015, p.19).

Lo anterior, como indica Latterra, Barral y Carmona (2015) se obtiene por medio de:

La integración a escala píxel, de los mapas de FE generados. La matriz y los valores permiten establecer el aporte de la función a la contribución del servicio ecosistémico, obteniendo una provisión relativa de cada tipo de SE, se calcula como combinación lineal del flujo de cada FE ponderado por su aporte relativo al debido SE. (p. 18)

- Determinación de beneficios

Del mismo modo, Latterra, Barral y Carmona (2015) definen los beneficios, como “la fracción de flujo de SE que es capturado o transformado para el bienestar de la población local, visto desde la captura de manera uniforme en toda el área estudiada” (p. 19).

### **7.5.2. Análisis prospectivo del cambio de uso del suelo**

La prestación de servicios ecosistémicos se ven afectados por los cambios de uso y coberturas del suelo, debido a problemas derivados, como la fragmentación y pérdida de hábitats.

Los softwares de sistemas de información geográfica se han ido desarrollando para efectuar funciones que permiten modelar y predecir el cambio y cobertura del suelo, definiendo tendencias para el mantenimiento o disminución de áreas de importancia, permitiendo indagar y evidenciar consecuencias a largo



plazo, contribuyendo a la toma de decisiones (Reynoso, Valdez, Escalona, De los Santos y Pérez, 2016).

#### **7.5.2.1. Cadenas de Markov-autómatas celulares**

El modelo Markov-autómatas celulares utiliza los resultados del modelo de Markov, junto con evaluación multicriterio y asignación de tierras multiobjetivo para agregar una aproximación espacial a la matriz del área de transición a un año determinado originado por medio del modelo de Markov. (Reynoso, Valdez, Escalona, De los Santos y Pérez, 2016, p.76)

En otras palabras, Paegelow, Camacho y Menor (2003) establecen:

El sistema basado en cadenas de Markov, evaluación multiobjetivo (EMO) y la evaluación multicriterio (EMC), se apoya en la confirmación de diferencias significativas en el comportamiento espaciotemporal, en relación con una repartición teórica supuesta (espacio homogéneo e isótropo), analizando el impacto de la rugosidad geográfica. La rugosidad depende del conglomerado de variables disponibles. conocidas, y cartografiadas a una escala similar con la serie cronológica de mapas de usos del suelo. (p. 24)

Ramos, Palomeque, Megia y López (2019) indican que este modelo puede aplicarse a través del software *IDRISI TerrSet*, a través de los módulos:

- *Land Change Modeler*
- *CROSSTAB*
- *MARKOV*
- *CA-MARKOV*

Con el primero se “origina una matriz de cambio de utilización del suelo con imágenes que alternan en el número de fechas de colecta, en más de dos periodos, esto permite ubicar con precisión los cambios exactos, transiciones y pérdidas más evidentes” (Ramos, Palomeque, Megia y López, 2019, p. 4).

Ramos, Palomeque, Megia y López (2019), también indican que:

El segundo módulo permite validar el primero por medio de una matriz de validación cruzada que evidencia el número de píxeles correspondientes a cada combinación de categorías entre las imágenes comparadas y una matriz en términos de la proporción al número total de píxeles, delimitando probabilidades de  $V$  de Cramer y Kappa representando un escenario espacial de uso del suelo en un determinado año. (p. 5)

En el tercer módulo mencionan que se crea una matriz de probabilidad de transición por medio de cadenas de Markov, debiendo cruzar dos períodos de tiempo además de simular un tercer periodo futuro, resultando en una matriz de áreas de transición en píxeles y una capa ráster para las categorías evaluadas que enumeran las probabilidades condicionales, es decir, categorías para la utilización del suelo. (Ramos, Palomeque, Megia y López, 2019, p. 5)

En el cuarto módulo de autómatas celulares, indican que se simula un escenario espacial para la utilización del suelo en tiempo futuro, se genera a partir de la última imagen de uso del suelo disponible por entidades gubernamentales, se utiliza la matriz de probabilidad de transición para el año en que se desea realizar el análisis junto con el grupo ráster de probabilidades condicionales. (Ramos, Palomeque, Megia y López, 2019, p. 6)

## **7.6. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Guatemala**

Según el Código Municipal, artículo 142, la municipalidad está obligada a formular y ejecutar planes para el desarrollo integral y ordenamiento territorial de los municipios, derivado de lo anterior, en el año 2004 se comenzó a desarrollar el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), implementado en el año 2006 y entrando en vigor hasta el año 2008 como POT-COM-030-2008. Asimismo, se realizaron reformas en el año 2011 y 2013, como COM-13-2011, COM-42-2011, COM-05-2013 y COM-16-2013.

El Acuerdo COM-030-08 indica que el POT busca guiar el desarrollo urbano de mayor intensidad hacia áreas con mayor oferta de movilidad, protegiendo a su vez áreas ambientalmente valiosas y de alto riesgo, principalmente barrancos, del desarrollo urbano excesivo. En el Artículo 7 del POT-COM-030-2008 y sus reformas, se indican las políticas públicas de ordenamiento territorial, asimismo, en el artículo 9 se establece la clasificación del municipio según su vocación territorial. Estos son.

### Figura 3. Artículo 7. Políticas públicas de ordenamiento territorial

**Artículo 7. Políticas públicas de ordenamiento territorial.** Se adoptan las siguientes políticas públicas de ordenamiento territorial:

- a) Propiciar el desarrollo integral y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del municipio en un marco de solidaridad social, responsabilidad ambiental y competitividad económica.
- b) Propiciar la eficiencia de la movilidad urbana del municipio, promoviendo una ocupación del suelo acorde con la capacidad del sistema vial y del sistema de transporte.
- c) Promover el acceso equitativo al suelo con servicios públicos adecuados, estimulando el aprovechamiento adecuado del suelo urbanizable.
- d) Incentivar la construcción de vivienda en el municipio para minimizar la necesidad de movilización diaria de la población desde la periferia hacia el centro y viceversa.
- e) Incentivar los usos del suelo mixtos y garantizar la compatibilidad entre edificaciones y usos del suelo en inmuebles cercanos, como medio para propiciar la convivencia armónica y la vitalidad del entorno urbano.
- f) Reducir la incidencia de desastres, evitando la ocupación de áreas en riesgo de derrumbes, deslaves, deslizamientos, inundaciones y otras amenazas.
- g) Propiciar la protección y mejoramiento del medio ambiente limitando la ocupación de áreas valiosas por su biodiversidad y recursos naturales.
- h) Fomentar el crecimiento sostenible del municipio y el uso eficiente del suelo.
- i) Minimizar los efectos negativos de usos del suelo inadecuados sobre el entorno urbano.
- j) Promover la participación ciudadana en la toma de decisiones referentes al ordenamiento territorial.
- k) Fomentar la sostenibilidad financiera del sistema de planificación y de ordenamiento del territorio del municipio.
- l) Favorecer dentro de la jurisdicción del Municipio de Guatemala, la operación de establecimientos de educación existentes, así como la instalación y operación de nuevos centros de enseñanza, cuando estos cuenten con accesos e instalaciones adecuadas y sean compatibles con los usos del suelo adyacentes.
- m) Incentivar la construcción de edificaciones privadas que adopten especificaciones técnicas que permitan el fácil acceso y la locomoción de las personas con discapacidad, más allá de la obligatoriedad de que se adopten tales especificaciones en edificios públicos.
- n) Establecer requerimientos de estacionamiento acordes con las condiciones particulares de uso, ubicación y demanda.

Fuente: Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2014). *POT-COM-030-2008 y sus reformas COM-13-2011, COM-42-2011, COM-05-2013 y COM-16-2013.*

En cuanto a la clasificación del municipio según su vocación territorial, se establece en el Artículo 9 en la figura 4.

#### Figura 4. **Artículo 9. Clasificación del municipio según su vocación territorial**

**Artículo 9. Clasificación del Municipio según su vocación territorial.** El Municipio de Guatemala se clasifica de conformidad con su vocación territorial en:

- I. **Espacio vial:** Compuesto por el sistema vial primario y secundario, que constituyen las áreas dedicadas predominantemente a la movilidad de personas.
- II. **Zonas especiales:** Constituyen las áreas dedicadas predominantemente a usos del suelo mono-funcionales, aplicándoseles por ello, normas distintas a las correspondientes a zonas generales.
- III. **Zonas generales:** Constituyen la caracterización de la mayor parte del territorio y que comprende:
  - a) **Zonas generales naturales y rurales:** Constituyen las áreas de interés ambiental y de riesgo de desastres, identificadas de conformidad con la topografía del terreno, y que conforman el Cinturón Ecológico del Municipio de Guatemala.
  - b) **Zonas generales urbanizables:** Constituyen las áreas con el mayor potencial de urbanización, identificadas de conformidad con la cercanía al sistema vial primario.

Fuente: Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2014). *POT-COM-030-2008 y sus reformas COM-13-2011, COM-42-2011, COM-05-2013 y COM-16-2013.*



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO REFERENCIAL**

1.1. Estudios previos (recientes)

1.2. Antecedentes

### **2. MARCO TEÓRICO**

2.1. Servicios ecosistémicos

2.1.1. Modelo conceptual

2.2. Infraestructura verde y ecológica

2.3. Técnicas no monetarias para la valoración de servicios del ecosistema

2.3.1. Valoración sociocultural

2.4. Servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial

2.5. Mapeo de servicios y funciones ecosistémicas

2.5.1. Provisión relativa de cada tipo de SE

2.5.2. Análisis prospectivo del cambio de uso del suelo

- 2.5.2.1. Cadenas de Markov-autómatas celulares
  - 2.6. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Guatemala
- 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
  - 3.1. Características del estudio
    - 3.1.1. Diseño
    - 3.1.2. Enfoque
    - 3.1.3. Alcance
    - 3.1.4. Unidad de análisis
  - 3.2. Variables
  - 3.3. Fases del desarrollo de la investigación
    - 3.3.1. Fase 1: Identificación
    - 3.3.2. Fase 2: Gestión o recolección de la información
    - 3.3.3. Fase 3: Análisis de información
    - 3.3.4. Fase 4: Interpretación de información
    - 3.3.5. Fase 5: Exposición de la información
  - 3.4. Técnicas de análisis de información
- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
  - 4.1. Identificación de infraestructuras verdes y ecológicas en el municipio de Guatemala.
  - 4.2. Resultados de encuesta
    - 4.2.1. Valorización no monetaria de servicios ecosistémicos
    - 4.2.2. Valoración no monetaria de infraestructura verde
  - 4.3. Provisión relativa de cada tipo de servicio ecosistémico
    - 4.3.1. Ponderación de servicios ecosistémicos
    - 4.3.2. Jerarquización de FE
    - 4.3.3. Matriz de integración de funciones en SE
  - 4.4. Mapeo



- 4.4.1. Mapeo de servicios ecosistémicos
- 4.4.2. Mapeo del flujo del SE y FE
- 4.4.3. Áreas expuestas al cambio de uso del suelo
- 4.4.4. Análisis con mapa POT
- 4.4.5. Establecimiento de áreas prioritarias
- 4.5. Servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial en el municipio de Guatemala

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio propuesto es mixto, dado que se combinarán tanto datos cuantitativos como cualitativos. Respecto a los primeros, se hará una medición de fenómenos, a través de la evaluación de preferencias sobre la importancia de los SSEE y se realizará un análisis de causa-efecto al determinar la exposición del SE al cambio de uso del suelo. Con relación a sus características cualitativas, se extraerán significados a partir de datos porque se obtendrán mapas que brindarán información acerca de la importancia de los SSEE en cada zona, incluyendo la ubicación de la infraestructura verde, la tipología de SSEE, y los lugares con mayor exposición de los SSEE por el cambio de uso del suelo.

El alcance será descriptivo, ya que se considerará al fenómeno estudiado y sus componentes; se analizarán los servicios ecosistémicos representativos para el municipio de Guatemala, su importancia sociocultural, la exposición del SE al cambio de uso del suelo y su comparación con el mapa POT del municipio de Guatemala. También se obtendrá un alcance correlacional, porque se analizará el vínculo de los servicios ecosistémicos con el perfil sociodemográfico de los encuestados, además de su proximidad con infraestructura verde.

El diseño de la investigación será no experimental, puesto que las variables no se manipularán deliberadamente. Se realizará una encuesta estructurada para reunir información sobre los SSEE y su relación con los ciudadanos; el listado de servicios ecosistémicos estará basado en la Evaluación de ecosistemas del

milenio de TEEB (2010) y Gómez-Baggethun *et. al.* (2013). Para la infraestructura verde, se realizará una identificación a escala de ciudad según EEA (2011), de las zonas del municipio de Guatemala. Se utilizará como referencia información de la DIGM y la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad.

Sobre la tipología de infraestructura verde, se utilizará como base la propuesta por EEA (2011) y Gómez-Baggethun *et. al.* (2013), relacionándose con la infraestructura identificada.

Las encuestas se realizarán en línea a través de la plataforma de Google Forms, utilizando como medio de difusión las redes sociales de educación ambiental de la municipalidad de Guatemala y de las alcaldías auxiliares. Se estructurará la encuesta a modo de obtener información asociada a las zonas del municipio, como la relación de los habitantes con las áreas verdes o infraestructura ecológica (frecuencia de visita, proximidad con áreas verdes, actividades realizadas en el lugar, tiempo de permanencia, frecuencia de visita, entre otros.), utilizando como referencia Martín-López *et. al.* (2012) y Menceyra (2021).

Para obtener la percepción de importancia que tienen las personas respecto a los beneficios que reciben de los ecosistemas y preocupación acerca de los problemas urbano-ambientales se utilizará la escala Likert.

Esta consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios del cual, se pide la reacción eligiendo uno de los cinco puntos de la escala, a cada punto se le asigna un valor numérico. Al final se obtiene la puntuación total sumando las puntuaciones obtenidas con relación a las afirmaciones. (Hernández *et. al.*, 1997, p. 60)

Para la obtención de la función ecosistémica más relevante, se realizará una jerarquización a través del promedio ponderado de la matriz de integración, el peso de los servicios ecosistémicos será obtenido a través de los resultados de la encuesta, siendo el más alto, la función que sostiene la mayor cantidad de servicios ecosistémicos relevantes. Se tomará una de las matrices de integración elaboradas por el protocolo ECOSER y se realizarán ajustes por medio de la consulta a expertos (investigador y técnicos de la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad), para posteriormente aplicar al mapa y obtener la provisión relativa.

Tabla V. **Ejemplo de matriz de integración**

Funciones ecosistémicas	Servicios ecosistémicos				
	Regulación climática	Amortiguación de inundaciones	Disponibilidad de agua superficial limpia	Disponibilidad de agua subterránea limpia	Producción potencial de cultivos
Almacenamiento de carbono en biomasa	0.9	0.2	0.3	0.3	0.8
Control de la erosión	1.0	0.2	0.2	0.2	0.3
Retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal	0.4	0.7	0.9	0.6	0.8
Protección de acuíferos por cobertura vegetal	0.2	0.2	0.1	0.2	1.0

Fuente: Barral (2012). *Matriz de integración. Tutorial para el mapeo de funciones y servicios ecosistémicos.*

Se realizará el mapeo de la o las funciones ecosistémicas prioritarias, por medio del tutorial para el mapeo de funciones y servicios ecosistémicos de ECOSER. Para lo cual, se mencionan las siguientes capas básicas para el área de estudio.

- Modelo digital de elevaciones, más conocido por sus siglas en inglés como DEM. El DEM es una capa en formato *raster* donde el valor del píxel indica la elevación o cota de ese sitio.
- Clasificación de coberturas/ usos de la tierra: es una capa del SIG donde el valor de cada píxel representa la cobertura de la tierra (conocida también por sus siglas en inglés LULC- *land use land cover*).
- Mapa de recursos hídricos: algunas de las funciones ecosistémicas requieren una capa donde se encuentren delimitados los arroyos, ríos, humedales, lagunas, cuencas hidrográficas, entre otros.
- Mapa de suelos: algunas de las funciones ecosistémicas requieren una capa con información descriptiva de los suelos, por ejemplo, el contenido de materia orgánica, la capacidad para uso para la agricultura, el tipo hidrológico, entre otros.
- Mapas con información climática: algunas funciones ecosistémicas requieren mapas con valores de precipitación.

Para los cambios de uso del suelo, DEM, recursos hídricos, información climática y mapa de suelos se utilizará la información o *shapes* elaboradas por MAGA y de la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad de Guatemala.

Para la representación gráfica de las funciones y servicios ecosistémicos se utilizará como guía el protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial ECOSER Versión 2.0.

Asimismo, se realizará análisis prospectivo del cambio de uso del suelo por medio de las cadenas de Markov-autómatas celulares, utilizando el Software IDRISI TerrSet, como se mencionó en el marco teórico. Con lo anterior se podrán conocer los lugares con mayor exposición a la pérdida o disminución de sus funciones ecosistémicas por el cambio de uso del suelo, en el tiempo indicado por la DMA. Asimismo, se realizará un análisis espacial a través de SIG con el mapa actual del POT para analizar si estas áreas coinciden con las que actualmente cuentan con protección o forman parte de las zonas naturales y rurales.

Con lo anterior, se conocerá la influencia de la infraestructura verde o ecológica en cuanto a los servicios ecosistémicos y su exposición al cambio de uso del suelo, analizando los servicios ecosistémicos relevantes en el municipio de Guatemala y el ordenamiento territorial, para indicar la forma en que podrían abordarse y determinar las prioridades por atender para mitigar la pérdida de estos espacios, a su vez, obteniendo información acerca de la preferencia de los ciudadanos acerca de los SSEE e interés en su conservación y promoción, lo cual, también podría repercutir en mejoras a la educación ambiental del municipio y de las estrategias para las políticas de ordenamiento territorial para el desarrollo sostenible.

## **9.2. Unidades de análisis**

La unidad de análisis será el municipio de Guatemala, para obtener la preferencia de los ciudadanos sobre los servicios ecosistémicos se realizarán encuestas a través del muestreo no probabilístico.

## **9.3. Variables**

Las variables en estudio se dividen en independientes y dependiente, como se enlista a continuación.

- Variables independientes
  - Infraestructura verde
  - Funciones ecosistémicas
  - Importancia sociocultural
  - Cambio de uso del suelo
  - Mapa POT
  
- Variable dependiente
  - Servicios ecosistémicos

Estas se describen en la tabla VI, que se presenta a continuación.



Tabla VI. **Variables para el desarrollo de la investigación**

Variable	Definición	Medio de verificación
Servicios ecosistémicos	Se refiere a aquellos beneficios que brindan los sistemas biológicos, estos pueden ser tomados como servicios de apoyo, provisión, regulación y culturales	Medición de variables con escala de Likert.
Infraestructura verde	Consiste en un concepto que aborda los bienes susceptibles de convertirse en beneficios, como una red de componentes físicos, naturales o seminaturales, que adquiere especial relevancia como estructura facilitadora de SE, a escala de ciudad.	Estructuración de encuesta y análisis estadístico de las respuestas.  Medición de variables con escala de Likert.
Importancia sociocultural	Se refiere a la importancia o preferencia que asignan las personas, bajo factores como el perfil sociodemográfico, la proximidad con áreas verdes.	Aplicación de medidas de tendencia central para el análisis cuantitativo de las variables.
Funciones ecosistémicas (FE)	Son atributos y procesos físicos, químicos y biológicos que contribuyen al auto mantenimiento de los ecosistemas y que soportan el flujo de servicios ecosistémicos.	
Exposición del SE	Se refiere a la tendencia que tienen las áreas a cambiar su cobertura o uso por la acción antrópica, a causa del cambio de uso del suelo, y que influencia en la prestación de los SE	

Continuación tabla VI.

---

Mapa POT	Instrumento técnico para planificar y ordenar el municipio de Guatemala, contiene la asignación de zonas generales según su vocación territorial.	La distribución espacial de los SSEE y su exposición por el cambio de uso del suelo en el municipio se obtendrá a través de softwares SIG.
----------	---	--

---

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

#### **9.4. Fases del estudio**

A continuación, se describen las fases del estudio.

##### **9.4.1. Fase 1: Identificación**

Se realizará un listado de servicios ecosistémicos que estará basado en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. Para la infraestructura verde, se realizará una identificación a escala de ciudad según EEA (2011), se utilizará como referencia la información de la DIGM y la DMA de la municipalidad de Guatemala, asimismo, se hará uso de la herramienta *OpenStreetMap* (OSM) y filtro de QGIS para identificar la infraestructura como parques, sitios culturales, entre otras tipologías. Con lo anterior se podrá elaborar el instrumento para el estudio de campo y análisis de resultados.

#### **9.4.2. Fase 2: Gestión o recolección de la información**

Esta fase consiste en la investigación de campo. Se realizará la difusión de la investigación de campo de manera virtual a través de formularios de Google, como medida de seguridad frente a la emergencia sanitaria.

#### **9.4.3. Fase 3: Análisis de información**

El análisis de la información se realizará a través del procesamiento de datos en Excel, se hará uso de la estadística y de SIG para conocer la localización espacial de las respuestas. También se hará uso de la correlación lineal para conocer la tendencia o relación entre la valorización de los SE. Así mismo, se realizará la simulación, con la cual se obtendrán los lugares con mayor exposición al cambio de uso del suelo.

#### **9.4.4. Fase 4: Interpretación de información**

Con el mapa de zonificación del Plan de ordenamiento territorial, el mapa de exposición de la FE y de la información obtenida acerca de la importancia sociocultural de los SE, se realizará un análisis con SIG para reconocer las disyuntivas entre los servicios ecosistémicos y el uso del suelo, proporcionando información sobre los SSEE y su articulación con el componente ambiental del POT, identificando los espacios que podrían incluirse en la toma de decisiones para que se favorezcan.

#### **9.4.5. Fase 5: Exposición de la información**

En la presente fase se desarrollará la exposición de la información a la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad de Guatemala sobre los resultados obtenidos y las recomendaciones generadas a partir del análisis.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Al obtener los resultados de las encuestas se procederá a realizar un análisis por medio de la estadística descriptiva. También, a partir de la ponderación de los SE, se logrará obtener la función ecosistémica más relevante, con lo cual, se procederá al análisis por medio de softwares de SIG. Para ello se utilizarán las siguientes herramientas.

- Análisis espacial mediante SIG: el análisis espacial constituye una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico, tomado desde los Sistemas de Información Geográfica, el análisis espacial posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica, de manera que se descubren estructuras espaciales, asociaciones y relaciones entre los datos, así como para la modelación.
- Regresiones logísticas: se realizará un análisis de las tendencias en los cambios pasados del uso del suelo por medio del software IDRISI TERRSET.

El programa aplica funciones como la  $\chi^2$  de Cramer mide la asociación con base en los estadísticos de chi-cuadrada de Pearson, para la tabulación cruzada y de Kappa, que mide el nivel de concordancia entre dos evaluadores que asignan unidades a un conjunto de categorías. Un valor de kappa de 1 corresponde a una concordancia perfecta. Un valor de kappa de 0 refleja una

concordancia que no es mejor que la que se podría esperar en virtud de las probabilidades.

Medidas de tendencia central: son parámetros estadísticos que informan sobre el centro de la distribución de la muestra o población estadística.

## 11. CRONOGRAMA

Tabla VII. **Cronograma de actividades**

Actividades	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identificación de infraestructura verde y SSEE.			■	■																				
Diseño de cuestionario para la recolección de la información.					■																			
Gestión o recolección de la información.					■	■	■	■	■	■	■	■												
Análisis de la información.													■	■	■	■								
Interpretación de la información.														■	■	■	■							
Elaboración de informe de trabajo de graduación.																		■	■					
Revisión de informe por el profesional asesor.																			■	■				
Enmiendas de informe																			■	■				
Presentación del informe final y trabajo de graduación.																						■	■	
Exposición de la información a la DMA de la municipalidad de Guatemala.																						■	■	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.





## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría y bajo la indicación de la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad de Guatemala. Por lo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

Tabla VIII. Recursos necesarios para la investigación

Recursos	Descripción	Costo (Q)	Porcentaje (%)
Tecnológicos	Software	Q. 800.00	4.1 %
	Depreciación de computadora	Q. 500.00	2.5 %
	Depreciación de impresora	Q. 900.00	4.6 %
Servicios	Servicio de internet y telefonía	Q. 2,154.00	10.9 %
	Energía eléctrica	Q. 840.00	4.3 %
Materiales y suministro	Tóner de impresora	Q. 675.00	3.4 %
	Resma de papel	Q. 50.00	0.3 %
	Lapiceros y rotuladores	Q. 75.00	0.4 %
Humano	Honorarios del asesor	Q. 2,500.00	12.7 %
	Honorarios del estudiante	Q. 8,000.00	40.6 %
Varios	Libros, revistas y pago de información virtual	Q. 1,200.00	6.1 %
Imprevistos	Gastos no previstos	Q. 2,000.00	10.2 %

Continuación tabla VIII.

<b>Total</b>	Q. 19, 694.00	100 %
--------------	---------------	-------

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En esta tabla VIII se muestran los recursos necesarios y los costos para el desarrollo de la investigación, indicando también su porcentaje. Derivado de que los recursos aportados son suficientes para la investigación, se considera que es factible la elaboración del análisis.

### 13. REFERENCIAS

1. Aching, C. (2005). *Guía rápida ratios financieros y matemáticas de la mercadotecnia*. Perú: Prociencia y cultura, S.A.
2. Alcamo, J., Ash, N., Butler, C., Baird Callicott, J., Capistrano, D., Carpenter, S. Castilla, J. Chambers, R. Chopra, K., Cropper, A. Daily, G., Dasgupta, P., De Groot, R., Dietz, T., Curaiappah, A., Gadgil, M., Hamilton, K., Hassan, R., Lambin, E., Lebel, L. y Zurek, M. (2003). *Ecosistemas y Bienestar humano: Marco para la Evaluación*. Lujan, Argentina: World Resources Institute.
3. Avedaño-Leadem, D., Cedeño-Montoya, B. y Arroyo-Zeledón, M. (enero, 2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista geográfica de América Central*, 65(2), 63-90.
4. Baldi, G. Volante, J. y Paruelo, M. (2019). *Los CUCOS y el paisaje: ¿Por qué interesa estudiar los cambios en el paisaje?* Chile: Fundación Ciccus.
5. Barral, M. P. (2012). *Tutorial para el mapeo de funciones y servicios ecosistémicos*. Mar de Plata, Argentina: ECOSER.
6. Barral, M. P. (2015). *Provisión de servicios ecosistémicos en paisajes rurales: desarrollo de criterios y herramientas para el ordenamiento territorial rural* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Mar

de Plata, Argentina. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5192>.

7. Barral, M. P., Nahuelhual, L. y Lateral, P. (2019). *Métodos y herramientas de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos*. Chile: Fundación Ciccus.
8. Bolaños, R. M. (27 de junio, 2019). Las zonas de la Ciudad de Guatemala donde la construcción vertical se disparó. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/economia/las-zonas-de-la-ciudad-de-guatemala-donde-la-construccion-vertical-se-disparo/>.
9. Bolaños, R. M. (29 de enero, 2021). Optimistas con cautela: Esto es lo que espera el sector construcción en Guatemala del 2021. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/economia/optimistas-con-cautela-esto-es-lo-que-espera-el-sector-construccion-en-guatemala-del-2021/>.
10. Castro, G. (2017). *Reconocimiento y caracterización de servicios ecosistémicos en urbanizaciones* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64101>.
11. Castillo, F., García, J., López, A. y Celada, M. (2013). *Proyecto DIGI 2.26: Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala*. Programa universitario de investigación en recursos naturales y ambiente. Guatemala:

Dirección General de Investigación. Recuperado de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/resumenes12/inf1236.html>.

12. Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2014). *POT-COM-030-2008 y sus reformas COM-13-2011, COM-42-2011, COM-05-2013 y COM-16-2013*. Guatemala: Autor.
13. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2013). *Política Nacional de Diversidad Biológica (Acuerdo Gubernativo 220-2011) Estrategia Nacional de Diversidad Biológica y su Plan de Acción (Resolución 01-16-2021) La Década de la Vida y el Desarrollo*. Guatemala: Autor.
14. Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Guatemala: Autor.
15. Decreto Número 12-2002. Código Municipal. Diario de Centroamérica. Guatemala. 02 de abril de 2002.
16. ECO-SER. (s.f.). Flujos de servicios ecosistémicos. ECO-SER Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.eco-ser.com.ar/#inicio>.
17. Espinosa, M. (2020). *Valor de los servicios ecosistémicos como herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas* (Tesis de maestría). Universidad de Jaén España. Recuperado de

<http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/13170/1/TFM%20MARIA%20ESPINOSA%20CAMACHO%20.pdf>.

18. European Environment Agency (2011). *Green infraestructura and territorial cohesion: The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems*. Luxembourg: Autor. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion>.
19. Gómez, J. (2014). *Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos para el Ministerio del Medio Ambiente*. Chile: División de información y economía ambiental del Ministerio de Medio Ambiente de Chile. Recuperado de [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Propuesta-Marco-Conceptual-Definicion-y-Clasificacion-de-Servicios-Ecosistemicos\\_V1.0\\_Baja.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Propuesta-Marco-Conceptual-Definicion-y-Clasificacion-de-Servicios-Ecosistemicos_V1.0_Baja.pdf).
20. Gómez-Baggethun, E., Gren, A., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z. y Kremer, P. (2013). *Chapter 11: Urban Ecosystem Services*. Dordrecht, Países Bajos: Springer.
21. Hernández, S. (2013). *Valoración de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del desarrollo en Guatemala. Consultoría: "Recopilación y análisis de información para la estrategia de desarrollo rural del corredor seco y de la zona del canal de Chiquimulilla*. Guatemala: SEGEPLAN.

22. Hernández, R., Fernández Collado, C. y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
23. Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Características generales de la población: población total por grupos de edad. Datos del municipio de Guatemala, Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.censopoblacion.gt/graficas>.
24. Kelemen, E.; García-Llorente, M.; Pataki, G.; Martín-López, B. y Gómez-Baggethun, E (2016). *Non-monetary techniques for the valuation of ecosystem service*. New York, Estados Unidos: Springer. Recuperado de [www.opennessproject.eu/library/reference-book](http://www.opennessproject.eu/library/reference-book).
25. Laterra, P., Castellarini, F. y Orúe, E. (2011). *ECOSER: un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social*. Entre Ríos, Argentina: Ediciones INTA.
26. Laterra, P. y Nahuelhual, L.A. (2015). *Internalización de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial rural: bases conceptuales y metodológicas*. Chile: FAO.
27. Laterra, P., Barral, P. y Carmona, A. (2015). *ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial*. Chile: Ediciones INTA.
28. Laterra, P., Nahuelhual, L. y Barral, M. (2019). *¿De dónde salen y a dónde van a parar los servicios ecosistémicos? La oferta, la demanda y sus indicadores*. Chile: Fundación Ciccus.

29. Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., García Del Amo, D., Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E., Palacios-Agundez, I., Willaarts, B., González, J. A., Santos-Martín, F., Onaindia, M., López-Santiago, C. y Montes, C. (enero, 2012). Uncovering Ecosystem Service Bundles through Social Preferences. *PLoS ONE*, 7(6), 1-11.
30. Menceyra, F. (2021). *Valoración sociocultural de servicios ecosistémicos en áreas urbanas chilenas* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181202>.
31. Morales, L. (2016). *Alternativas de pagos por servicios ecosistémicos como instrumento de ordenamiento ambiental territorial en comunidades indígenas en Antioquía* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
32. Municipalidad de Guatemala. (2010). *Situación territorial de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de [http://especiales.muniguate.com/pot2010/docts\\_soporte/01\\_situacion\\_territorial.php](http://especiales.muniguate.com/pot2010/docts_soporte/01_situacion_territorial.php).
33. Ojeda, C. (2020). *Infraestructura verde y sus servicios ecosistémicos potenciales a escala local en Santiago de Chile* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178037>.
34. Paegelow, M., Camacho, M. T. y Menor, J. (enero, 2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la



modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus* (3), 22-44.  
Recuperado de  
[https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/29651/Paegelow\\_Markov.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/29651/Paegelow_Markov.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

35. Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Salazar, M.T., Casado, J.M., Propin, E., Delgado, J., Velázquez, A., Chias, L., Ortiz, M.I., González, J., Negrete, G., Gabriel, J. y Márquez, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
36. Paruelo, J. M. (2019). *El lugar de la naturaleza en la toma de decisiones: servicios ecosistémicos y ordenamiento territorial rural*. Chile: Fundación CICCUS.
37. Paruelo, J. M., Volante, J. N., Baldi, G. y Baeza, S. (2019). *¿Cómo comprender los cucos? Estudios de la dinámica del uso y la cobertura del suelo*. Chile: Fundación Ciccus.
38. Paruelo, J.M. y Dieguez, H. (2019). *Los CUCOS y los servicios ecosistémicos: funciones de impacto*. Chile: Fundación Ciccus.
39. Potschin, M. y Haines-Young, R. (2016). *Defining and measuring ecosystem services*. Londres, Inglaterra: Routledge.
40. Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, D. y Diaz, S. (julio, 2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta*

*ecológica*, (84-85), 17-26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908503.pdf>.

41. Ramos, R., Palomeque, M. A., Megia, H. J. y López, P. (diciembre, 2019). Modelación del cambio de uso del suelo en la Zona Costera: Cuauhtemotzin-El Pailebot, Tabasco, México. *Revista de Urbanismo*, (41), 1-15.
42. Reynoso, R., Valdez, J. R., Escalona, M. J., De los Santos, H. M. y Pérez, M. J. (enero, 2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXVII(1), 72-81. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n1/riha06116.pdf>.
43. Revollo, D., Malky, A. y Simon, C. (2020). *Integración de Valoración Múltiple de Servicios Ecosistémicos En Herramientas y Decisiones de Planeación de Tres Ciudades Mexicanas: El Caso De León*. México: Conservation Strategy Fund. Recuperado de <https://www.conservation-strategy.org/what-we-do/analysis>.
44. Santos-Martín, F., Kelemen, E., Garcia-Llorente, M., Jacobs, S., Oteros-Rozas, E., Barton, D. N. Palomo, I., Hevia, V. y Martín-López, B. (2016). *Socio-cultural valuation approaches en Burkhard, B. and J. Maes*. Bulgaria: Pensoft Publishers Ltd.
45. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2013). *Proyecto: valoración de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación del desarrollo en Guatemala. Informe Anual 2013*. Guatemala: Autor. Recuperado de

[http://www.segeplan.gob.gt/2.0/images/pdf/ecoplan/Informe\\_anual\\_2013-PEI\\_Guatemala.pdf](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/images/pdf/ecoplan/Informe_anual_2013-PEI_Guatemala.pdf).

46. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y y Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial. (2018). *Guía metodológica para la elaboración del plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial en Guatemala*. Guatemala: Autor.
47. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Washington, Estados Unidos: Autor.
48. Velasco, L. (2018). *Selección de instrumentos de política para la protección de ecosistemas estratégicos en la provisión de servicios ecosistémicos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69832>.